

**А.В.ШИМАНОВСКИЙ, В.Н.ГОРДЕЕВ,
В.П.КОРОЛЕВ, А.И.ОГЛОБЛЯ,
И.Р.РУХОВИЧ, Ю.В.ФИЛАТОВ**

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ
КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*Под общей редакцией
Заслуженного деятеля науки и техники Украины,
доктора технических наук, профессора А.В.Шимановского*

**Киев
Издательство «Сталь»
2006**

Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений. – К.: Изд-во "Сталь", 2006. – с. , рис. , табл. .

В книге изложены основы современной концепции обеспечения технологической безопасности конструкций зданий и сооружений основных отраслей народного хозяйства Украины. Особое внимание уделено вопросам законодательного, правового и нормативного регламентирования паспортизации и мониторинга при переназначении ресурса конструкций. Сформулированы теоретические положения оценки показателей ремонтпригодности. Описаны критерии оценки несущей способности стальных конструкций с дефектами и повреждениями, а также освещены способы повышения их послеремонтной прочности. Представлены преимущества «процессного подхода» при создании и внедрении систем качества на базе стандартов ISO 9000-9004:2000 для регулирования безопасности.

Представлена методология решения типовых задач выявления резерва несущей способности и оценки предельных состояний эксплуатируемых объектов различного назначения. Показана реализация мер инженерной защиты конструкций при разработке программ обеспечения надежности с учетом их фактического состояния. Приведены примеры расчетов на коррозионную стойкость и долговечность по признакам предельных состояний.

Предназначена для широкого круга специалистов и научных работников, преподавателей, аспирантов, магистров, студентов технических вузов, слушателей курсов повышения квалификации инженерно-технического персонала и руководителей предприятий.

Технічна діагностика та попередження аварійних ситуацій конструкцій будівель і споруд. – К.: Вид-во "Сталь", 2006. – с. , рис. , табл. .

У книзі викладені основи сучасної концепції забезпечення технологічної безпеки конструкцій будівель і споруд основних галузей народного господарства України. Особливу увагу приділено питанням законодавчого, правового та нормативного регламентування паспортизації і моніторингу при перепризначенні ресурсу конструкцій. Сформульовані теоретичні положення оцінки показників ремонтпридатності. Викладені критерії оцінки несучої здатності сталевих конструкцій із дефектами та пошкодженнями, а також висвітлені засоби підвищення їх післяремонтної міцності. Наведені переваги «процесного підходу» при створенні та впровадженні систем якості на базі стандартів ISO 9000-9004:2000 для регулювання безпеки.

Наведена методологія вирішення типових задач виявлення резерву несучої здатності та оцінки граничних станів об'єктів різноманітного призначення, що експлуатуються. Показана реалізація заходів інженерного захисту конструкцій при розробці програм забезпечення надійності з урахуванням їх фактичного стану. Надані приклади розрахунків на корозійну стійкість і довговічність за признаками граничних станів.

Призначена для широкого загалу спеціалістів і наукових співробітників, викладачів, аспірантів, магістрів, студентів технічних ВНЗ, слухачів курсів підвищення кваліфікації інженерно-технічного персоналу і керівників підприємств.

Рецензенты: Л.М.Лобанов, академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор;
В.А.Пермяков, академик Академии строительства Украины, доктор технических наук, профессор.

Рекомендована к изданию научно-техническими советами:

Министерства строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Украины;

Украинской государственной корпорации «Укрмонтажспецстрой»;

Института электросварки имени Е.О.Патона Национальной Академии наук Украины;

ОАО «Украинский научно-исследовательский и проектный институт стальных конструкций имени В.Н.Шимановского».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	8
ВВЕДЕНИЕ	12
РАЗДЕЛ 1 БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ	24
1.1. Запас прочности и предельные состояния конструкций	24
1.2. Анализ технического состояния и проблем эксплуатации строительных металлоконструкций	28
1.3. Критерии оценки аварий и чрезвычайных ситуаций	42
1.4. Задачи экспертизы технологической безопасности конструкций зданий и сооружений	57
1.5. Научно-методическое сопровождение программ обеспечения надежности и безопасности	67
1.6. Принципы оценки предельных состояний в расчетах на коррозионную стойкость и долговечность	77
1.7. Подтверждение пригодности для использования новых материалов и изделий	97
1.7.1. Процедура подтверждения соответствия	97
1.7.2. Экспертиза пригодности зарубежной строительной продукции	100
РАЗДЕЛ 2 ОБСЛЕДОВАНИЕ, ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПАСПОРТИЗАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	108
2.1. Требования к организационной структуре надзора и контроля эксплуатационных характеристик конструкций	108
2.2. Методы технического освидетельствования конструкций	116
2.3. Количественная оценка и предельные значения дефектов и повреждений	124

2.4.	Проверка несущей способности элементов с учетом параметров эксплуатационного состояния	153
2.5.	Учет характера и интенсивности коррозионных разрушений элементов конструкций	162
2.6.	Состав и содержание документации для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации зданий и сооружений	173
2.7.	Практическая оценка технического состояния при паспортизации объектов	181

РАЗДЕЛ 3 МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

187

3.1.	Менеджмент качества и стандартизация в области надежности строительных конструкций	187
3.2.	Анализ развития методов технического диагностирования конструкций	191
3.3.	Расчетная оценка показателей надежности	198
3.3.1.	Расчет при известных функциях распределения наработки до отказа	198
3.3.2.	Расчет на основе анализа физических процессов деградации объекта	206
3.3.3.	Расчет по характеристикам прочности материала и условиям нагружения конструкций при эксплуатации	206
3.3.4.	Расчет с учетом известных показателей надежности составных частей	207
3.4.	Оценка показателей надежности по экспериментальным данным	210
3.5.	Диагностика стальных конструкций при коррозионно-механическом разрушении	217
3.6.	Подтверждение соответствия при сертификационных испытаниях	228
3.6.1.	Контроль показателей несущей способности и деформативности	235
3.6.2.	Оценка коррозионной стойкости и долговечности	240

3.7.	Экспертное обследование при выявлении причин отказа конструктивного элемента	246
РАЗДЕЛ 4	ТРЕБОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ	252
4.1.	Общие правила задания требований по надежности	252
4.2.	Анализ видов, последствий и критичности отказов	262
4.3.	Порядок разработки программ обеспечения надежности	270
4.4.	Выявление резервов несущей способности конструкций с дефектами и повреждениями	277
4.4.1.	Проверка прочности элементов стальных каркасов	278
4.4.2.	Проверка устойчивости сплошностенчатых стержней	278
4.4.3.	Проверка устойчивости сквозных стержней	280
4.4.4.	Особенности учета влияния несовершенств стропильных конструкций	282
4.4.5.	Учет влияния несовершенств в подкрановых конструкциях	283
4.4.6.	Особенности учета влияния несовершенств для колонн каркаса	286
4.5.	Восстановление работоспособности в процессе усиления и реконструкции объектов	287
4.5.1.	Классификация методов усиления металлических конструкций	289
4.5.2.	Методы и способы усиления конструкций	291
4.5.3.	Основные положения расчета усиления Конструкций	298
4.6.	Разработка программ обеспечения надежности при выполнении паспортизации промышленных объектов	306
4.6.1.	Заключение о возможности дальнейшей эксплуатации строительных конструкций электросталеплавильного цеха	307
4.6.2.	Рекомендации по ремонту конструктивных элементов здания	314

РАЗДЕЛ 5	ОЦЕНКА РЕСУРСА РАБОТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ	320
5.1.	Экспертное обследование для продления ресурса работы конструкций	320
5.2.	Повышение надежности и долговечности подкрановых конструкций	332
5.3.	Расчет остаточного ресурса конструкций с учетом коррозионных повреждений	340
5.4.	Экспериментальные методы оценки гарантированных показателей долговечности	351
5.4.1.	Методика стендовых определительных испытаний конструкций	354
5.4.2.	Анализ расчетных характеристик отношения резерва надежности	357
5.5.	Продление срока безопасной эксплуатации оснащения ...	360
5.6.	Идентификация и вывод из эксплуатации объектов повышенной опасности	366
РАЗДЕЛ 6	ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ	375
6.1.	Порядок определения требований к технологической безопасности конструкций зданий и сооружений	375
6.2.	Методика оценки рисков при декларировании безопасности объектов	379
6.3.	Расчет предельных состояний конструкций по критериям технологической безопасности промышленных объектов	386
6.4.	Организация технического обслуживания и ремонтов по фактическому состоянию	392
6.5.	Экспертиза конструктивных рисков при оценке технологической безопасности	400
6.5.1.	Результаты оценки показателей безопасности объектов коксохимического производства	405
6.5.2.	Моделирование коррозионных воздействий для гражданских объектов	408

6.6. Автоматизированные системы мониторинга показателей надежности и безопасности конструкционных систем	415
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	431
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	457

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы определились новые подходы к решению проблемы обеспечения надежности строительных конструкций зданий и сооружений на основе реструктурирования технологий безопасности и формирования когерентных систем, приемов и процедур оценки качества в строительстве.

Рассмотрение этой не простой проблемы диктуется необходимостью разработки комплексной многоуровневой системы государственного регулирования безопасности, определяющей действия административных структур предприятий и организаций с целью предупреждения аварийных ситуаций на строительных объектах всех отраслей промышленности, транспорта, энергетики, связи, сельского и городского хозяйства. Требуется определенно более широкое понимание задач обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики как неотъемлемой части государственной политики национальной безопасности и государственного строительства, составной создания экологически и техногенно безопасных условий жизнедеятельности каждого лица в частности и общества в целом.

На протяжении последних лет наблюдается стойкая тенденция к возрастанию количества чрезвычайных ситуаций техногенного происхождения с человеческими жертвами и значительными материальными ущербами. Чернобыльская катастрофа оказалась крупнейшей в мире, ее влияние распространилось на всю планету. Проблема безопасности, которая понимается как защищенность человека и окружающей среды от вредных влияний техносферы, относится к ряду приоритетных не только из-за многочисленных аварий и катастроф, но и как закономерное следствие научно-технического прогресса, так как внутренняя природа сложных систем, подчиненных законам вероятности, не исключает возникновения так называемых нештатных ситуаций.

В настоящей книге выполнен анализ требований, определяющих безопасность, надежность и долговечность строительных объектов при длительной эксплуатации и в экстремальных ситуациях. Обобщен практический опыт и рассмотрены основные направления использования технологий обеспечения безопасности по материалам работы секции: «Строительные металлические конструкции, мосты, морские, речные и портовые сооружения» Научно-координационного и экспертного совета по вопросам ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин при Президиуме Национальной академии наук Украины. Предложения по вопросам применения системного подхода к решению проблемы обеспечения технологической безопасности базируются на следующих документах:

- поручение Президента Украины от 17.04.02 № 1-1/509 относительно обеспечения безопасной эксплуатации и продолжения ресурса промышленных объектов, сооружений и инженерных сетей и тексты

постановлений Президиума Национальной академии наук Украины от 27.03.02 и 24.04.02;

- решение Межведомственной комиссии по вопросам научно-технологической безопасности при Совете национальной безопасности и обороны Украины от 14 февраля 2002 года;

- постановление Президиума Национальной академии наук Украины от 24 апреля 2002 года «О реализации мероприятий по обеспечению технологической безопасности основных отраслей экономики Украины»;

- постановление Президиума Национальной академии наук Украины № 69 от 27 марта 2002 года «Об усовершенствовании структуры Научно-координационного и экспертного Совета по вопросам ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин при Президиуме НАН Украины».

Необходимость формирования принципов технического регулирования безопасности с учетом требований европейских и международных стандартов определила методологическую направленность и построение структуры разделов настоящего издания, включающего анализ приоритетных направлений и задач соответствующих научных исследований относительно создания методологии единой системы оценки надежности и безопасного состояния сооружений, конструкций, оснащения и инженерных сетей, которая охватывает совокупность субъектов этой деятельности, а также нормы, правила, методики, условия, критерии и процедуры с учетом положений ISO 9004.

Из всех этапов создания строительных конструкций наиболее ответственным является этап проектирования, определяющий требования к конструктивной форме с точки зрения аппарата теории надежности. Показатели надежности, установленные при проектировании, обеспечивают условия для реализации таких свойств, как безотказность, сохраняемость, ремонтпригодность и долговечность при изготовлении, монтаже, эксплуатации и реконструкции строительных объектов. Вместе с этим, действующие методики нормирования безопасности строительных конструкций, основанные на коэффициентах надежности, не учитывают фактор времени и ресурса работы конструктивных элементов зданий и сооружений.

В связи с указанными обстоятельствами большое значение приобретают структурные исследования строительных объектов, позволяющие осуществлять оптимизацию и нормирование показателей надежности на стадии проектирования. Применение методов структурного анализа наиболее эффективно для конструктивных систем при обосновании, проверке достаточности, оценки эффективности и контроле требуемых характеристик безопасности промышленных объектов. Структурные методы расчета надежности устанавливают причинно-следственные отношения между элементами и подсистемами в системе

строительный объект и позволяют рассматривать физические условия надежности на основе вероятностно-статистических взаимосвязей.

В шести разделах данного издания на основе процессного подхода объединены теоретические и практические положения, которые дают возможность расширить возможности определения остаточного ресурса и продолжения проектного срока эксплуатации объектов.

В разделе 1 показана необходимость рассмотрения требований технологической безопасности и ремонтпригодности при обосновании показателей надежности строительных конструкций зданий и сооружений для предупреждения аварий и чрезвычайных ситуаций на промышленных и гражданских объектах.

Раздел 2 содержит систематизированное описание задач осмотра, проверки, контроля и надзора за состоянием конструкций, без реализации которых невозможно обеспечить определение количественных и качественных показателей состояния надежности и безопасности, требования к послеремонтной прочности и повышению несущей возможности.

Раздел 3 раскрывает сущность принципа «процессного подхода» при технической эксплуатации основных фондов, создании системы менеджмента критериев качества функционирования объектов с целью получения, обработки и оценки диагностической информации, расчетного определения показателей надежности.

В разделе 4 изложены особенности задания требований по надежности на основе анализа видов, последствий и критичности отказов, с учетом выявления резервов несущей способности конструкций для разработки программ обеспечения надежности зданий и сооружений.

Раздел 5 посвящен вопросам научно-технического обеспечения при оценке деградиационных процессов и выявлении остаточного ресурса конструктивных элементов с учетом коррозионных и динамических воздействий.

Раздел 6 устанавливает порядок определения требований к технологической безопасности для оценки рисков при декларировании безопасности объектов, мониторинге эксплуатационных показателей промышленных объектов.

Содержание и объем разделов книги рассчитаны на программу подготовки и аттестации специалистов по курсу «Безопасность и надежность эксплуатации производственных зданий и сооружений», предусматривающую три уровня квалификации:

1-й уровень – спецкурс «Техническая эксплуатация зданий и сооружений, инженерных сетей» для специалистов цехового персонала промышленных и гражданских объектов;

2-й уровень – спецкурс «Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений инженерных сетей» для персонала служб технического надзора и инженерно-технических работников специализированных организаций;

3-й уровень – спецкурс «Управление безопасностью строительных объектов на основе диагностики, паспортизации и мониторинга конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей» для руководящих работников, связанных с проектированием, новым строительством, реконструкцией, капитальным ремонтом и эксплуатацией зданий и сооружений.

Подготовке материалов данной книги способствовала организационная и методическая работа ведущих специалистов Межведомственной комиссии по вопросам научно-технологической безопасности при Совете национальной безопасности и обороны Украины, которую возглавляет Президент НАН Украины академик Б.Е. Патон.

Учитывая важность рассматриваемой проблемы при поддержке руководства «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» создан Донбасский центр технологической безопасности (ДонЦТБ), деятельность которого с 2003 г. представила примеры экспертно-аналитической оценки мероприятий, связанных с уровнем безопасности и продолжением ресурса эксплуатации промышленных объектов и инженерных сетей. Практическая ценность применения системного подхода к решению проблемы обеспечения технологической безопасности обоснована на объектах угольной, коксохимической и металлургической промышленности ЗАО «Донецксталь-металлургический завод» при плодотворном сотрудничестве со специалистами служб технического надзора и руководством предприятий.

Авторы выражают благодарность сотрудникам «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» В.Н.Трохимец и Р.И.Гусячей за техническую помощь при подготовке рукописи.

Улучшению содержания рукописи в значительной мере способствовали замечания и советы рецензентов – академика Национальной академии наук Украины, доктора технических наук, профессора Л.М.Лобанова и академика Академии строительства Украины, доктора технических наук, профессора В.А.Пермякова, большая часть которых была учтена при подготовке окончательного варианта рукописи. Им авторы приносят свою искреннюю признательность.

Настоящее издание рассчитано на студентов, аспирантов, инженерно-технических и научных работников, специализирующихся по вопросам эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений, специалистов в области промышленной безопасности и охраны труда, органов исполнительной власти, которые регулируют отношения в сфере деятельности объектов повышенной опасности.

ВВЕДЕНИЕ

В Украине создана мощная техносфера вследствие диспропорций в размещении продуктивных сил, которые допускались на протяжении многих лет. Техногенная нагрузка, характерная для таких индустриально развитых областей, как Днепропетровская, Донецкая, Запорожская и др., в 5–15 раз выше, чем в других развитых странах. Аварийные ситуации усложняются еще и тем, что свыше 80% территории Украины испытывают влияние опасных геологических явлений: карстообразования, просадочности, сдвиги грунтов, сейсмики, сложных условий строительства на подрабатываемых территориях и др. На сегодня почти 30% всех промышленных объектов являются потенциально опасными. За последние годы отмечается лавинное возрастание количества аварий техногенного характера. С 2001 г. и до этого времени на предприятиях горнодобывающей, металлургической, машиностроительной и других отраслей промышленности, в жилищно-коммунальном хозяйстве и в строительстве имели место свыше 2500 аварий, большинство которых сопровождалось человеческими жертвами. Причем значительная часть этих аварий обусловлена коррозионным разрушением несущих и ограждающих строительных конструкций. Объемы строительных конструкций зданий и сооружений, которые поддаются агрессивным влияниям, продолжают увеличиваться. Интенсификация промышленного производства, значительные выделения и сбрасывания агрессивных веществ, низкая культура эксплуатации строительных конструкций практически во всех отраслях хозяйства привели к резкому росту затрат на ремонты и восстановление технологических коммуникаций, конструкций зданий, сооружений и машин. Не отвечает современным требованиям эффективность работы структур, которые контролируют качество и безопасность в строительстве: авторского надзора, представителей службы заказчика, специалистов госархстройконтроля и госнадзорохрантруда.

Высокий уровень опасности в угольной отрасли обуславливается тем, что 100 шахт из 224 работают свыше 50 лет без реконструкции. Как следствие, почти все шахты имеют сложные вентиляционные, транспортные схемы и изношенное горношахтное оборудование.

Существенно ухудшается состояние безопасности на предприятиях металлургического комплекса. Из-за отсутствия финансирования в этой отрасли давно не восстанавливаются производственные фонды, медленно осуществляется переход на более совершенные технологические процессы, несвоевременно ремонтируются или выводятся из эксплуатации опасные здания и сооружения. Вследствие этого сейчас эксплуатируется 42% основных фондов, которые исчерпали предусмотренный ресурс работы, а техническое состояние 10% зданий и сооружений не отвечает строительным нормам и правилам.

Много нерешенных проблем накопилось в отрасли транспортного обеспечения населения, в частности на железнодорожном транспорте,

который является наиболее распространенным в транспортной инфраструктуре. Несмотря на разработанные на государственном уровне меры, техническое состояние оснащения, подвижного состава и путевого хозяйства остается неудовлетворительным.

Критического уровня достиг физический и моральный износ оснащения морского и речного транспорта, 30% причальных сооружений морских портов находится в неудовлетворительном техническом состоянии и подлежит капитальному ремонту, 39% ограждающих сооружений морских портов вообще являются аварийными.

Значительную опасность составляют высотные сооружения радиовещания и телевидения. Около 40% антенно-мачтовых и башенных конструкций требуют неотложных ремонтов фундаментов. На сегодня вышли все нормативные сроки покраски металлических конструкций, поэтому коррозия конструкций и оттяжек достигает иногда 50%, в некоторых сооружениях нарушено геометрическое положение. Отмечены недопустимые повреждения конструкций радиотелевизионной башни в г. Запорожье (высота 350 м), где из-за осадки фундаментов произошли разрывы элементов башни в 3-х узлах, коррозия составляет около 25%; в г. Виннице для мачты (высота 350 м) в результате коррозионного износа канатов требуется замена оттяжек; металлические конструкции радиомачты в г. Днепропетровске (высота 167 м) пришли в полную непригодность из-за большого срока эксплуатации (52 года). Указанные сооружения расположены в густо населенных районах городов и становятся опасными для окружающего населения.

Проблема надежности и долговечности конструкций промышленных и гражданских объектов является важным элементом государственной политики обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики. Законодательной базой для усовершенствования нормативно-методического обеспечения мер по продолжению остаточного ресурса являются Указы Президента Украины «О мероприятиях по повышению качества отечественной продукции», «О нейтрализации угроз, обусловленных ухудшением экологической и техногенной обстановки в стране» (№ 1420/98 от 31.12.98 года), Постановлений Кабинета Министров Украины № 409 от 05.05.1997 г. «Об обеспечении надежной и безопасной эксплуатации зданий и инженерных сетей» и № 1313 от 22.08.2000 г. «Об утверждении Программы предотвращения и реагирования на чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера на 2000-2005 годы».

По инициативе Научно-координационного и экспертного Совета по вопросам ресурса и безопасной эксплуатации конструкций, сооружений и машин при Президиуме Национальной академии наук Украины и в соответствии с распоряжением Кабинета Министров Украины от 11.06.2003 г. № 351-р «Об одобрении Концепции Государственной программы обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики». Постановлением Кабинета Министров Украины № 1331 от

8 октября 2004 г. утверждена Государственная научно-техническая программа «Ресурс». Необходимость своевременного выполнения работ по предупреждению аварийных ситуаций определена распоряжением Кабинета Министров Украины № 100-р от 1 марта 2004 г. «О мероприятиях по усилению контроля за проектированием, новым строительством, реконструкцией, капитальным ремонтом и эксплуатацией зданий и сооружений».

Отсутствие организационно-методических документов, определяющих требования к техническому обслуживанию гражданских и промышленных объектов, срок эксплуатации которых превышает нормативный, значительно повышает опасность возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций техногенного характера, усложняет регулирование безопасных условий жизнедеятельности как основы государственной политики в сфере интересов национальной безопасности. Первоочередными мероприятиями, связанными с созданием системы обеспечения надежности и безопасной эксплуатации сооружений, конструкций, оснащения и инженерных сетей, предотвращения аварий и чрезвычайных ситуаций являются:

- создание единой методологии действий организаций, специалисты которых выполняют научно-техническую поддержку и сопровождение проблем оценки и продолжения ресурса объектов различного назначения;
- разработка средств и систем неразрушающего контроля и диагностики технического состояния конструкций;
- разработка системы мониторинга технического состояния и программ обеспечения надежности объектов повышенной опасности в промышленности, транспорте, сельском хозяйстве и на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства;
- организация повышения квалификации специалистов по направлению «Безопасность и надежность эксплуатации конструкций, технологического оснащения, зданий и сооружений»;
- определение порядка сертификации специалистов-экспертов, деятельность которых связана с оценкой технического состояния, разработкой проектной документации на ремонт, усиление и реконструкцию зданий и сооружений, объектов повышенной опасности;
- создание правовой, методической и организационной основы для страховой защиты государственных инвестиций, связанных с модернизацией, реконструкцией и продолжением ресурса эксплуатации зданий и сооружений.

Реализация программ обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики кроме внутренних причин, связанных с прогрессирующим старением основных фондов, должна учитывать внешние обстоятельства, отражающие рост опасности международного терроризма. Специальный доклад 270 «Меры по усилению безопасности государства: Роль науки и техники в противодействии терроризму», подготовленный после событий 11 сентября 2001 г. с привлечением ведущих экспертов

Национальной Академии Наук, Национальной Технической Академии, Института Медицины США определил стратегию, включающую в качестве важного направления моделирование рисков с учетом особенностей строительных материалов, конструкций и методов возведения строительных объектов и транспортных сооружений.

В настоящее время проводится работа по формированию национальных критериев безопасной эксплуатации и принципов обеспечения надежности конструкций зданий и сооружений с учетом основных положений Директивы Совета Европейских сообществ 89/106/ЕЕС. Это в значительной степени и определило задачи авторского коллектива при подготовке настоящего издания. Изложение основных разделов книги определяется требованиями менеджмента качества и управления безопасностью промышленных и гражданских объектов.

Стратегия обеспечения безопасности. Необходимость дальнейшего развития строительного комплекса требует систематизации работы по формированию Системы нормативно-правового обеспечения строительства в Украине. Первоочередными направлениями деятельности Госстроя относительно реализации единой государственной политики в сфере нормирования и стандартизации в строительстве являются:

- разработка научно обоснованной методологии для совершенствования нормативных требований при формировании безопасной среды жизнедеятельности человека;
- изменение ориентиров в определении нормативных ограничений на уровне общих требований по безопасности среды и ее элементов для жизни и деятельности человека, а также для постоянного развития этих требований в ведомственных и территориальных регламентирующих документах;
- неотложная замена устаревших регламентирующих документов бывшего Советского Союза и Украины, которые не отвечают современным условиям социально-экономического развития государства;
- разработка принципиально новой нормативно-правовой базы в промышленном строительстве, которое учитывало бы современное состояние развития экономики и новейшие достижения науки;
- разработка регламентирующих документов в строительстве с учетом требований европейского законодательства.

Развитие методов расчета показателей надежности на основе функциональных требований и технических характеристик строительных объектов обеспечивает возможности управления рисками в процессе анализа статистической информации и результатов экспертного диагностирования, эксплуатационных ограничений, стратегии обслуживания конструктивных систем.

Процессный подход системного исследования. Преимущество процессного подхода при обеспечении надежности и безопасности состоит в наличии управления, которое включает реализацию комплекса организационно-технических мероприятий, включающих надзор за

соблюдением требований нормальной эксплуатации, диагностику и паспортизацию конструкций зданий и сооружений, мероприятия по техническому обслуживанию, ремонтам, усилению и реконструкции. В отличие от требований инструктивных документов, регламентирующих надзор и контроль эксплуатационного состояния объектов стандарт ISO-9004:2000 устанавливает применение принципов менеджмента качества, что обеспечивает получение преимуществ, связанных с уменьшением затрат и снижением технических рисков. При этом, основой для безаварийной эксплуатации конструкций и технологического оборудования является ответственность руководства, профессионализм технического персонала и обеспеченность материальными ресурсами. Системное исследование проблемы технологической безопасности предполагает переход от расчетных показателей пассивной надежности к разработке программ управления рисками для предупреждения или нейтрализации последствий отказов. Таким образом, можно констатировать, что обеспечение надежности и безопасности объектов возможно только на принципах всеобщего управления качеством (TQM).

Директивой Европарламента и Совета 2001/95/ЕС «Относительно общей безопасности продукции» предусмотрены обеспечение соответствующих ресурсов и процедур, в частности:

- введение, периодическое возобновление и осуществление программ секторального надзора по категориям продукции или рисков, мониторинг мероприятий по надзору;
- соблюдение и возобновление научно-технических знаний, связанных с безопасностью продукции;
- периодический анализ и оценка функционирования контролируемых мероприятий и их эффективности, ревизия подходов, если необходимо к надзору и организации безопасности.

Обязательной сертификации по директивам Европейской комиссии подлежат строительные материалы и конструкции. Для обеспечения безопасности во время застройки территорий, размещения и строительства объектов архитектуры, соблюдения субъектами архитектурной деятельности утвержденной градостроительной и другой проектной документации, а также с целью защиты государством прав потребителей строительной продукции осуществляется в установленном законодательством порядке государственный архитектурно-строительный контроль.

Предупреждение аварийных ситуаций. Формирование и обеспечения реализации государственной политики в сфере промышленной безопасности, страхование рисков производственной безопасности осуществляется при участии территориальных органов Государственного департамента промышленной безопасности, охраны труда и горного надзора в составе Министерства Украины по чрезвычайным ситуациям и по делам защиты населения от последствий Чернобыльской катастрофы. Учитывая важность вопросов технологической безопасности при эксплуатации объектов

повышенной опасности, приоритетными направлениями создания программы предотвращения чрезвычайных ситуаций должны быть такие основные аспекты:

- анализ соответствующей законодательной базы и системы контроля по обеспечению эксплуатационной надежности и безопасной эксплуатации объектов хозяйственной деятельности;
- определение объектов повышенной техногенной опасности и объектов, которые обеспечивают нормальное функционирование хозяйственного комплекса региона;
- оценка технического состояния объектов хозяйственного комплекса с целью предотвращения разрушения или остановки особенно важных объектов, использование которых обусловлено интересами государства, и объектов промышленного, гражданского, коммунального, социального назначения, которые целиком или в значительной мере исчерпали нормативный ресурс;
- оценка остаточного ресурса объектов, необходимости проведения модернизации или реконструкции для продления срока эксплуатации или принятия решения об их обновлении.

Государственный департамент промышленной безопасности, охраны труда и горного надзора обобщает информацию относительно технического состояния конструкций, зданий и сооружений, выявления типичных повреждений, дефектов, возникновение которых вызвано определенными в эксплуатационных документах параметрами эксплуатации или является присущим для этих конструкций, а также относительно влияния технического состояния на уровень риска или аварий на объектах повышенной опасности. Для обеспечения необходимого уровня контроля за технической безопасностью вышеприведенных объектов соответствующими Государственными нормативными актами об охране труда (ДНАОП) предусмотрено проведение комплекса их испытаний (разрушающий и неразрушающий контроль, техническое диагностирование, технический осмотр и т.п.).

Предотвращение. Применение средств и методов диагностического контроля представляет наиболее эффективный способ обеспечения безаварийной работы конструкций зданий и сооружений. Общим приказом Государственного комитета строительства, архитектуры и жилищной политики Украины и Государственного комитета Украины по надзору за охраной труда от 27 ноября 1997 года № 32/288 на выполнение постановления Кабинета Министров Украины от 05.05.97 № 409 «Об обеспечении надежности и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей» утвержден пакет нормативных и распорядительных документов по вопросам обследования и паспортизации зданий и сооружений. Соответственно этому, установлены требования, по которым все здания (сооружения), независимо от их назначения, формы собственности, возраста, капитальности, технических особенностей подлежат

периодическим обследованиям с целью оценки их технического состояния и паспортизации, а также принятия обоснованных мероприятий к обеспечению надежности и безопасности при дальнейшей эксплуатации (консервации). Организационно-методические материалы пакета нормативных и распорядительных документов по вопросам обследования и паспортизации зданий и сооружений содержат:

- Правила обследований, оценки технического состояния и паспортизации производственных зданий и сооружений;
- Положение о безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений;
- Положение о специализированных организациях по проведению обследований и паспортизации существующих зданий и сооружений с целью обеспечения их надежности и безопасной эксплуатации;
- Положение о главной организации по координации действий, подготовке нормативных документов и по вопросам обследований и паспортизации зданий и сооружений с целью обеспечения их надежности и безопасной эксплуатации;
- Структуру реестра аварийно опасных производственных зданий и сооружений.

Постановление Кабинета Министров Украины от 05.05.97 № 409 устанавливает ответственность собственника здания (сооружения) относительно обеспечения надежности и безопасности эксплуатации по итогам обследований и паспортизации, употребление непременных и своевременных мероприятий по ремонту, реконструкции отдельных конструктивных элементов, систем или здания (сооружения) в целом. Установленный порядок обеспечения надежности и безопасности промышленных объектов способствовал пересмотру основных положений по организации технической эксплуатации строительных конструкций сданных и сооружений и их элементов, а также требований, предъявляемых к работам по надзору, содержанию и ремонта строительных конструкций, профилактическим мерам, связанным с сохранением конструкций, продлением срока их безотказного функционирования и работоспособного состояния.

Результатом паспортизации является создание единой системы учета и мониторингового контроля за состоянием объектов с целью своевременного выявления предаварийных и аварийных ситуаций, а также прекращения эксплуатации аварийно опасных зданий (сооружений).

Управление исследованиями и разработками для обеспечения безопасности. Научно-координационный и экспертный совет (НКЭС) по вопросам ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин при Президиуме НАН Украины подготовил аналитический обзор «Техническое состояние и остаточный ресурс конструкций и сооружений основных отраслей хозяйства в Украине», в котором, по состоянию на 2002 г., доказано, что эксплуатационные свойства сооружений, конструкций,

оснащения и инженерных сетей в основных отраслях экономики достигли критического предела, который создает реальную угрозу ее постоянному функционированию, повышает вероятность возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Особое внимание обращено к вопросу управления эксплуатационным сроком основных фондов, их надежного и безопасного использования путем определения остаточного ресурса и установление новых сроков эксплуатации, превышающих предусмотренные проектной и эксплуатационной документацией.

Научно-координационный и экспертный Совет по вопросам ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений выполняет экспертно-аналитическое и научное обеспечения работы по вопросам безопасной эксплуатации промышленных объектов, сооружений и инженерных сетей, разработку предложений и координацию программ и мероприятий, направленных на определение технического состояния и остаточного ресурса, и обоснование удлинения срока безопасной эксплуатации объектов техногенной опасности по направлениям действий объединенных секций:

- Общая научная методология оценки состояния объектов длительной эксплуатации. Методы и средства технической диагностики конструкций;
- Строительные металлические конструкции, мосты, морские, речные и портовые сооружения;
- Железобетонные конструкции, гидротехнические сооружения, жилищные комплексы и объекты коммунального хозяйства;
- Оборудование для нефте-, газодобывающей, нефтеперерабатывающей и химической промышленности, магистральные и промышленные трубопроводы;
- Конструкции и оборудование металлургической промышленности.

Стратегия, которая может помочь направить усилия на достижение максимальных результатов, связана с адаптацией международных стандартов по формированию программ обеспечения надежности на основе решения задач анализа возможных причин и последствий отказов (FMEA) и оценке критичности отказов (FMECA). Существенным этапом в создании такой стратегии является систематизация наиболее важных исследовательских и технологических задач. С целью обеспечения анализа и планирования систем безопасности, функциональных программ и программ освоения новых технологий, следует предусмотреть возможности научно-технического сопровождения проблем ресурса в региональных экспертных центрах, способных работать конструктивно с хозяйственными подразделениями при комплексной постановке и реализации задач технологической безопасности. С учетом данных анализа безопасности выполняется техническое обслуживание и материально-техническое обеспечение, задаются требования по контролю технических параметров и ремонтпригодности конструкций зданий и сооружений.

Исследования и регламентация проблемы ресурса. Основные положения по расчету строительных конструкций с учетом установленных

эксплуатационных параметров на протяжении определенного срока службы регламентируются требованиями ГОСТ 27751-88. Совершенствование расчетных методов оценки предельных состояний на основе теории надежности связывается, в первую очередь, с рассмотрением процессов старения и накопления повреждений, определением сроков проведения ремонтно-восстановительных работ, обеспечивающих установленные показатели долговечности. В настоящее время проводится работа по формированию национальных критериев безопасной эксплуатации и принципов обеспечения надежности конструкций зданий и сооружений с учетом основных положений Директивы Совета Европейских сообществ 89/106/ЕЕС. Процедура анализа надежности регламентирована ДСТУ 2861-94. ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» подготовлена первая редакция ДБН В.1.2-...-95, в которой определены требования надежности, долговечности и живучести на всех стадиях жизненного цикла конструкций.

В отличие от действующего ГОСТ 27751-88 в проекте документа ДБН В.1.2-...-95 представлены технические и организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность конструкций на основе анализа целевой технологической функции объекта. Стандарт ДСТУ 2156-93 определяет безопасность промышленного объекта как отсутствие недопустимого риска, связанного с возможным убытком в результате влияния совокупности факторов и отклонения от установленных параметров нормальной эксплуатации. Для объектов повышенной опасности разработана методика определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности. Таким образом, законодательная и методическая база, связанная с реализацией Закона Украины «Об объектах повышенной опасности», создает дополнительные возможности для формулирования и решения задачи оценки риска аварийных ситуаций при продолжении остаточного ресурса конструкций промышленных объектов различного назначения.

Ведущей концепцией, на основе которой решается задача продолжения остаточного ресурса конструкций, является системность определения деградиационных процессов при разработке программы обеспечения надежности строительных металлоконструкций зданий и сооружений. Практическая реализация этого подхода связана с совершенствованием национальной нормативной базы, реализацией принципов, которые позволяют учитывать конструктивные риски для предупреждения аварийных ситуаций на основе комплексного рассмотрения вопросов безопасной эксплуатации по требованиям предельных состояний.

Возможности технического руководства и оценка безопасности на предприятиях. Для успешного руководства и управления безопасностью необходимо осуществлять менеджмент на основе систематического аудита технического состояния зданий, сооружений и инженерных сетей инженерно-техническим персоналом предприятия. Чтобы добиться предотвращения

аварийных ситуаций, следует внедрить и поддерживать в рабочем состоянии систему менеджмента безопасности, разработанную на уровне технических стандартов предприятия с целью постоянного улучшения результативности и эффективности деятельности служб технического надзора и контроля. Менеджмент безопасной эксплуатации строительных объектов должен стать неотъемлемой составляющей системы качества и политики руководства на основе требований ISO 9004:2000.

Высшему руководству предприятий необходимо создать организационную структуру, ориентированную на обеспечение требований технологической безопасности:

- определить систему и процессы, которые можно было бы отчетливо понимать, подвергать менеджменту и улучшать при организации технической эксплуатации конструкций, зданий и сооружений;

- обеспечить результативную и эффективную работу, управление финансовыми и материальными ресурсами при проведении ремонтно-восстановительных работ и реконструкции производственных объектов.

Среди первоочередных мер по менеджменту технологической безопасности следует выделить разработку стандарта предприятия, регулирующего требования к профессиональной квалификации специалистов и функционирования системы технического надзора за объектами производственно-технического и хозяйственно-бытового назначения:

- положения о цеховой (объектной) службе технической эксплуатации зданий и сооружений;

- положения о службе технического надзора предприятия;

- положения о безопасном проведении ремонтных, монтажных, строительных и других видов работ на оборудовании, конструкциях зданий и сооружений, инженерных сетях, объектах капитального строительства в условиях действующего производства.

Порядок получения разрешений на выполнение работ повышенной опасности для субъектов хозяйственной деятельности определен постановлением Кабинета Министров Украины № 1631 от 15 октября 2003 г.

Мониторинг и регулирование безопасности. Прогресс в развитии информационных технологий, средств вычислительной техники, контрольно-измерительной аппаратуры, огромный всплеск в развитии сетевых технологий влекут за собой значительную интенсификацию применения аналитических систем в области обеспечения заданного уровня надежности строительных объектов. Мониторинговые экспертные системы представляют программные средства для автоматизированного сбора, хранения информации об эксплуатационном состоянии конструкций зданий и сооружений, расчетной оценки показателей надежности при воздействии природных и техногенных факторов, анализа технических и организационных мер обеспечения безопасности, инженерной защиты и управления для предотвращения аварийных и чрезвычайных ситуаций. Система мониторинга включает блоки информационного, диагностического

обеспечения и принятия управленческих решений. Результаты систематизированного сбора, обработки и анализа данных мониторинга предназначены для стимулирования и регулирования инновационной деятельности по поддержанию работоспособности, модернизации, реконструкции основных фондов при обслуживании по фактическому состоянию.

Построение экспертных систем на основе анализа возможных видов и последствий отказов, количественной оценки критичности отказов позволяет повысить эффективность методов диагностики признаков предельных состояний и возможности количественного оценивания риска при регулировании уровня безопасности. Возможности мониторинга, которые используются в настоящее время в недостаточно полном объеме, могут оказать решающее значение для обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики. Бесспорным является высокая оперативность принятия квалифицированных решений при возникновении аварийных ситуаций, ликвидации повреждений и восстановлении заданных режимов работы производственного процесса.

Поддержание и восстановление эксплуатационных свойств.

Обеспечение надежности и безопасности во многом зависит от качества проектных и технологических решений, производства строительно-монтажных работ в условиях действующих предприятий. Применение эффективных и результативных методов повышения эксплуатационных свойств конструкций, зданий и сооружений должно подтверждаться установленными в технической документации методами неразрушающего контроля и техническое диагностирования (НК и ТД). Подрядные организации должны подтверждать свою конкурентоспособность в тендерных условиях путем внедрения в производство мероприятий по обеспечению качества и безопасности строительно-монтажных работ. При этом возникает необходимость обеспечения качества не только строительных объектов (следствия услуги), но и управления качеством внутренней деятельности поставщика – процессом выполнения договорных обязательств (строительно-монтажных и ремонтных работ) с надлежащим уровнем производственной безопасности. Требования к выполнению работ, как к технологическому процессу включают дополнительные условия профессионализма персонала, технической оснащенности, контроля качества материалов, ресурсосбережению и установленному уровню обслуживания.

Повышение уровня технологической безопасности. Требования обеспечения технологической безопасности предусматривают разработку системы мер, направленных на предупреждение аварийных ситуаций и ограничения возможностей нанесения ущерба производственной деятельности. Отсутствие системы управления технологической безопасностью, является препятствием для реализации производственных программ предприятия, что связано с возможным ущербом при технологических остановках и аварийных ситуациях.

Разработка и принятия единой концепции систем управления безопасностью, предотвращения чрезвычайных ситуаций (ЧС) и промышленных техногенно-экологических аварий невозможны без создания организационно-технической, методической, программной и информационной базы, позволяющей выполнять имитационное моделирование рисков по критериям безопасности и экономичности технического обслуживания зданий и сооружений по фактическому состоянию объектов различного назначения. Единая система нормативных актов по проектированию, строительству, эксплуатации, восстановлению и ликвидации (выводу из эксплуатации) промышленных зданий, мониторинг техногенно-экологически опасных зонах и создание банка данных по аварийности, экологическим и социально-экономическим последствиям ЧС в основных отраслях экономики направлены на выработку методов оперативного управления аварийно-спасательными работами и программами обеспечения надежности зданий, сооружений и инженерных сетей.

К сожалению, объем книги не позволяет раскрыть подробно все составляющие курса «Безопасность и надежность эксплуатации производственных зданий и сооружений». Вместе с этим, авторы надеются, что систематизированное изложение представленных в основных разделах книги материалов будет способствовать разработке комплексных региональных программ обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики, совершенствованию административных структур инженерно-технических и хозяйственных подразделений, эффективности регулирования основных факторов риска в строительстве.

Данная книга подготовлена в рамках отраслевой программы Минстроя Украины по вопросам ресурса и безопасной эксплуатации конструкций зданий и сооружений.

РАЗДЕЛ 1

БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Запас прочности и предельные состояния конструкций

Значительные социально-экономические и политические преобразования в Украине нашли отражение в новых подходах формирования законодательной и нормативной базы технического регулирования безопасности и качества в строительстве. Учитывая зарубежный опыт нормативно-правового обеспечения и стандартизации, обозначенный в требованиях Директивы 2001/95/ЕС «Об общей безопасности продукции», можно однозначно определить, что важнейшей проблемой совершенствования национальной системы нормирования надежности для строительных конструкционных систем является учет критериев безопасности зданий и сооружений. Разработка стратегии научно-технической политики в указанном направлении производится секцией «Строительные металлические конструкции, мосты, морские, речные и портовые сооружения» научно-координационного и экспертного Совета по вопросам ресурса и безопасной эксплуатации конструкций, сооружений и машин при Президиуме НАН Украины. Важным моментом в понимании сущности вопросов оценки остаточного ресурса конструкций является анализ особенностей действующих нормативных документов, регламентирующих требования по надежности строительных конструкций.

Впервые проблема обеспечения необходимого запаса прочности с учетом «неравномерностей строительного процесса» была сформулирована для ответственных сооружений при возведении ДнепроГЭСа. Несмотря на то, что с момента опубликования основных положений, представленных в статье инж. Н. Хоциалова, прошло 75 лет, многие вопросы «урегулирования запаса прочности» не потеряли своей актуальности и сегодня. Публикация Н. Хоциалова, вслед за работой М. Майера, определила необходимость учета «неравномерности свойств строительного материала и неравномерности расчетных операций». Определяя задачи «строительства с экономически целесообразным числом разрушений» для образованного в 1927 г. Государственного института сооружений (ГИС) Н. Хоциалов предложил некоторые пункты программы назначения запасов прочности:

- систематизация данных о неравномерности свойств материалов на основе заводских стандартов;
- формирование нормативных требований к испытательным лабораториям;
- изучение факторов, влияющих на свойства конструкций в процессе изготовления;

- нормирование требований к определению нагрузок и выбору расчетных схем;
- становление специальной научной дисциплины по изучению аварийных ситуаций;
- объединение экспериментальных работ по испытанию конструкций;
- установление принципов компенсации строительной деятельности через страхование;
- согласование экономической целесообразности и положений общественной безопасности.

Теоретические подходы к обоснованию запасов прочности металлических конструкций, сформированные в *20^х-40^х годах*, создали предпосылки для нормативного обеспечения надежности на основе методики предельных состояний. Обоснованию коэффициента запаса, различий между допускаемыми и предельными напряжениями посвящены работы Н. Жудина, которые предопределили основы расчета стальных конструкций с учетом пластических деформаций. Исследования Н. Стрелецкого, А. Гениева, Е. Беленя, А. Гвоздева и др. сформировали принципы расчета по предельным состояниям, устанавливающие полувероятностную структуру частных коэффициентов.

Следует выделить три основные тенденции, характерные для направленности работ в области надежности строительных металлоконструкций для периода *50^х–70^х годов*:

- снижение металлоемкости конструктивных форм на основе приближения методов расчета к реальной работе конструкций;
- изучение влияния режима эксплуатации на действительную работу конструкций промышленных и гражданских объектов;
- технико-экономический анализ методами вариантного и оптимального проектирования по показателям массы, трудоемкости и стоимости изготовления, монтажа, эксплуатационным затратам.

Стремление к экономии и регламентированию области применения стальных конструкций было закреплено в технических правилах ТП 101-81*. Снижение металлоемкости осуществлялось за счет применения эффективных марок сталей, совершенствования структуры профилей, конструктивных форм зданий и сооружений. Учитывая, что прочностные показатели при проектировании определяют отношение резерва надежности, то необоснованная экономия стали означала уменьшение ресурса работы конструкций. Таким образом, сокращая единовременные затраты при возведении объектов различного назначения в недостаточной степени учитывались целевые критерии, характеризующие вероятность выполнения заданных функций сооружения.

Развитию нормативно-методических требований к оценке надежности металлических конструкций при заданной целевой технологической функции объекта уделено значительное внимание в работах Н. Мельникова. Таким образом, были обозначены принципы технической политики в области

совершенствования методов расчета по предельным состояниям, перехода от статистических критериев к вероятностному определению показателей надежности и долговечности металлоконструкций в зависимости от назначения и условий работы. В 1981 г. был предложен дифференцированный подход к учету степени ответственности конструкций различного назначения в виде многокритериальной оптимизационной задачи. По разработанной методике, значение частного коэффициента ответственности устанавливалось в зависимости от требований безопасности и экономического ущерба.

По требованиям стандарта ГОСТ 27751-88 основным свойством, определяющим надежность строительных конструкций, зданий и сооружений в целом, является безотказность их работы – способность сохранять заданные эксплуатационные качества в течение определенного срока службы. Основные положения расчета по методу предельных состояний направлены на обеспечение безотказной работы конструкций и оснований с учетом изменчивости свойств материалов, грунтов, нагрузок и воздействий, геометрических характеристик конструкций, условий их работы, а также степени ответственности, определяемой материальным и социальным ущербом при нарушении их работоспособности. В зависимости от способности конструкций выполнять служебные функции, предусмотренные нормативной и проектной документацией, устанавливаются следующие признаки технического состояния конструкций:

- исправное – при выполнении всех требований, норм и государственных стандартов;
- работоспособное – при частичном отступлении от требований проекта и действующих норм, но без нарушения требований предельных состояний первой группы, а также при нарушении требований второй группы, не ограничивающих нормальное функционирование производства;
- ограниченно работоспособное – состояние, при котором обеспечение технологического процесса осуществляется при контроле над состоянием конструкций; ограничение продолжительности эксплуатации и ограничение параметров технологического процесса;
- аварийное – при имеющихся нарушениях требований первой группы предельных состояний.

Период *80^х годов* характеризуется увеличением объемов реконструкции и технологического перевооружения предприятий. Изыскание дополнительных резервов несущей способности конструкций потребовало концентрации потенциала научно-исследовательских работ для комплексного подхода к разработке дополнительных требований по обеспечению безотказности и ремонтнопригодности.

В 1981 г. в Макеевском инженерно-строительном институте (МаКИСИ) проводится Всесоюзное научно-техническое совещание «Повышение эффективности эксплуатации и реконструкции промзданий металлургической, машиностроительной и горно-рудной промышленности».

На основе анализа материалов совещания были определены следующие задачи повышения эффективности научных и проектных работ в области эксплуатации, восстановления и реконструкции:

- развитие исследований действительной работы конструкций на основе методов технической диагностики и неразрушающего контроля;
- создание методического обеспечения для сбора и систематизации статистической информации о реальном поведении конструкций, фактических нагрузках и силовых воздействиях, дефектах и повреждениях; выполнение усиления и реконструкции с учетом резервов несущей способности и конкретных условий работы элементов;
- принятие отраслевых инструктивных положений по надзору за зданиями и сооружениями и повышение квалификации работников служб эксплуатации; использования прогрессивных технологий ремонтно-восстановительных работ.

В 1983 году Госстрой СССР определил как приоритетное направление научной деятельности института УкрНИИПроектстальконструкция, отражающее изменение статуса проектной организации, «... разработку методов усиления строительных металлоконструкций на реконструируемых действующих предприятиях с учетом изменения схемы работы сооружений, свойств материалов и нагрузок, обеспечивающих надежность конструкций, уменьшение объемов строительно-монтажных работ и сроков реконструкции». Основные методы для решения поставленной задачи включали:

- выявление причин возникновения дефектов и повреждений для разработки технических решений, обеспечивающих повышение надежности и улучшение эксплуатационных свойств конструкций зданий и сооружений;
- изыскание резервов несущей способности на основе теоретического и экспериментального анализа работы конструкций с учетом действительных условий работы;
- изменение конструктивных и расчетных схем, активное регулирование усилий в несущих конструкциях, позволяющее увеличить их несущую способность практически без дополнительных затрат металла;
- создание эффективной системы диагностики и расчетной оценки остаточного ресурса конструкций для улучшения технического обслуживания и качества эксплуатации.

На основе разработанных подходов институт реализует ряд перспективных проектных решений в основу которых положены идеи предварительного напряжения конструкций, выполнения работ без остановки производства, создания конструкций, специально предназначенных для условий реконструкции. Объектами внедрения разработок являются здания и сооружения черной металлургии, судостроительной промышленности, машиностроения, связи и других отраслей промышленности. В числе предприятий, для которых выполнены проекты реконструкции, металлургический комбинат им. Ильича (г. Мариуполь), Макеевский

металлургический комбинат им. С.М. Кирова, завод «Ленинская Кузница» (г. Киев), Одесский завод радиально-сверлильных станков, Коммунарский и Запорожский коксохимзаводы, ПО «Новокраматорский машиностроительный завод» и ряд других объектов.

В результате совместной работы УкрНИИПроектстальконструкции, ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, МИСИ им. В.В. Куйбышева постановлением Госстроя СССР от 11 декабря 1985 г. № 218 с 01.06.1986 г. введен в действие раздел 20 «Дополнительные требования по проектированию конструкций зданий и сооружений при реконструкции» к СНиП II-23-81 «Стальные конструкции». В 1986 г. УкрНИИПроектстальконструкция разрабатывает отраслевую научно-техническую программу 0.55.01.121 «Разработать и внедрить прогрессивные способы реконструкции промышленных зданий и сооружений ведущих отраслей промышленности, обеспечивающие сокращение трудозатрат, материальных ресурсов и сроков ее проведения» для реализации которой привлечены 48 организаций, специализирующихся в области металлостроительства. С целью координации вопросов реконструкции в МакИСИ проводится Всесоюзный семинар «Индустриальные технические решения для реконструкции зданий и сооружений промышленных предприятий» (г. Макеевка, май 1986 г.), на котором обсуждались методические и нормативные документы, разрабатываемые в рамках выполнения отраслевой программы 0.55.01.121.

Реализация этапов выполнения программы активизировала работу исследовательских коллективов, сформировавшихся в Днепропетровске (М.М. Сахновский, А.В. Сильвестров, Р.Б. Тянь, Е.А. Егоров, Ю.А. Зданевич, Н.В. Савицкий, В.А. Шевченко), Донбассе (Е.В. Горохов, И.Р. Рухович, С.Н. Шаповалов), Киеве (В.Н. Шимановский, М.М. Жербин, В.В. Трофимович, В.А. Лимаренко, В.Л. Гейфман), Луганске (М.С. Розенфельд, А.С. Файвусович, Е.П. Уваров), Львове (М.Р. Бельский, М.В. Гоголь), Николаеве (В.С. Шебанин, В.Г. Богза, Н.Л. Чернов), Одессе (И.М. Романенко), Полтаве (В.А. Пашинский), Симферополе (Г.А. Аржемачев), Харькове (И.Н. Заславский, Е.А. Рабинович, В.Л. Чернявский). Для оперативного решения технических вопросов по реконструкции и капитальным ремонтам были образованы структурные подразделения УкрНИИПроектстальконструкции в городах Харькове, Мариуполе, Луганске, а, позднее, в г. Полтаве, Одессе, Днепропетровске, Донецке, Броварах, Борисполе и др.

1.2. Анализ технического состояния и проблем эксплуатации строительных металлоконструкций

Украина владеет значительным строительным фондом, представленным производственными, гражданскими и жилыми зданиями и

сооружениями. Их стоимость составляет свыше 60% основных фондов народного хозяйства страны. Поэтому сберечь этот фонд, содержать его в состоянии, пригодном для использования по назначению в течение заданного срока эксплуатации является одной из важнейших народнохозяйственных проблем. Важное значение проблема безопасной эксплуатации конструкций зданий и сооружений приобретает в связи с технологическим перевооружением, необходимостью использования современных сырьевых материалов и энергетических источников, отвечающих требованиям взаимодействия с окружающей средой (рис. 1.1, 1.2).



Рис. 1.1. Здание углеподготовки обогатительной фабрики



Рис. 1.2. Производственный комплекс водоочистки коксохимического предприятия

Однако за последние годы отмечается лавинное увеличение количества аварий, в том числе и техногенного характера. С 1991 года и по настоящее время на предприятиях горнодобывающей, металлургической, машиностроительной и других отраслей промышленности, в жилищно-коммунальном хозяйстве и в строительстве имели место свыше тысячи аварий, большинство из которых сопровождались человеческими жертвами. Значительная часть этих аварий была обусловлена старением несущих строительных конструкций.

Влияние процессов старения и износа на возможность аварийного разрушения строительных конструкций является одной из главных межотраслевых проблем безопасности. Ведь производственные здания и сооружения являются местом продолжительного пребывания большого количества людей, жизнь и здоровье которых вследствие старения и износа конструкций потенциально подвергаются опасности. К сожалению, этой проблеме не уделяется должного внимания, хотя вопрос старения основных фондов хорошо известен специалистам. Причем, если старение активных производственных фондов может привести, в основном, к снижению

производительности труда (иногда к повышению травматизма), то старение пассивных производственных фондов, к которым принадлежат здания и сооружения, может привести к внезапным разрушениям и поставить под угрозу жизнь и здоровье производственного персонала и жильцов.

С учетом высокой значимости комплекса мероприятий для обеспечения надежности и долговечности металлофонда, борьба с коррозией является важным элементом государственной технической и экономической политики всех промышленно развитых стран. Как выходит из диаграммы на рис. 3, *а*, ориентированные ежегодные прямые затраты, связанные с коррозией, составляют по данным американской ассоциации коррозионистов (NACE International) 276 млрд. \$ США, что составляет 3,1% номинального валового внутреннего продукта. Соответствующие показатели для основных отраслей промышленности Украины и Донецкой области на основе данных экспертных оценок представлены на рис. 1.3, *б*, *в*.

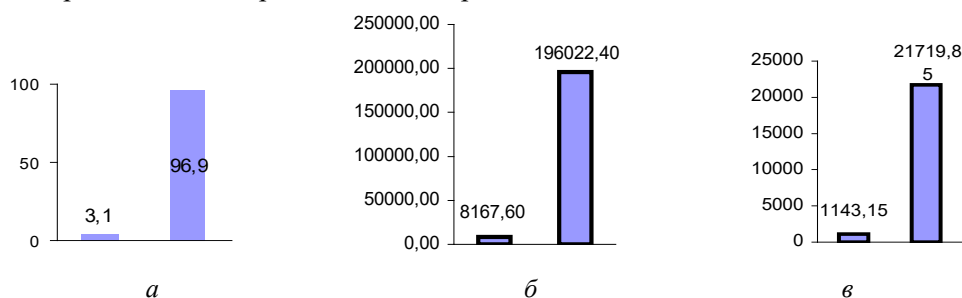


Рис. 1.3. Прямые расходы на коррозию в экономике в объеме номинального валового внутреннего продукта:

а – США, %; *б* – Украина, млн. грн.; *в* – Донецкая область, млн. грн.

Следует отметить, что исследования специалистов NACE International за 22-летний период, определили, что суммарная стоимость убытков от 52-х факторов, связанных с возникновением опасных событий составляет свыше 380 млрд. \$ США. Таким образом, разработка мероприятий для предотвращения коррозионного разрушения конструкций является важнейшей составляющей обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики. Подтверждением этому являются многочисленные факты аварийного разрушения конструкций вследствие коррозионного износа, вызывающие значительные материальные потери.

В Украине эксплуатируется около 36 млн.т. несущих металлических конструкций, введенных в эксплуатацию, в основном, в 60-80 годах (рис. 1.4).

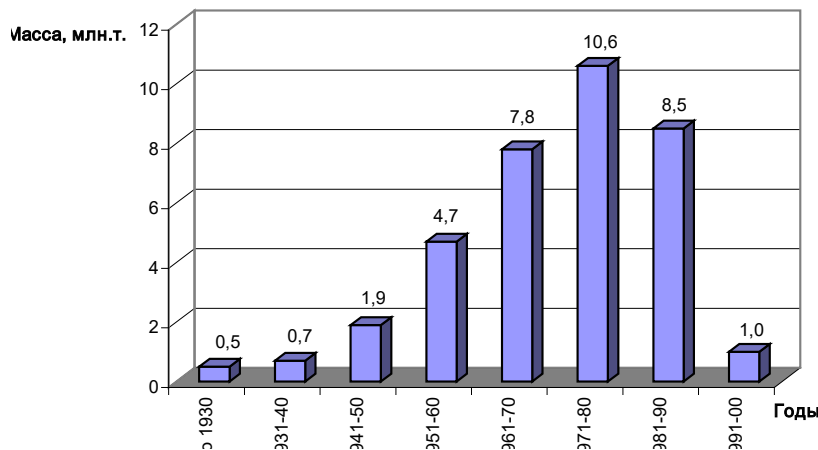


Рис. 1.4. Периоды введения в эксплуатацию металлических конструкций

Они сконцентрированы, прежде всего, на объектах базовых отраслей: черной и цветной металлургии, машиностроения, энергетической, угледобывающей, нефтегазовой промышленности и др. (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Отраслевая структура фонда стальных конструкций

Основу фонда металлических конструкций Украины составляют конструкции промышленных сооружений. Общая масса этих конструкций больше чем 12,2 млн.т., что равняется 35% общей массы эксплуатируемых металлических конструкций (рис. 1.6).

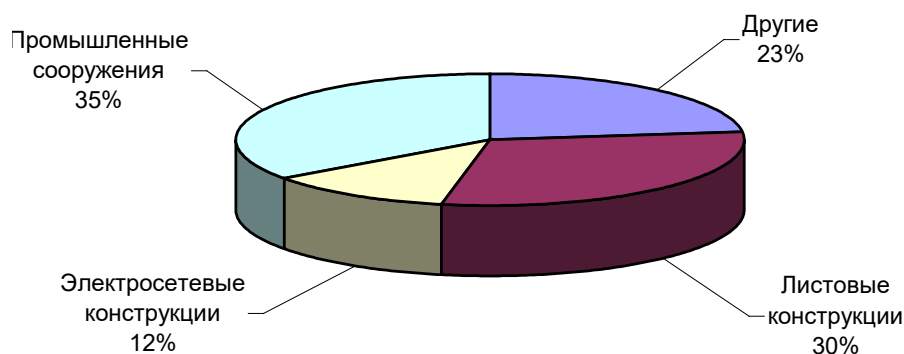


Рис. 1.6. Характеристика фонда по типами конструкций

На сегодня отмечается стойкая тенденция к снижению объема производства стальных конструкций, несмотря на наличие производственной базы и квалифицированных кадров. Современный потенциал заводов металлоконструкций, входящие в объединение «Укрстальконструкция», позволяет ежегодно производить до 450 тыс.т. металлоконструкций различного назначения (в том числе сварных конструкций, гнутых профилей, профнастилов, трехслойных эффективных ограждающих панелей и т.п.). На базе Житомирского ЗОК, Каменец-Подольского и Краматорского ЗМК создана практически новая подотрасль строительных металлоконструкций, ориентированная на производство эффективных ограждающих металлоконструкций, конкурентоспособных с лучшими мировыми аналогами. Однако существующие экономические условия в Украине существенно отражаются на состоянии отрасли. Так, если в 1990 г. было произведено 376,6 тыс.т. строительных стальных конструкций, а в 1995 г. – 85,7 тыс.т., то уже в 2000 г. – только 21,1 тыс.т. (рис. 1.7).

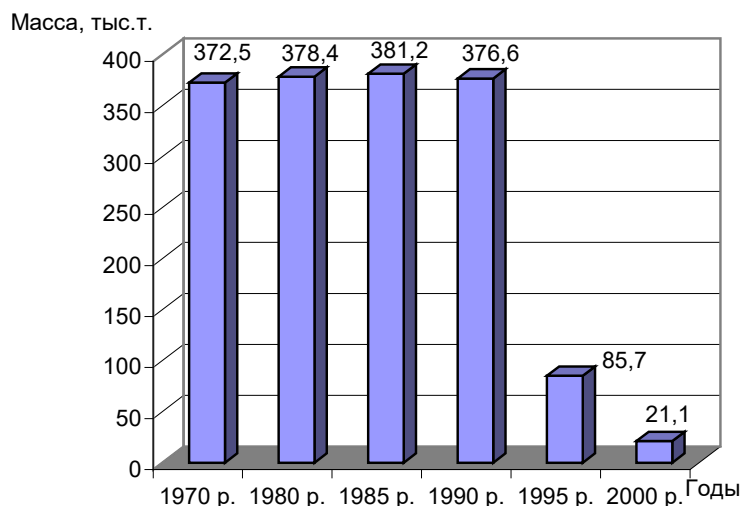


Рис. 1.7. Производство стальных конструкций по годам

Еще более унылое состояние наблюдается в производстве легких металлических конструкций. При потенциальных возможностях ежегодного выпуска около 80 тыс.т. профилированного настила и 3,2 млн. кв. метров панелей покрытия и стен в 1998 г. произведено соответственно только 950 тонн и 5 тыс. кв. метров, что составляет 1,18% и 0,15% общего потенциала.

Сокращение фонда металлических конструкций осуществляется по ряду факторов. Во-первых, конструкции в условиях эксплуатации подвергаются физическому износу и накапливают усталость от переменных нагрузок. Во-вторых, сегодня около 50% металлофонда зданий и сооружений различных отраслей промышленности и сельского хозяйства работает в условиях средне и сильно агрессивных влияний, что приводит к их коррозии. В-третьих, как природные явления (ураганы, землетрясения и т.п.), так и неправильная эксплуатация, все чаще и чаще приводят к возникновению аварий и отказов элементов конструкций. В-четвертых, как отдельные конструктивные элементы, так и отдельные здания и сооружения перестают отвечать своему функциональному назначению – они морально устаревают и требуют реконструкции.

Анализ периодов введения в эксплуатацию металлических конструкций свидетельствует, что основу фонда составляют конструкции, введенные в эксплуатацию более чем 20 лет тому назад (до 26,2 млн.т.). Причем значительная часть этого фонда имеет большой физический износ и поврежденность (рис. 1.8), которая к моменту выхода конструкций из строя составляет 35-40%.

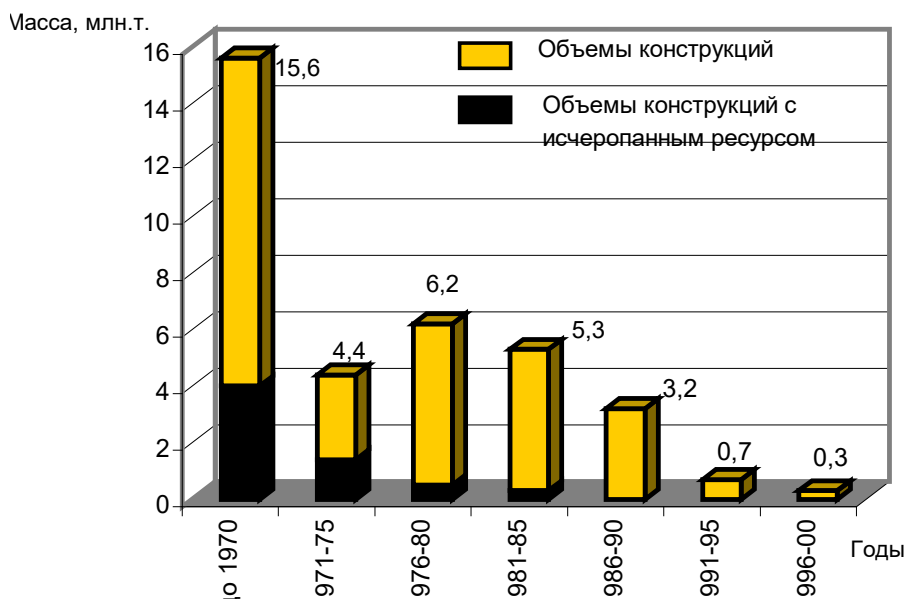


Рис. 1.8. Объемы эксплуатируемых металлических конструкций по годам и их приблизительный износ

Если взять во внимание только средний срок эксплуатации и только для наиболее объемной части металлофонда – промышленных зданий (приблизительно равняется 40-50 годам), то уже выходит, что в Украине 7-8% существующего металлофонда находится на грани выбывания. Дополнительный учет ухудшения условий эксплуатации зданий, отсутствие возможности финансирования работ по реконструкции и воссозданию, приводит к резкому возрастанию этого показателя. Поэтому в ближайшем будущем (5-10 лет) граница срока эксплуатации существующего металлофонда будет двигаться в глубь его основы, что означает увеличение показателей выбывания существующих конструкций из строя.

В Украине эксплуатируется около 10,5 млн.т. металлических листовых конструкций, что составляет 30% от их общего количества, из них 40-45% составляют конструкции стальных резервуаров. На сегодня существует банк данных по техническому состоянию и отказам резервуаров в условиях натурной эксплуатации. Большинство резервуаров находятся на грани использования своего остаточного ресурса.

Не лучшая ситуация сложилась и с другими типами конструкций. В Украине ныне эксплуатируются свыше 28 тысяч мостов, за которыми, в большинстве случаев, нет надлежащего ухода. При этом, в городах и поселках 83% мостов и путепроводов не отвечают требованиям современных норм относительно габаритов и грузоподъемности. Значительная часть (более 1/3) конструкций электросетевого строительства также истощила свой ресурс или он близок к истощению.

Огромный объем данных по результатам обследований существующих конструкций дает богатый материал для изучения процесса повреждений различных типов конструкций. Так, в ОАО «Укрниипроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» было проведено обобщающее исследование поврежденности покрытий производственных зданий различных отраслей промышленности. Некоторые из полученных по 46 объектам данных приведены в табл.1.1.

Поврежденность покрытий производственных зданий
различных отраслей промышленности

Таблица 1.1

Отрасль промышленности	Количество объектов	Количество ферм		
		всего	с дефектами и повреждениями	
			шт.	%
Машиностроение	15	1074	419	39,0
Черная металлургия	18	1170	463	39,6
Цветная металлургия	4	336	117	34,8
Судостроение	6	243	101	41,5
Энергетика	3	262	84	32,1
Всего	46	3085	1184	38,4

Из табл. 1.1 можно увидеть, что относительное количество ферм с дефектами и повреждениями значительно и мало изменяется для различных отраслей промышленности.

Коррозионное разрушение является одним из основных повреждений строительных металлоконструкций, для устранения которого крайне нужны дополнительные затраты материальных ресурсов. Сейчас около 50% металлофонда зданий и сооружений различных отраслей промышленности и сельского хозяйства работает в условиях средне- и сильноагрессивных воздействий. По данным экспертных оценок в Украине потери от коррозии составляют 10-15% всего произведенного черного металла или 4-5% национального дохода. Поэтому каждые 3 года необходимо перекрашивать 75% металлоконструкций и 10-20% заменять в результате коррозионного износа.

Большое влияние на состояние конструкций имеют факторы природного характера. На сегодня свыше 70% промышленного потенциала Украины находится под угрозой природных явлений: оползней, наводнений, землетрясений. Около 10% территории или 60000 км² относится к сейсмической зоне (в 6-ти балльной зоне находятся 240 населенных пунктов, 50 – в 7-ми и 12 – в 8-балльной). На этой территории проживает 10% населения Украины. Учитывая, что катастрофические землетрясения в Украине повторяются один раз в 75-100 лет, можно сделать вывод о

приближении периода, когда выбывание конструкций из-за сильных землетрясений станет более вероятным.

Приведенный анализ технического состояния зданий и сооружений, построенных не только в 50-70 годы, но и за последние 10-20 лет, свидетельствует о том, что в их содержании нет надлежащего порядка, соответствующей системы, которая обеспечивала бы квалифицированную эксплуатацию, инженерную диагностику их состояния, своевременный ремонт, реновацию и упреждала бы аварии, обеспечивая тем самым сохранение основных фондов и экологическую безопасность окружающей среды.

Причем сложность создавшегося положения состоит еще и в том, что отсутствие средств для замены выбывших конструкций вынуждает владельца различными мерами стараться эксплуатировать непригодные конструкции, что нередко ведет к авариям и катастрофам, материальный убыток от которых в десятки раз превышает стоимость восстановления этих конструкций.

Определение величины износа металлических конструкций.

Вопросы надежности эксплуатации строительных металлических конструкций неразрывно связаны с величиной их износа и остаточным ресурсом (запасом функциональной способности). Имея такого рода качественные показатели можно делать выводы о степени эксплуатационной надежности и предвидеть мероприятия для ее увеличения (ремонт и усиление).

Достаточно общим показателем износа может служить стоимость ремонтно-восстановительных работ, отнесенная к начальной стоимости объекта, хотя здесь и появляется фактор, который сильно мешает – инфляционные процессы не позволяют корректно сопоставлять затраты, сделанные в свое время, с текущими. Но такое сопоставление все же может быть выполнено при соответствующей корректировке сумм затрат, поэтому указанный показатель имеет право на существование. Заметим, что, если стоимость ремонтно-восстановительных работ сопоставлять со стоимостью нового объекта аналогичного назначения, то вместе с физическим может также учитываться и моральный износ (при этом только в стоимости ремонта должно учитываться доведение объекта до уровня современных требований).

Проведенная обработка статистических данных выявила, что зависимость стоимости ремонта S от степени физического износа F является зависимостью логарифмического типа (рис. 1.9), которая может считаться достаточно универсальной. Таким образом, при физическом износе свыше 68%, стоимость ремонта и восстановления здания превышает начальную стоимость.

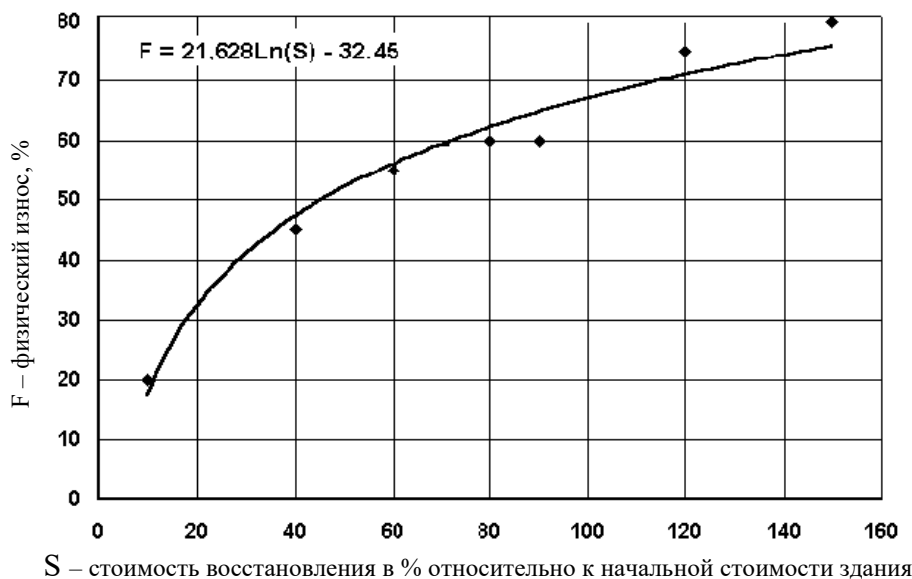


Рис. 1.9. Зависимость между стоимостью ремонта и износом

Поскольку при эксплуатации накапливаются и повреждения, которые невозможно устранить (например, смена реологических свойств материалов, смещения опор), то в стоимость ремонтно-восстановительных работ войдет лишь та часть износа, которая может быть устранена. Общий износ будет при этом представлен как

$$U = \frac{C_{\partial \dot{a} i}}{C_{\ddot{u} \div}} + kt, \quad (1.1)$$

где k — коэффициент скорости возрастания износа; t — время.

Исходя из такого представления и с учетом того, что конца срока службы фактический износ составляет 35-40%, определены значения коэффициента k для металлических конструкций производственных зданий очень тяжелого (ОТ), тяжелого (Т) и среднего (С) режимов работы и определены закономерности возрастания износа в течение срока эксплуатации (рис. 1.10).

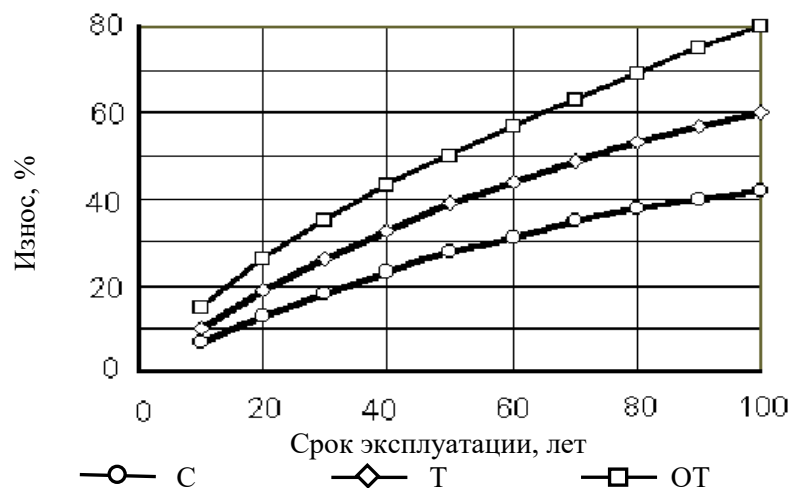


Рис. 1.10. Возрастание общего износа металлических конструкций производственных зданий различных режимов работы

Классификация здания по режимам работы выполнялась по значениям коэффициента режима

$$K_p = \frac{\sum_i n_i}{\sigma_r N_o} \left(\frac{\sum_i \sigma_i \frac{n_i}{N_i}}{\sum_i \frac{n_i}{N_i}} \right)^m, \quad (1.2)$$

где σ_i – уровень напряжений; n_i – соответствующее σ_i число циклов; m – показатель степени в кривой усталости; σ_r – граница выносливости; N_o – базовое число циклов.

Здание относится к режиму ОТ, если $1 \geq K_p \geq 0,03$, к режиму Т, если $0,03 \geq K_p \geq 0,003$ и к режиму С, если $0,003 \geq K_p \geq 0,00003$.

Как известно, состояние объекта в целом зависит от состояния его отдельных элементов. Поэтому выход из строя конструктивного элемента, например, подкрановой балки, обуславливает аварийность всего здания в целом. Таким образом, говоря о процессе износа зданий и оценивая их остаточный ресурс, необходимо учитывать подобные параметры отдельных конструктивных элементов.

Например, для сварных подкрановых балок главным типом повреждения являются трещины поясных швов верхнего пояса. Хорошо фиксируется зависимость количества таких повреждений от срока эксплуатации (табл. 1.2), при этом только необходимо учитывать, что среди «неповрежденных» балок со сроком эксплуатации свыше 5 лет есть заметная часть отремонтированных (иногда неоднократно).

Повреждения подкрановых балок
в зависимости от срока эксплуатации

Таблица 1.2

Срок эксплуатации, лет	Количество балок, шт.		Процент поврежденных балок
	обследованных	поврежденных	
1–3	29	4	14
4–6	70	12	17
10–12	105	64	61
20–22	62	45	73

Дефекты и повреждения возникают как во время изготовления и монтажа конструкций, так и во время их эксплуатации. При этом дефекты изготовления и монтажа чаще всего получают дальнейшее развитие при эксплуатации, добавляясь к повреждениям, характерным для этой стадии.

Законодательное обеспечение. Законодательное закрепление требований к безопасности действует в разных странах. При этом предметом соответствующих регламентирующих документов становятся как классические вопросы правового регулирования (вид и форма ответственности, регламентация деятельности юридических и физических лиц и т.п.), так и чисто оценивающие проблемы.

Контроль и надзор за обеспечением безаварийной эксплуатации основных фондов производственных и общественных зданий, инженерных сооружений и коммуникаций должен быть одним из основных направлений деятельности наблюдательных органов центральной и местной власти, страховых компаний, владельцы сооружений и предприятий. Однако такую работу, к сожалению, не проводит ни одно из ведомств, которым поручено выполнять Постановления Кабинета Министров Украины от 05.05.97 г. № 409 «Об обеспечении надежной и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей» и от 22.08.2000 г. № 1313 «Об утверждении Программы предупреждения и реагирования на чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера на 2000- 2005 годы с целью комплексного решения проблем защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, в интересах безопасности отдельного человека, общества, национального достоинства и окружающей среды». Причем указанные постановления после некоторого периода активности практически перестали выполняться.

По нашему мнению, необходимо разработать ряд законодательных актов, которые должны охватывать всех участников и все звенья процесса обеспечения безаварийной эксплуатации от принятия решения о создании предприятия до его ликвидации (выведение из эксплуатации). По состоянию на сегодня такая законодательная база в Украине отсутствует.

Нормативное обеспечение в отрасли проектирования, изготовления и монтажа. Сейчас в Украине в отрасли проектирования,

изготовления и монтажа строительных конструкций действуют нормативные документы Украины (государственные строительные нормы – ДБН, ведомственные строительные нормы – ВБН и технические условия). Характерным является то обстоятельство, что в отрасли проектирования строительных конструкций (и строительных стальных в частности) в Украине действуют нормативные документы бывшего СССР. Здесь следует отметить два основных документа:

1. ГОСТ 27751-88 (СТ СЭВ 384-57). Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету.

2. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия.

В отрасли проектирования строительных стальных конструкций действует СНиП II-23-81*, а в отрасли изготовления и монтажа – СНиП III-18-75. Таким образом, весь «жизненный цикл» конструкции от принятия основных решений до ее возведения включительно регламентируется документами бывшего СССР. Необходимо отметить, что требования этих документов в целом являются достаточно обоснованными, однако практически все они требуют корректировки относительно более детального учета условий Украины.

Нормативное обеспечение в отрасли обследования, усиления или демонтажа конструкций. Проблемы создания нормативной базы для выполнения работ по эксплуатации, оценке технического состояния и ремонта стальных конструкций в 70-х и 80-х развивались в рамках специальной целевой программы 121.055 бывшего Госстроя СССР, что привело к созданию ряда нормативных документов. После распада СССР эти работы продолжались на другой организационной основе. Новый импульс продолжению этих работ дало Постановление Кабинета Министров Украины № 409, которое фактически признало государственную важность проблемы обеспечения надежности и безопасной эксплуатации строительных объектов. На государственном уровне, однако, потенциал этого постановления реализуется далеко не в полной мере.

Сыграв свою положительную роль, указанное постановление поставило абсолютно нереальные задачи по проведению полной паспортизации всех объектов до конца 1997 года и подготовке в течение этого же года пакета нормативных документов, регламентирующих организацию работы по выполнению диагностики и экспертизы технического состояния объектов и проведению ремонтных работ. Это с самого начала обрекло разработчиков нормативной документации к торопливости, поэтому соблюдение указанных сроков происходило за счет снижения качества разработок. Практически постановление не выполнено и до сегодня, несмотря на то, что срочно разработанные нормативные документы создали некоторую видимость благополучия, хотя в действительности они ориентированы только на решение одной из многих задач обеспечения надежности эксплуатации зданий – создания системы паспортизации.

Нормативное обеспечение в отрасли эксплуатации сооружений и конструкций. Следует отметить, что в большинстве случаев запроектированные конструкции имеют достаточную надежность, а их отказы связаны с неудовлетворительным качеством изготовления, монтажа и эксплуатации.

Действующие нормативные документы в своем большинстве ориентированы на новое проектирование, лишь в последние годы разработан ряд документов, регламентирующих обследование, оценку технического состояния, усиления или демонтаж конструкций.

В области эксплуатации сооружений и конструкций нам известны лишь два нормативных документа, регламентирующих эксплуатацию стальных конструкций производственных зданий предприятий черной металлургии и стальных конструкций надшахтных копров в угольной промышленности.

Таким образом, отсутствие документов, нормирующих правила эксплуатации широкого класса зданий и сооружений, является в значительной мере тормозом в отношении решения проблемы безаварийной их эксплуатации.

1.3. Критерии оценки аварий и чрезвычайных ситуаций

В последние годы наметилось лавинное возрастание количества аварий и разрушений строительных конструкций объектов различного назначения. Эта тенденция характерна для большинства регионов Украины. Полные обрушения конструкций к счастью являются относительно редкими явлениями, но наблюдается большое количество повреждений конструктивных элементов зданий и сооружений, которые только благодаря счастливому стечению обстоятельств или другим случайным факторам не перешли в состояние катастрофического разрушения.

Как указывалось выше, в содержании и эксплуатации зданий и сооружений нет надлежащего порядка и соответствующей системы. И как результат – большие аварии на Енакиевском и Днепропетровском цементных заводах, машиностроительном заводе в Днепропетровске. Неожиданно упали мачты Ужгородского радицентра. Взорвались резервуары для хранения мазута емкостью 3 тысячи кубометров в Донецке, емкостью 10 тысяч кубометров – в Одессе, 20 тысяч кубометров – в Кременчуге. Разрушилось перекрытие мартеновского цеха в Днепропетровске, цехов сахарного завода в Харьковской области, произошло много других чрезвычайных происшествий.

Так, по данным, собранным областной инспекцией Госархстройконтроля, например, только в Донецкой области за период с 1994 г. по 1998 г. произошло 23 аварии (обрушения). При этом на промышленных объектах случилось 6 аварий и обрушений, на жилищно-гражданских – 14, на других объектах – 4. От общего количества аварий за

период с 1994 г. по 10 месяцев 1998 г. – 19% случаев произошло в период строительства, 77% – в период эксплуатации и 4% – при проведении ремонтных работ.

Соответственно к этой статистике значительная доля аварий возникла на объектах, находящихся в стадии эксплуатации. Анализ показал, что к этому приводит несвоевременное обследование технического состояния зданий и сооружений и устранение выявленных дефектов.

Подтверждением этого тезиса могут служить факторы аварий стальных конструкций. Данные о них находятся в различных литературных источниках. Они касаются как зданий и сооружений общего назначения, так и специальных объектов (рис. 1.11).

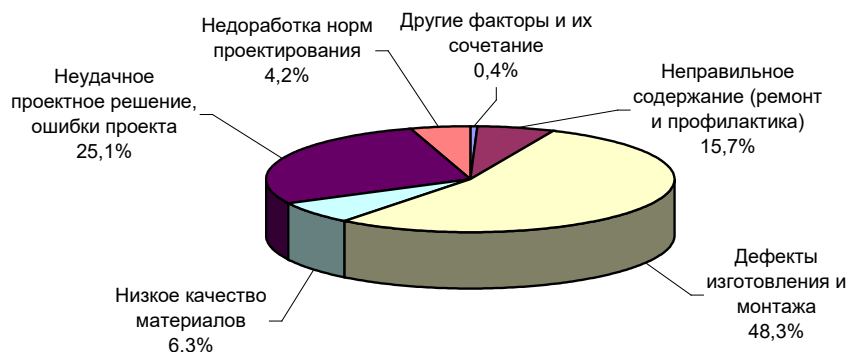


Рис. 1.11. Факторы аварий стальных конструкций

При рассмотрении статистики причин аварий стоит иметь в виду перекос оценок в сторону завышения фактора «Неудачное проектное решение, ошибки проекта». Это связано с тем, что в отличие от других участников строительного процесса проектировщики находятся в невыгодном положении, особенно в тех случаях, когда фактор аварии сразу не удалось установить. Конкретный дефект изготовления или монтажа обвалившейся конструкции (например, дефектный сварной шов или отсутствие необходимого количества болтов), трудно отыскать в гряде поврежденного металла. В то же время проект, по которому было возведено сооружение, может быть детально и всесторонне проанализирован и наличие даже незначительных ошибок, которые сами по себе никогда бы не привели к аварии, всегда будут выявлены квалифицированной экспертизой и отмечено в акте расследования аварии.

Сегодня Украина столкнулась с проблемой массового разрушения конструкций. Следствием природных явлений были аварии воздушных линий электропередач в Одесской, Винницкой и др. областях Украины. Однако часто фактором массового разрушения конструкций становится неправильная эксплуатация, несанкционированный демонтаж элементов конструкций. Примером массового разрушения конструкций, вызванного демонтажем их элементов, является падение четырех опор ПЛ 330 кВ «Североукраинская –

Полтава» 21 мая 1996 г. До момента возникновения нарушения на опорах были сняты от двух до шести элементов решеток. Разрушение произошло во время сильного ветра скоростью свыше 30 м/с. Авария случилась во время попытки демонтировать токоведущие алюминиевые провода на опоре с отсутствующими элементами. Местный житель, находясь на опоре, разобрал узел крепления гирлянды изоляторов и сбросил провод крайней фазы на землю, в результате чего соседняя опора (также имела демонтированные элементы) подверглась сильному динамическому удару и разрушилась. Падение конструкции привело к появлению дополнительной динамической нагрузки на опору, с которой производился демонтаж. Это вызвало ее обрушение со смертельным травмированием участника инцидента. Осмотр линии после аварии выявил несанкционированный демонтаж раскосов и стоек соседних опор.

Анализ причин возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций техногенного характера за последние годы показал, что почти в половине случаев (48 процентов) они имеют технический характер (неудовлетворительное техническое состояние сооружений, конструкций, оснащения и инженерных сетей, их значительный износ вследствие окончания нормативного срока эксплуатации нормативного ресурса). По подсчетам специалистов, изношенность указанных объектов в различных отраслях экономики составляет 50-70 процентов и имеет тенденцию к возрастанию.

Вследствие прекращения обновления указанных объектов особую актуальность приобретает вопрос управления эксплуатационным сроком их надежного и безопасного использования путем определения остаточного ресурса и установления новых сроков эксплуатации, превышающих предусмотренные проектной и эксплуатационной документацией, а также обязательных условий их эксплуатации в этот период. Существующая система обеспечения надежности и безопасной эксплуатации сооружений, конструкций, оснащения и инженерных сетей имеет определенные недостатки, приводящие к дальнейшему ухудшению их технического состояния, а также к неэффективному использованию средств, в том числе государственного и местных бюджетов, выделяемых для осуществления предупредительных мероприятий.

Недопустимость дальнейшего снижения уровня безопасности и уменьшения продолжительности работы жизненно важных объектов экономики вследствие эксплуатации сооружений, конструкций, оснащения и инженерных сетей, работающих на грани исчерпания своего ресурса и представляющие потенциальную опасность для жизни и деятельности людей, отсутствие системного подхода к решению указанной проблемы обуславливают необходимость:

- применения системного подхода к решению проблемы обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики на основании единой концептуально согласованной и научно обоснованной

государственной политики в указанной сфере на национальном, отраслевом, региональном и объектном уровне;

- устранение расхождений в законодательных и других нормативно-правовых актах, которыми регулируются указанные вопросы в различных отраслях экономики, в части обеспечения надежности и безопасной эксплуатации объектов гражданского назначения и проведение соответствующих предупредительных мероприятий, а также учет изменений, которые произошли в экономике и в уполномоченных органах исполнительной власти за последние 15 лет;

- нормативного урегулирования вопросов, связанных с порядком и условиями определения остаточного ресурса и продолжения проектного срока эксплуатации для большинства объектов, а также с установлением ответственности владельцев этих объектов за соблюдение предусмотренного нормативной, проектной и эксплуатационной документацией режима их эксплуатации, поддержания надлежащего технического состояния.

Установление требований к безопасности конкретного строящегося или реконструируемого предприятия состоит в выборе состава (номенклатуры) показателей, используемых для количественного описания безопасности, и определении предельно допустимых числовых значений (норм) этих показателей.

Для предприятий, представляющих собой совокупность технологических комплексов, в состав которых входят потенциально опасные объекты, и при этом для каждого из них можно сформулировать понятия аварий, которые могут возникать и происходить независимо друг от друга, требования к безопасности должны устанавливаться для каждого объекта, для отдельного предприятия в целом, а также для группы предприятий.

Требования к безопасности предприятий устанавливаются с учетом всей совокупности факторов, влияющих на характер и уровень воздействия предприятия на реципиентов.

Предприятия и объекты дифференцируют по следующим признакам:

- по видам источников опасности (радиационные, химические, биологические, физические, механические, бактериологические, пожароопасные);

- по интенсивности источников опасности (постоянное излучение, залповые выбросы, накопление опасного эффекта на поверхности грунта и т.п.);

- по характеру и степени воздействия на реципиентов;

- по сфере загрязнения (атмосфера, гидросфера, литосфера).

Требования к безопасности предприятия устанавливаются органами государственного регулирования и управления в лице органов Минэкологии, Министерства по вопросам чрезвычайных ситуаций, Минздрава, Министерства внутренних дел, а также национальных и территориальных органов управления в соответствии с действующим законодательством.

Государственное регулирование безопасности осуществляется Министерством охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности Украины, Министерством здравоохранения Украины, другими органами государственной исполнительной власти в соответствии с законодательством Украины. Оно направлено на снижение до приемлемого уровня воздействия вредных факторов и заключается:

- в разработке принципов, критериев и условий, учитывающих международный опыт и требования действующих нормативных документов;
- в издании нормативных документов по безопасности и качеству работ на всех стадиях и этапах цикла существования предприятия;
- в проведении государственной экспертизы;
- в предоставлении разрешений или лицензий на все виды деятельности, определенные государственными нормативными документами по безопасности;
- в инспектировании проведения работ на соответствие выданным лицензиям;
- в определении процедуры отчетности, структуры отчета и списка, параметров показателей, которые должны быть в нем отражены.

Государственные органы регулирования для предприятий отдельных видов и групп устанавливают параметры и характеристики, определяющие их негативное влияние на экологическую обстановку и ее развитие, совокупность которых требует осуществления мероприятий по защите персонала, населения региона и окружающей среды, а также назначают экологическую экспертизу как для проектируемых так и для действующих предприятий.

Надзор за соблюдением требований по безопасности предприятий осуществляют органы Госнадзора:

- Государственного департамента – промышленной безопасности, охраны труда и горного надзора;
- органы государственного надзора за ядерной и радиационной безопасностью Министерства охраны природы и ядерной безопасности;
- органы государственного пожарного надзора управления пожарной охраны Министерства внутренних дел Украины;
- органы и учреждения санитарно-эпидемиологической службы Министерства здравоохранения Украины.

Требования по безопасности предприятия формулируются как в виде технических и организационных мер, так и в виде предельно допустимых значений показателей безопасности.

Технические и организационные меры, которые формулируются в виде руководств и правил, определяются требованиями физической защиты предприятия. Они препятствуют несанкционированному распространению действия находящихся на предприятии источников опасности, и предотвращают несанкционированный доступ к установленным проектом уязвимым местам.

Виды и номенклатура показателей безопасности должны устанавливаться таким образом, чтобы предоставить возможность определять как отдельный, так и совокупный ущерб для различных реципиентов от воздействия отдельных факторов, в том числе и трансграничный эффект этого влияния.

В качестве реципиентов выступают:

- люди;
- флора и фауна;
- атмосфера, гидросфера и литосфера;
- урбанизированные и сельскохозяйственные территории;
- объекты рекреации;
- особо охраняемые территории (национальные парки, заповедники, заказники и др.);
- другие материальные объекты любой формы собственности.

Требуемые численные значения показателей безопасности устанавливают на основе анализа технологического процесса с учетом, как последствий функционирования, так и ценности произведенного продукта или предоставленных услуг.

Показатели безопасности делятся на проектные и оперативные. Проектные показатели характеризуют безопасность, заложенную в техническом проекте предприятия.

Оперативные показатели описывают текущие значения уровня безопасности и отражают состояние предприятия на момент проведения контроля. Оперативные показатели служат мерой приближения предприятий к границе безопасной эксплуатации и потому для них в проектной документации должны быть установлены предельные значения.

Обеспечение безопасности предприятия сводится к снижению потенциальной опасности до приемлемого уровня.

Обеспечение безопасности связано с определенными материальными затратами, которые, с одной стороны, должны сопоставляться с ценностью продукции или услуг, производимых предприятием, а, с другой стороны, с возможным прямым и косвенным ущербом от его функционирования во всех режимах эксплуатации.

Авария – опасное событие техногенного характера, приводящее к гибели людей или создающее на объекте или отдельной территории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оснащения, транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса или приносит вред окружающей среде.

В соответствии с положением к авариям техногенного характера относятся аварии на транспорте, пожары, взрывы, аварии с выбросом сильнодействующих отравляющих, радиоактивных, биологически опасных и других загрязняющих веществ, внезапное разрушение сооружений, оснащения и т.п. Такие аварии подразделяют на две категории.

К I категории относят аварии, в результате которых:

- погибли 5 или травмированы 10 и более лиц;
- произошел выброс отравляющих, радиоактивных, биологически опасных веществ за санитарно-защитную зону предприятия;
- увеличилась концентрация загрязняющих веществ в окружающей природной среде более чем в 10 раз;
- разрушены здания, сооружения или основные конструкции объекта, что создало угрозу для жизни и здоровья значительного количества работников предприятия или населения.

Ко II категории относят аварии, в результате которых:

- погибли до 5 или травмированы от 4 до 10 лиц;
- разрушены здания, сооружения или основные конструкции объекта, что создало угрозу для жизни и здоровья работников цеха, участка с численностью работающих 100 человек и более.

Случаи нарушения технологических процессов, работы оборудования, временной остановки производства вследствие срабатывания автоматических защитных блокировок другие локальные нарушения в работе цехов, участков и отдельных объектов, падения опор и обрыв проводов линий электропередач и т.п. не принадлежат к категорийным авариям и расследуются соответственно с требованиями законодательства.

Строительный объект – сооружение (включительно здание) какого-либо назначения, опирающееся на фундамент, состоит из строительных конструкций и может иметь инженерное оснащение. Авария на строительном объекте – чрезвычайная ситуация, состоящая в разрушении этого объекта в целом или его части (включительно конструкция, элемент инженерного оснащения).

Не считают аварией повреждение конструктивных элементов и деталей без их обрушения, срабатывания сигнализационных и (или) противоаварийных защитных средств и другие события, не нарушающие нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или окружающей его территории.

При решении вопросов безопасности количественное описание, анализ, оценка или контроль и обеспечение безопасности должны производиться по каждому источнику опасности, каждому виду аварий и каждому режиму функционирования в отдельности с учетом композиционных, технологических и эргатических факторов.

К композиционным факторам относятся:

- природно-климатическая характеристика района размещения предприятия;
- размещение цехов, участков, а также технологического оборудования, допускающее локализацию аварийной ситуации на объекте;
- обеспечение доступа к оборудованию во время восстановительных работ на объекте;

- прочие внешние природные и техногенные факторы, влияющие на возникновение аварийных ситуаций и распространение действия содержащихся на предприятии источников опасности.

К технологическим факторам относятся:

- технология производства;
- уровень надежности технологического оборудования, а также зданий, сооружений и элементов инженерной инфраструктуры;
- уровень надежности системы управления предприятием и технологическим процессом;
- состав и уровень надежности систем безопасности;
- состав, количество и качество компонентов, обеспечивающих нормальную эксплуатацию, а также функционирование предприятия в аварийном режиме и при ликвидации последствий аварии;
- внутренняя самозащита объектов, входящих в состав предприятия, и том числе наличие аварийного планирования (перечень мер, которые должны быть введены при аварийном режиме);
- ресурсопотребление предприятия.

Требования к безопасности технологического оборудования предприятия должны соответствовать ГОСТ 12.2.003, требования к безопасности производственных процессов – ГОСТ 12.3.002, требования к безопасности зданий и сооружений – строительным нормам и правилам надежности и безопасности.

Если производственная деятельность предприятия связана с вредными веществами, то требования к безопасности их производства, использования и хранения должны соответствовать ГОСТ 12.1.007.

К эргатическим факторам относятся:

- состав, условия, режим работы и уровень культуры безопасности лиц, выполняющих и обеспечивающих все виды работ на всех этапах цикла существования предприятия;
- точность, полнота и доступность наставлений, правил и инструкций для персонала, регламентирующих его действия по обеспечению безопасности предприятия, в том числе наличие аварийного планирования.

Различаются следующие режимы функционирования предприятия:

- нормальная эксплуатация;
- аварийная ситуация;
- аварийный режим;
- ликвидация последствий аварии;
- снятие с эксплуатации;
- ликвидация предприятия.

К нормальной эксплуатации относится регламентное выполнение всех процедур, предусмотренных технологическим процессом предприятия (пуск, остановка, работа на проектном уровне мощности и изменения мощности, загрузка сырья и т.п.).

Аварии возникают в результате ошибок при принятии инженерно-технических решений, отклонения от проекта при выборе материалов, изготовлении и монтаже, а также халатности и недосмотров.

Аварийная ситуация характеризуется такими нарушениями в ходе технологических процессов или появлением таких отказов в работе оборудования и состоянии сооружений, при которых для обеспечения безопасности на время устранения этих отказов осуществляется предусмотренный проектом перевод оборудования в особый режим функционирования, отличный от режима нормальной эксплуатации (например, работу на пониженной мощности). При успешном завершении ремонтных работ предприятие возвращается в режим нормальной эксплуатации, при безуспешном – возможна его остановка или переход в аварийный режим.

Аварийный режим начинается с появления критических отказов на объекте и заканчивается завершением всех защитных действий (благополучное завершение) или после прекращения выполнения этих действий из-за невозможности или нецелесообразности их дальнейшего выполнения (неблагополучное завершение).

Ликвидация последствий аварии, начинающаяся от момента завершения защитных действий, завершается возвратом предприятия в режим нормальной эксплуатации или его ликвидацией.

Снятие с эксплуатации производится в том случае, когда дальнейшая эксплуатация предприятия или технически (физически) невозможна (в том числе не может вестись без нарушений норм и правил безопасности) или экономически нецелесообразна.

Ликвидация предприятия заключается в превращении его в экологически безопасную природно-техногенную систему.

Аварии, которые могут иметь место на предприятии, делятся на проектные и запроектные.

Проектная авария характеризуется исходным событием аварии (ИСА), путями протекания и конечным состоянием, в которое переводится предприятие.

Для проектной аварии должно быть сформулировано понятие защиты от аварии, определены функции защиты и перечень оборудования, на которое возложено выполнение этих функций, систем (устройства, элементы) безопасности. Системы (устройства, элементы) безопасности должны удовлетворять требованиям ГОСТ 12.4.011.

Если авария может сопровождаться возникновением пожара или взрыва, то системы (устройства, элементы) безопасности должны также удовлетворять требованиям ГОСТ 12.1.004.

Для запроектной аварии должен быть определен комплекс организационных и технических мероприятий, который следует реализовать при ее появлении для уменьшения ее последствий, в том числе относительно управления аварией и планирования защиты персонала и населения.

Если авария может сопровождаться возникновением пожара или взрыва, то вышеназванный комплекс организационных и технических мероприятий должен удовлетворять требованиям ГОСТ 12.1.004 (рис. 1.12).



а – обрушение транспортной галереи вследствие коррозионного износа сечений металлоконструкций



б – разрушение здания в результате взрыва, вызванного утечкой газа при коррозионно-механическом повреждении задвижки трубопровода

Рис. 1.12. Последствия аварий при нарушениях режима нормальной эксплуатации конструкций (*а*) и технологического оборудования (*б*)

Перечень и определения проектных аварий, режимов функционирования и конечных состояний, которыми может закончиться ликвидация последствий аварии по согласованию с проектной организацией вносится в задание на проектирование с указанием условий эксплуатации, при которых рассматривается возникновение каждой из аварий.

Систематизация причин, способствующих возникновению аварийных ситуаций, представлена в табл. 1.3.

Возможные причины аварий конструкций, зданий и сооружений

Таблица 1.3

Причины возникновения ошибок	Описание нарушений и дефектов
1	2
Низкое качество исходных материалов для проектирования	Некачественное проведение инженерно-геологических изысканий (малая глубина и частота скважин, использование устаревших приборов и методик и т.д.). Отсутствие полных данных о возможных статических силовых воздействиях. Отсутствие полных данных о возможных коррозионных воздействиях. Отсутствие полных данных о динамических воздействиях.
Ошибки в проектах на разных стадиях	Ошибки в расчетах. Отсутствие метода точного расчета. Неполный учет возможных воздействий (силовых и др.). Применение недостаточно проработанных, нечетких расчетных схем. Применение недостаточно устойчивых расчетных схем, превращающихся в изменяемые при незначительных нарушениях в эксплуатации. Изменение принятых решений на последующих стадиях проекта. Недостаточность указаний об особенностях изготовления, монтажа, эксплуатации с целью соблюдения расчетных схем и воздействий.
Низкое качество исходных материалов (сталь, цемент, бетон, другие конструкции)	Применение непроектной марки стали (кипящей вместо полуспокойной и т.д.). Дефекты металлопроката (раковины, расслои и т.д.). Превышение норм ГОСТов по предельному содержанию углерода, серы, кремния, фосфора и т.д. Применение цемента меньшей активности. Применение загрязненных заполнителей. Замена класса арматурной стали без достаточного обоснования.

Продолжение табл. 1.3

1	2

Дефекты изготовления конструкций	Несоблюдение геометрических размеров. Замена проектного материала (арматуры, проката и др.) низкомарочным, низкого качества. Дефекты сварных швов. Снижение марки бетона в результате некачественного ухода за свежесуложенным бетоном. Необеспечение проектного положения арматуры в бетоне. Наличие большого числа усадочных трещин.
Дефекты монтажа	Несоблюдение геометрических размеров. Небрежное складирование, в результате чего возникают дефекты (сколы, погнутости, разрушения сварных соединений и др.). Неправильная строповка, что ведет к местным разрушениям, вмятинам и др. Некачественные работы по монтажным стыкам. Небрежное выполнение подготовительных работ, в результате чего меняется расчетная схема элементов в стыках. Изменение расчетных схем конструкций ввиду неправильной стыковки.
Нарушение правил	Несвоевременная уборка снега, технологической пыли. Подвеска дополнительных грузов к конструкциям без расчетов. Несвоевременный контроль за состоянием конструкций. Перегрузка перекрытий дополнительными грузами.
Хрупкое разрушение конструкций (комплекс причин)	Очагами разрушений служат конструктивные концентраторы напряжений (входящие углы, места резкого перепада сечений, отверстия, трещины и т.д.), а также концентраторы-дефекты сварных швов. При понижении температуры склонность к хрупкому разрушению растет. Уровень разрушающих напряжений при хрупком разрушении металла, как правило, значительно меньше предела текучести. Иногда при низких температурах трещины возникают даже при минимальных напряжениях от собственного веса. Хрупкие изломы сопровождаются образованием трещин с характерным кристаллическим строением.

Если в состав предприятия входят особо опасные объекты, перечень которых определяется в соответствии с действующим законодательством, то в состав технической документации должен входить специальный паспорт,

экологический, санитарно-эпидемиологический, паспорт реакторной установки и др.

Конкретный перечень и содержание работ по обеспечению безопасности для каждого потенциально опасного предприятия определяется государственными нормативными документами по безопасности. Этот перечень должен быть составлен в начале эксплуатации предприятия, и его рекомендуется оформлять в составе технической документации в виде «Программы обеспечения безопасности».

Приказом МЧС Украины от 16.08.05 № 140, зарегистрированным в Министерстве юстиции 01.09.05, введено в действие «Положение о паспортизации потенциально опасных объектов». Это положение заменяет одноименный документ, утвержденный приказом МЧС Украины от 18.12.00 № 338 и устанавливает «общие условия паспортизации потенциально опасных объектов (ПОО), порядок ее осуществления для обеспечения государственного учета ПОО, а также накопления и актуализации (обновления) соответствующей информации в базе данных Государственного реестра потенциально опасных объектов».

Потенциально опасным объектом называют объект, на котором могут использоваться или изготавливаются, перерабатываются, хранятся или транспортируются опасные вещества, биологические препараты, а также другие объекты, которые при определенных обстоятельствах могут создать реальную опасность возникновения аварии.

Чрезвычайной ситуацией именуют нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на отдельной территории или объекте, вызванное аварией, катастрофой, стихийным бедствием или иным опасным происшествием, которое привело (или может привести) к невозможности проживания населения на территории или объекте, ведение там хозяйственной деятельности, может вызвать гибель людей и (или) привести к значительным материальным потерям.

Авария характеризует обстоятельства опасного происшествия техногенного характера, вызвавшее гибель людей или создающее на объекте или отдельной территории угрозу жизни и здоровью людей и ведущее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса и наносящее вред окружающей среде. Статистика распределения причин аварий для сварных конструкций выражается следующими процентными величинами:

- ошибки проектирования – 27 %;
- низкое качество стройматериалов – 11 %;
- дефекты изготовления – 12 %;
- дефекты монтажа – 30 %;
- нарушение расчетных схем и нагрузок при эксплуатации – 14 %;
- несовершенство норм и технических условий – 6 %.

Для потенциально опасных объектов предусмотрена процедура установления и периодического подтверждения технических характеристик

при паспортизации. Государственный реестр потенциально опасных объектов, определен порядок автоматизированного информационного учета и обработки информации о потенциально опасных объектах.

Паспорт потенциально опасного объекта заполняется и ведется по установленной форме, содержащей структурированные данные об отдельном потенциально опасном объекте.

Источником опасности считается технологический объект (оборудование, агрегат и др.), который при определенных обстоятельствах (авария, нарушение технологического регламента и др.) может вызвать чрезвычайную ситуацию.

Факторы опасности подразделяются на внутренние (опасные вещества, опасные технологические процессы, неудовлетворительное состояние зданий и оборудования, нарушение условий безопасной эксплуатации и др.) и внешние (особенности местонахождения опасных объектов, неблагоприятные погодные условия и т.д.), которые могут непосредственно вызвать возникновение чрезвычайной ситуации на объекте или отрицательно повлиять на ее развитие. Идентификация потенциально опасного объекта включает процедуру выявления на объекте источников и факторов опасности, на основании которых объект признается потенциально опасным. Объектами хозяйственной деятельности могут рассматриваться производства, цехи, сооружения и здания, используемые юридическим лицом или физическим лицом-предпринимателем для производственной, научно-исследовательской, коммерческой или другой деятельности.

Ответственными лицами для потенциально опасных объектов выступают юридические или физические лица, являющиеся их владельцами или за которыми эти объекты закреплены на правах полного хозяйственного ведения или оперативного управления, либо пребывающими в их владении или пользовании.

Паспортизация потенциально опасных объектов проводится в соответствии с перечнями и установленным графиком. Перечни потенциально опасных объектов составляются на основании результатов идентификации объектов, утверждают их комиссии по вопросам ТЭБ и ЧС. Идентификация потенциально опасных объектов состоит в обнаружении на объектах хозяйственной деятельности источников и факторов опасности, способных при неблагоприятных обстоятельствах (авария, стихийное бедствие и др.) инициировать возникновение чрезвычайной ситуации, а также в оценке максимального уровня возможных чрезвычайных ситуаций. Идентификации подлежат «все объекты хозяйственной деятельности, расположенные на территории Украины и находящиеся в государственной, коллективной или частной собственности юридических или физических лиц, а также другие объекты, определенные комиссиями по вопросам ТЭБ и ЧС или соответствующими центральными и местными органами исполнительной власти». Идентификация потенциально опасных объектов производится по территориальному принципу, а порядок ее проведения устанавливает МЧС

Украины. Ответственность за проведение идентификации в определенные сроки возлагается на ответственных представителей объекта.

Центральные и местные органы исполнительной власти, органы местного самоуправления, территориальные и местные органы государственного надзора в сфере гражданской защиты обязаны способствовать ответственным лицам потенциально опасных объектов в организации и проведении идентификации объекта в полном объеме, и призваны контролировать соблюдение установленных требований.

Объект идентифицируют как потенциально опасный при наличии в его составе хотя бы одного источника опасности, который может вызвать чрезвычайную ситуацию объектного, местного, регионального или государственного уровня. По результатам идентификации потенциально опасного объекта составляется уведомление, устанавливающее уровень потенциальной опасности, которое согласуется с соответствующим местным органом государственного надзора в сфере гражданской защиты. Один экземпляр уведомления остается на предприятии, а второй попадает в местные органы государственного надзора в сфере гражданской защиты для организации учета и плановых проверок потенциально опасного объекта.

В обязанности местных органов государственного надзора в сфере гражданской защиты вменяется составление и ежегодное уточнение перечней потенциально опасных объектов и их подача в территориальные органы надзора. Территориальные органы государственного надзора в сфере гражданской защиты формируют перечни потенциально опасных объектов отдельной области (региона) и подают его на утверждение соответствующей комиссии по вопросам ТЭБ и ЧС. Утвержденные перечни должны направляться в Государственный департамент СФД и Государственную инспекцию гражданской защиты и техногенной безопасности.

Отраслевые перечни потенциально опасных объектов обязаны составлять соответствующие центральные органы исполнительной власти и также подавать их в Государственный департамент СФД и Государственную инспекцию гражданской защиты и техногенной безопасности. Территориальные органы государственного надзора в сфере гражданской защиты обязаны ежегодно подавать в Государственный департамент СФД и Государственную инспекцию гражданской защиты и техногенной безопасности, утвержденные региональные перечни потенциально опасных объектов с целью осуществления государственного учета потенциально опасных объектов.

1.4. Задачи экспертизы технологической безопасности конструкций зданий и сооружений

Обеспечение технологической безопасности в основных отраслях экономики, предупреждение возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций техногенного характера являются составляющей создания экологически и техногенно безопасных условий жизнедеятельности каждого человека в отдельности и общества в целом, а, следовательно, неотъемлемой частью государственной политики национальной безопасности и государственного строительства. В соответствии с Законом Украины «О научной и научно-технической экспертизе» основаниями для проведения научной и научно-технической экспертизы являются решения органов исполнительной власти и органов местного самоуправления, принятые в рамках их полномочий, а также договора на проведение научной и научно-технической экспертизы, уложенные предприятиями, учреждениями и организациями, физическими лицами.

Современные промышленные комплексы предприятий ориентированы на приоритетное развитие энергосберегающих технологий, с учетом минимизации отрицательных воздействий на окружающую среду (рис. 1.13, 1.14).

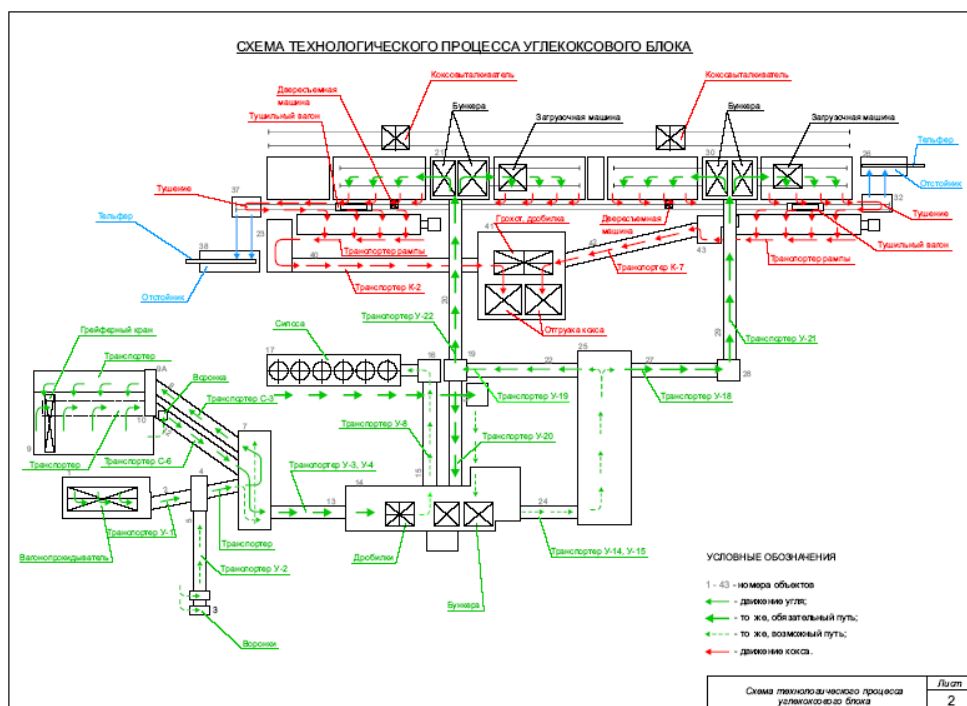


Рис. 1.13. Технологическая схема размещения производственных объектов



Рис. 1.14. Технологические трубопроводы и листовые конструкции коксохимического предприятия

Порядок проведения осмотра, испытания и экспертного обследования (технической диагностики) машин, механизмов, оборудования повышенной опасности утвержден Постановлением Кабинета Министров Украины № 687 от 26 мая 2004 г.

Термины, употребляемые в этом Порядке, имеют такие значения:

- испытание – экспериментальное определение количественных и/или качественных характеристик оборудования;
- граничное техническое состояние оборудования – состояние оборудования, при котором дальнейшая эксплуатация или восстановление его работоспособного состояния невозможны или нецелесообразны;
- граничный срок эксплуатации оборудования – установленные эксплуатационными документами срок эксплуатации или величина ресурса, после окончания (исчерпания) которых эксплуатация оборудования прекращается;
- экспертное обследование (техническая диагностика) – комплекс работ по определению технического состояния, условий и срока дальнейшей безопасной эксплуатации оборудования с учетом режима работы, а также определения потребности в проведении ремонта, модернизации, реконструкции или вывода из эксплуатации (далее – экспертное обследование);
- экспертная организация – субъект хозяйственной деятельности, имеющий разрешение Госнадзорохрантруда на проведение экспертного обследования (технической диагностики) оборудования;
- остаточный ресурс оборудования – срок эксплуатации или величина ресурса оборудования от момента его экспертного обследования до перехода в граничное техническое состояние;

- осмотр – контроль технического состояния, осуществляемый преимущественно с использованием органолептических методов и средств измерительной техники, номенклатура которых установлена организационно-методическими документами;

- организационно-методические документы – методики, инструкции, другие документы относительно проведения осмотра, испытания и экспертного обследования оборудования, утвержденные в установленном Госнадзорохрантруда порядке;

- работодатель – владелец предприятия или уполномоченный им орган;

- специализированная организация – субъект хозяйственной деятельности, имеющий разрешение Госнадзорохрантруда на проведение осмотра и испытания оборудования;

- технический осмотр – комплекс работ по контролю технического состояния, осуществляемый преимущественно с использованием органолептических методов и средств измерительной техники, номенклатура которых установлена организационно-методическими документами, и испытание оборудования (полный технический осмотр) или только по осмотру (частичный технический осмотр), которые проводятся в срок, в случаях и в объеме, определенных нормативно-правовыми актами по охране труда, организационно-методическими и эксплуатационными документами;

- техническое состояние оборудования – состояние оборудования в определенный момент времени и в определенных условиях внешней среды, характеризующееся значениями параметров, установленных техническими и эксплуатационными документами;

- уполномоченная организация – определенный Госнадзорохрантруда субъект хозяйствования, деятельность которого не связана с проектированием, изготовлением, поставками, приобретением, владением, использованием, монтажом, наладкой, техническим обслуживанием, ремонтом, модернизацией, реконструкцией или заменой оборудования, имеющий разрешение Госнадзорохрантруда на проведение осмотра, испытания и экспертного обследования (технической диагностики) оборудования, а также осуществляет научно-техническую поддержку государственного надзора за хозяйственной деятельностью в сфере производства и труда, в частности относительно проведения во время инспекции необходимых контрольных испытаний и осмотра оборудования и материалов, исследований вредных и опасных факторов производственной среды и т.п.

Технический осмотр и/или экспертное обследование проводится при участии работодателя или назначенных им ответственных лиц. В случае проведения технического осмотра и/или экспертного обследования работодатель обязан:

- назначить ответственных лиц предоставлением права подписи актов, заключений и других материалов;

- подготовить оснащение к проведению технического осмотра и/или экспертного обследования в соответствии с требованиями организационно-методических документов;

- предоставить специалистам специализированной, экспертной или уполномоченной организации все технические и эксплуатационные документы, содержащие данные об оснащении за весь период эксплуатации;

- организовать и совместно со специалистами специализированной, экспертной или уполномоченной организации обеспечить безопасное проведение работ по техническому осмотру и/или экспертному обследованию.

Технический осмотр и/или экспертное обследование оснащения проводят аттестованные в установленном Госнадзорохрантруда порядке специалисты специализированной, экспертной и уполномоченной организации, которые непосредственно не участвуют в проектировании, изготовлении, снабжении, приобретении, владении, пользовании, монтаже, наладке, техническом обслуживании, ремонте, модернизации, реконструкции или замене этого или аналогичного оснащения.

Допуск специалистов для проведения технического осмотра и/или экспертного обследования осуществляется в соответствии с законодательством.

Отчеты, акты, расчеты, протоколы, оформленные по результатам технического осмотра и/или экспертного обследования, хранятся работодателем вместе с паспортом оснащения. В случае реорганизации или ликвидации предприятия или отчуждения оснащения указанные документы подлежат передаче в установленном законодательством порядке.

Технический осмотр проводится в целях определения качества изготовления, монтажа, ремонта, реконструкции и модернизации, условий и срока дальнейшей безопасной эксплуатации оснащения, оценки технического состояния составных частей, деталей или их элементов, проверки их на соответствие техническим требованиям и т.п.

Проводится первичный, периодический (очередной) и внеочередной технический осмотр.

Первичному техническому осмотру подлежит оснащение перед вводом в эксплуатацию.

Периодический (очередной) и внеочередной технический осмотр проводится в сроки, установленные нормативно-правовыми актами по охране труда и эксплуатационными документами производителя.

Внеочередной технический осмотр оснащения проводится в случае:

- ввода его в эксплуатацию после ремонта, реконструкции или модернизации;

- перерыва в эксплуатации более чем на 12 месяцев;

- демонтажа и установления на новом месте;

- окончания предельного срока эксплуатации (с применением видов работ, которые не использовались при экспертном обследовании);

- эксплуатационного или деградационного отказа, выявления износа (механического или коррозионного), остаточной деформации, трещин, других повреждений составных частей, деталей или их элементов;

- аварии или повреждения, нанесенного чрезвычайной ситуацией природного или техногенного характера.

В других случаях внеочередной технический осмотр оснащений проводится в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов по охране труда или по инициативе работодателя.

В случае окончания предельного срока эксплуатации, аварии или получения повреждения, нанесенного чрезвычайной ситуацией природного или техногенного характера, выявления износа (механического или коррозионного), остаточной деформации, трещин, других повреждений составных частей, деталей или их элементов, превышающих допустимые значения, внеочередной технический осмотр оснащения проводится при наличии положительного заключения экспертного обследования.

Технический осмотр оснащения проводит специализированная организация (кроме первичного и внеочередного, который проводит уполномоченная организация в случае окончания предельного срока эксплуатации, возникновения аварии или повреждения, нанесенного чрезвычайной ситуацией природного или техногенного характера).

Работодатель не позднее чем за 5 дней до даты проведения технического осмотра уведомляет об этом в письменной форме специализированную организацию, а о проведении первичного или внеочередного технического осмотра в случае окончания предельного срока эксплуатации, возникновения аварии или повреждения, нанесенного чрезвычайной ситуацией природного или техногенного характера, – уполномоченную организацию.

В случае, когда из-за неисправности или по другим причинам невозможно провести технический осмотр оснащения в указанный срок, работодатель обязан сделать это досрочно или прекратить эксплуатацию оснащения.

Технический осмотр оснащения проводится в несколько этапов:

- изучение эксплуатационных, конструкторских (проектных) и ремонтных документов (при наличии);

- анализ условий и режимов эксплуатации;

- проведение осмотра;

- проведение испытания, неразрушительного контроля, если это предусмотрено нормативно-правовыми актами по охране труда, организационно-методическими и эксплуатационными документами;

- оценка технического состояния;

- определение условий и срока дальнейшей эксплуатации.

В случае получения негативного заключения после проведения технического осмотра работодатель прекращает эксплуатацию оснащения до

устранения выявленных дефектов, повреждений и неисправностей и проведения повторного технического осмотра.

В случае выявления во время технического осмотра дефектов, повреждений и неисправностей, которые в незначительной степени снижают уровень безопасности, эксплуатация оснащения может продолжаться с разрешенными параметрами.

Возможность безопасной эксплуатации оснащения должна быть подтверждена техническими расчетами в соответствии с требованиями организационно-методических и нормативных документов. Указанные расчеты подлежат хранению вместе с паспортом оснащения.

В случае выявления во время технического осмотра износа (механического или коррозионного), остаточной деформации, трещин, других повреждений составных частей, деталей или их элементов, превышающих допустимые значения, проводится экспертное обследование оснащения.

После окончания технического осмотра специалист, который его провел, делает соответствующую запись в паспорте оснащения о результатах технического осмотра, разрешенных параметрах эксплуатации и сроке следующего технического осмотра, скрепляя запись подписью и печатью. При проведении внеочередного технического осмотра в паспорте оснащения указывается причина его проведения.

В случае проведения внеочередного технического осмотра по истечении предельного срока эксплуатации оснащения уполномоченная организация разрабатывает регламент технических осмотров на продлеваемый срок безопасной эксплуатации, который хранится вместе с паспортом оснащения.

В случае проведения дополнительных испытаний и исследований при техническом осмотре в паспорте оснащения указываются их виды и результаты и места отбора образцов или составных частей, деталей или их элементов, подлежавших испытаниям, а также причины их проведения.

При выявлении во время проведения технического осмотра дефектов, повреждений и неисправностей возникновение которых обусловлено определенными в эксплуатационных документах параметрами эксплуатации или присуще для оснащения этой конструкции, специализированная или уполномоченная организация, которая проводит технический осмотр, уведомляет об этом работодателя и Госнадзорхрантруда.

Работодатель по итогам проведения технического осмотра указывает данные о разрешенных параметрах эксплуатации и срок следующего технического осмотра на предусмотренном в эксплуатационных или организационно-методических документах месте.

Экспертное обследование оснащения проводится в случае:

- окончания предельного срока эксплуатации;
- реконструкции (перестройки) или модернизации, если это обусловлено нормативно-правовыми актами по охране труда;

- аварии или повреждения, нанесенного чрезвычайной ситуацией природного или техногенного характера, в целях определения возможности восстановления;

- выявления при проведении технического осмотра износа (механического или коррозионного), остаточной деформации, трещин, других повреждений составных частей, деталей или их элементов, превышающих допустимые значения.

В иных случаях экспертное обследование оснащения проводится в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов по охране труда или по инициативе работодателя.

В случае достижения предельного срока эксплуатации работодатель прекращает дальнейшую эксплуатацию оснащения до проведения экспертного обследования.

Предельный срок эксплуатации оснащения исчисляется от даты ввода в эксплуатацию при условии его поставки производителем или поставщиком специально законсервированным для длительного хранения (больше чем в течение месяца после изготовления). В случае, если дата ввода в эксплуатацию неизвестна, предельный срок эксплуатации оснащения исчисляется начиная с даты его изготовления.

Если предельный срок эксплуатации в эксплуатационных документах не указан, этот срок устанавливается по организационно-методическим документам.

Экспертное обследование оснащения проводит экспертная организация.

Работодатель не позднее, чем за 5 дней до даты проведения экспертного обследования уведомляет об этом экспертную организацию в письменной форме.

Экспертное обследование оснащения проводится в несколько этапов:

- изучение эксплуатационных, конструкторских (проектных) и ремонтных документов (при наличии);

- анализ условий и режимов эксплуатации;

- разработка и согласование программы работ по экспертному обследованию;

- проведение осмотра;

- проведение неразрушающего контроля;

- определение механических характеристик, химического состава материалов, проведение металлографических исследований, испытания на прочность и других видов испытаний, исследования в напряженно-деформированном состоянии и выбора критериев предельного технического состояния, если это предусмотрено нормативно-правовыми актами по охране труда или организационно-методическими либо эксплуатационными документами;

- осуществление расчетно-аналитических процедур оценки и прогнозирования технического состояния, которые включают расчет режимов работы;

- определение остаточного ресурса оснащения.

Программа работ по экспертному обследованию является составной частью заключения экспертизы и разрабатывается экспертной организацией в соответствии с требованиями организационно-методических документов с учетом особенностей и специфики эксплуатации оснащения.

Программой работ по экспертному обследованию предусматривается:

- подбор необходимых средств измерительной техники, испытательного оборудования, стандартных образцов, а также нормативно-правовых актов, организационно-методических и нормативных документов, необходимых для проведения экспертного обследования;

- сбор, обобщение и анализ имеющейся на начало работ информации о надежности этого оснащения, а также оснащения аналогичного вида или конструктивно-технологического исполнения (в том числе приобретенного за рубежом);

- проведение согласно организационно-методическим документам испытаний составных частей, комплектующих изделий, конструкционных материалов, а также оснащения в целом для оценки его технического состояния;

- демонтаж оснащения и определение технического состояния его составных частей и комплектующих изделий (при необходимости), а также поиск места и определение причин отказа (неисправности);

- прогнозирование технического состояния оснащения на продлеваемый срок безопасной эксплуатации и подготовка решения относительно условий и срока его дальнейшей безопасной эксплуатации с учетом режима работы, определением мероприятий по обеспечению безопасной эксплуатации оснащения на продлеваемый срок, а также необходимости в проведении ремонта, модернизации, реконструкции или выводе из эксплуатации;

- подготовка по результатам проведенных работ отчетов, актов, расчетов, протоколов и т. п.

Для проведения в соответствии с программой работ по экспертному обследованию контроля технического состояния оснащения, поиска места отказа (неисправности) и выявления его причин экспертная организация может привлекать другие компетентные организации.

В случае возникновения угрозы безопасности специалистов, которые проводят экспертное обследование, других лиц из-за неудовлетворительного технического состояния оснащения экспертное обследование и эксплуатация оснащения прекращается. Экспертная организация составляет ведомость с перечнем дефектов, повреждений и неисправностей для работодателя с

целью выполнения им соответствующих восстановительных работ (ремонт, реконструкция, модернизация и т.п.).

После выполнения восстановительных работ экспертная организация проверяет полноту и качество устранения дефектов, повреждений и неисправностей и при условии положительного результата проверки продолжает экспертное обследование.

Для определения срока безопасной эксплуатации оснащения экспертная организация:

- анализирует результаты проведенных работ;
- определяет его остаточный ресурс;
- готовит техническое решение относительно условий продления срока безопасной эксплуатации;
- принимает решение об условиях и сроке дальнейшей безопасной эксплуатации оснащения с учетом режима работы и проведения собственником мероприятий по обеспечению безопасной эксплуатации оснащения или о прекращении эксплуатации.

Продление эксплуатации оснащения осуществляется на срок до прогнозируемого перехода его в предельное техническое состояние (исчерпания остаточного ресурса) или на определенный срок (поэтапное продление срока безопасной эксплуатации в пределах остаточного ресурса).

Определение остаточного ресурса оснащения проводится по организационно-методическим документам с подтверждением фактической величины ресурса при помощи соответствующих средств измерительной техники.

По результатам экспертного обследования экспертной организацией могут готовиться следующие заключения:

- продление эксплуатации оснащения согласно установленным в эксплуатационных документах параметрам;
- продление эксплуатации оснащения с ограничением ее параметров и/или на определенный срок;
- проведение ремонта оснащения;
- проведение модернизации или реконструкции оснащения;
- использование оснащения для другого назначения;
- вывод оснащения из эксплуатации.

По результатам экспертного обследования экспертная организация готовит заключение экспертизы.

Заключение экспертизы должно содержать:

- изложение оснований для проведения экспертного обследования;
- цель проведения экспертного обследования;
- общие сведения об оснащении;
- сведения об экспертной организации и специалистах, проводивших экспертное обследование;

- сведения о рассмотренных в процессе экспертного обследования технических, эксплуатационных, организационно-методических и нормативных документах;

- паспортные данные оснащения;
- программу работ по экспертному обследованию;
- сведения о соответствии фактических условий эксплуатации оснащения паспортным данным;
- результаты экспертного обследования;
- заключения с указанием остаточного ресурса или продленного срока безопасной эксплуатации оснащения;
- рекомендации относительно условий эксплуатации оснащения.

Заключение экспертизы с приложениями готовится в двух экземплярах. Один экземпляр передается работодателю и хранится вместе с паспортом этого оснащения, а второй – остается в экспертной организации. Заключение экспертизы должно быть конкретным, объективным, аргументированным и доказательным, содержать ссылки на требования соответствующих нормативных документов, при необходимости на научно-технические и справочные издания. Содержание заключения экспертизы должно толковаться однозначно.

Заключение экспертизы, подписанное специалистами, которые ее проводили, утверждает руководитель экспертной организации. Подпись руководителя удостоверяется печатью экспертной организации. К заключению экспертизы прилагаются отчеты, акты, расчеты, протоколы по результатам проведенных работ и т.п. После проведения экспертного обследования специалист экспертной организации делает соответствующую запись в паспорте оснащения о проведении и результатах экспертного обследования, разрешенных параметрах и сроке эксплуатации, скрепляя ее печатью.

Изменение эксплуатационных параметров оснащения, предлагаемое по результатам экспертного обследования, должно подтверждаться техническими расчетами в соответствии с требованиями организационно-методических нормативных документов.

В случае получения негативного заключения экспертного обследования с указанием нарушений требований нормативно-правовых актов, организационно-методических документов, а также выявленных дефектов, повреждений и неисправностей, которые отрицательно влияют на безопасную эксплуатацию оснащения и угрожают безопасности работников и других лиц, работодатель прекращает эксплуатацию оснащения; экспертная организация составляет ведомость с перечнем дефектов, повреждений и неисправностей и передает ее вместе с экспертным заключением собственнику оснащения для проведения им соответствующих восстановительных работ.

Информация об этом не позднее чем в течение 10 дней по окончании экспертного обследования направляется экспертной организацией в

территориальный орган Госнадзорохрантруда по местонахождению оснащения.

По заключению экспертизы работодатель принимает решение об эксплуатации оснащения в пределах продлеваемого срока безопасной эксплуатации, его замене, ремонте, реконструкции (перестройке), модернизации или изменении параметров эксплуатации.

Ввод оснащения в эксплуатацию после экспертного обследования осуществляется в соответствии с порядком, установленным нормативно-правовыми актами по охране труда, организационно-методическими и эксплуатационными документами.

При отсутствии нарушения установленного технологического режима эксплуатации оснащения допускается в пределах 6 месяцев одновременное проведение экспертного обследования и технического осмотра по согласованию с Госнадзорохрантруда в установленном им порядке.

1.5. Научно-методическое сопровождение программ обеспечения надежности и безопасности

В начале *90^х годов* совершенствование нормативного обеспечения эксплуатационной надежности и реконструкции зданий и сооружений усложняется проблемами структурных изменений в отраслях промышленности, изменением форм собственности основных фондов предприятий. Анализ сложившейся ситуации посвящается Пятая Украинская научно-техническая конференция «Усиление и реконструкция производственных зданий и сооружений, построенных в металле» (г. Киев, сентябрь 1992 г.). Основным результатом конференции можно считать рассмотрение вопросов внедрения подходов, сформированных при разработке ДБН 362-92 «Оценка технического состояния стану стальных конструкций эксплуатируемых производственных зданий и сооружений».

Требования адаптации национальных норм к системе европейских и международных стандартов, регламентирующих системные методы обеспечения надежности, определили необходимость перехода на модели управления качеством в процессе всего жизненного цикла конструкций. Благодаря усилиям академика Б.Е. Патона, чл.-кор. В.Н. Шимановского, совместным решением Государственного комитета Украины по стандартизации, метрологии и сертификации и Президиума НАН Украины от 18.11.1992 г. № 294/111 образован технический комитет «Надежность техники», в составе которого сформирован подкомитет ПК-12 «Надежность объектов промышленного, гражданского, сельскохозяйственного строительства и инженерных сооружений». В 1996 г., с введением ДСТУ 2863-94 «Программа обеспечения надежности. Общие требования» создается единая методологическая основа для нормирования надежности и безопасности по требованиям ИСО 9000-4/МЭК 300-1.

Значительным шагом вперед на пути обеспечения безопасности стальных конструкций явилось создание Госстандартом Украины сети органов по сертификации строительной продукции. В Донбасской академии строительства и архитектуры (ДонГАСА) в 1995 г. были организованы и аккредитованы первые испытательные лаборатории «Центр испытаний конструкций и сооружений» и «Антикор-Дон», ориентированные на проверку установленных показателей соответствия строительных металлоконструкций. Орган по сертификации «ЦентрСЕПРОстройметалл», созданный на базе ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция», начал свою деятельность и выдал первый сертификат на продукцию ОАО «Макеевский ЗМК» до введения обязательной сертификации с 01.07.97.

Изменения в структуре капитальных вложений на реконструкцию, финансовые трудности длительного периода разгосударствления основных фондов промышленных предприятий, отсутствие государственной поддержки разработок научного сопровождения работ по обследованию, оценке технического состояния и ресурса строительных конструкций, перенесли акценты с вопросов анализа запасов прочности на обсуждение проблем возникновения аварийных ситуаций. В этот период значительную роль в объединении специалистов для формирования задач обеспечения безаварийной эксплуатации конструкций, привлечении внимания собственников к усилению надзора за техническим состоянием зданий и сооружений выполняют ТК-78 «Техническая диагностика и неразрушающий контроль (ТДНК)» (академик НАН Украины Б.Е. Патон), Ассоциация кафедр металлических конструкций вузов СНГ (проф. В.А. Пермяков) и Украинская Ассоциация по металлическим конструкциям (проф. Е.В. Горохов).

В связи с неудовлетворительным состоянием надежности и безопасности зданий и сооружений на основании материалов, подготовленных ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция» (чл.-кор. НАН Украины В.Н. Шимановский), Кабинет Министров Украины принимает Постановление от 5 мая 1997 г. № 409 «Об обеспечении надежности и безопасной эксплуатации зданий и сооружений и инженерных сетей».

Первая Всеукраинская научно-техническая конференция «Аварии на зданиях и сооружениях и их предупреждение» на базе Научно-исследовательского института строительных конструкций (г. Киев, ноябрь 1997 г.), выделила наиболее неблагоприятное техническое состояние основных фондов промышленно развитых регионов – Донбасса и Приднепровья, где показатели более чем в 1,5 раза превышают средние по Украине. Решение конференции способствовало разработке пакета дополнительных требований «Нормативные документы по вопросам обследований, паспортизации, безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений», которые были введены в действие совместным Приказом Госстроя и Госнадзорохрантруда Украины № 62/48 от 30 марта 1998 г. Результатом Второй Всеукраинской конференции (г. Киев, декабрь 1999 г.) можно рассматривать Постановление Кабинета Министров

№ 1313 от 22.08.2000 г. «Об утверждении Программы предупреждения и реагирования на чрезвычайные ситуации». Вместе с этим, научные проблемы, связанные с глубокой теоретичной проработкой остаточного ресурса эксплуатации металлоконструкций действующих предприятий по-прежнему оставались открытыми.

На расширенном заседании ТК-78 «ТДНК», состоявшемся под председательством академика НАН Украины Б.Е. Патона 27.05.99 г., была обозначена необходимость создания на Правительственном уровне документа, в котором на основании научного подхода и практического опыта диагностических работ сформулированы основные регулирующие правила взаимодействия различных организаций и ведомств в деле обеспечения безопасности эксплуатации конструкций и сооружений в Украине. Постановлением Кабинета Министров Украины № 1331 от 8 октября 2004 г. с целью формирования на национальном уровне единой концептуально согласованной и научно обоснованной государственной политики относительно обеспечения надежности и безопасной эксплуатации сооружений, конструкций, оснащения и инженерных сетей утверждена Государственная научно-техническая программа «Ресурс». Программа направлена на усовершенствование существующей системы обеспечения надежности и безопасной эксплуатации сооружений, конструкций, оснащения и инженерных сетей, в частности:

- осуществление оценки состояния законодательства, научно-методического и информационного обеспечения работ в указанной сфере, определение приоритетных направлений и задач соответствующих научных исследований;
- создание методологии единой системы оценки надежности и безопасного состояния сооружений, конструкций, оснащения и инженерных сетей, которая охватывает совокупность субъектов этой деятельности, а также норм, правил, методик, условий, критериев и процедур проведения указанной деятельности;
- разработка проектов нормативно-правовых актов, регулирующих правовые отношения в указанной сфере, а также новых норм, правил, стандартов и технических регламентов, определяющих количественные и качественные показатели состояния надежности и безопасности, требования к организации и порядку проведения этой деятельности;
- разработка научных основ нормирования безопасности, методов, критериев и правил расчета нормативного ресурса объектов долгосрочной эксплуатации;
- разработка методов оценки определения остаточного ресурса и продолжения проектного срока эксплуатации объектов, а также правовой и нормативно-технической базы для обоснования продолжения нормативного ресурса;
- создание системы подготовки, повышения квалификации и аттестации специалистов по вопросам обеспечения надежности и безопасной

эксплуатации сооружений, конструкций, оснащения и инженерных сетей, оценки и диагностики технического состояния объектов;

- разработка средств и систем неразрушающего контроля и диагностики технического состояния объекта;
- разработка методологии формирования и сопровождения отраслевых и региональных составляющих Государственной программы обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики Украины;
- создание банков данных о физико-механических свойствах конструкционных материалов и их деградацию во время продолжительной эксплуатации;
- расширение международного сотрудничества и использование мирового опыта в указанной сфере и т.п.

Одним из направлений, связанным с установлением обоснованных резервов несущей способности конструкций является совершенствование теории и метода предельных состояний. Расчетные положения метода предельных состояний обеспечивают возможность безотказной работы конструкций и оснований с учетом изменчивости свойств материалов, грунтов, нагрузок и воздействий, геометрических характеристик конструкций, условий их работы, а также степени ответственности (и народнохозяйственной значимости) проектируемых объектов, определяемой материальным и социальным ущербом при нарушении их работоспособности.

Предельные состояния подразделяются на две группы:

- первая группа включает предельные состояния, которые ведут к полной непригодности эксплуатации конструкций, оснований (зданий или сооружений в целом) или к полной (частичной) потере несущей способности зданий и сооружений в целом;
- вторая группа включает предельные состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкций (основания) или уменьшающие долговечность зданий (сооружений) по сравнению с предусматриваемым сроком службы.

Предельные состояния *первой группы* характеризуются:

- разрушением любого характера (например, пластическим, хрупким усталостным) (1a);
- потерей устойчивости формы, приводящей к полной непригодности к эксплуатации (1b);
- потерей устойчивости положения (1c);
- переходом в изменяемую систему (1d);
- качественным изменением конфигурации (1e);
- другими явлениями, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации (например, чрезмерными деформациями в результате ползучести, пластичности, сдвига в соединениях, раскрытия трещин, а также образованием трещин) (1f).

Предельные состояния *второй группы* характеризуются:

- достижением предельных деформаций конструкций (например, предельных прогибов, поворотов) или предельных деформаций основания (2a);
- достижением предельных уровней колебаний конструкций или оснований (2b);
- образованием трещин (2c);
- достижением предельных раскрытий или длин трещин (2d);
- потерей устойчивости формы, приводящей к затруднению нормальной эксплуатации (2e);
- другими явлениями, при которых возникает необходимость временного ограничения эксплуатации здания или сооружения из-за неприемлемого снижения их срока службы (например, коррозионные повреждения) (2f).

Расчет по предельным состояниям имеет целью обеспечить надежность здания или сооружения в течении всего его срока службы, а также при производстве работ. Условия обеспечения надежности заключается в том, чтобы расчетные значения нагрузок или ими вызванных усилий, напряжений, деформаций, перемещений, раскрытий трещин не превышали соответствующих им предельных значений, устанавливаемых нормами проектирования конструкций или оснований.

Расчетные модели (в том числе расчетные схемы, основные предпосылки расчета) конструкций и оснований должны отражать действительные условия работы здания или сооружений, отвечающие рассматриваемой расчетной ситуации. При этом должны учитываться факторы, определяющие напряженное и деформированное состояния, особенности взаимодействия элементов конструкций между собой и с основанием, пространственная работа конструкций, геометрическая и физическая нелинейности, пластические и реологические свойства материалов и грунтов, наличие трещин в железобетонных конструкциях, возможные отклонения геометрических размеров от их номинальных значений.

При расчете конструкций должны рассматриваться следующие расчетные ситуации:

- установившаяся, имеющая продолжительность того же порядка, что и срок службы строительного объекта (например, эксплуатация между двумя капитальными ремонтами или изменениями технологического процесса);
- переходная имеющая небольшую по сравнению со сроком службы строительного объекта продолжительность (например, возведение здания, капитальный ремонт; реконструкция);
- аварийная имеющая малую вероятность появления и небольшую продолжительность, но являющаяся весьма важной с точки зрения последствий достижения предельных состояний, возможных при ней (например, ситуация, возникающая в связи со взрывом, столкновением,

аварией оборудования, пожаром, а также непосредственно после отказа какого-либо элемента конструкции).

Обеспечение долговечности конструкций на стадии проектирования включает анализ сочетаний наиболее неблагоприятных нагрузок и воздействий с целью определения оптимальных конструктивных и технологических решений для поддержания заданных показателей качества строительных объектов в течение установленного срока службы. *Физический износ* зданий и сооружений связан с протеканием деградационных процессов при воздействии природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека, следствием которых является утрата первоначальных технико-эксплуатационных качеств (прочности, устойчивости, надежности и др.) конструкций. Оценка показателей *физического износа* отдельных конструкций, зданий и сооружений в процессе эксплуатации выполняется путем сравнения признаков физического износа, выявленных в результате визуального и инструментального обследования, с их допустимыми значениями, установленными в нормативно-технических требованиях. Ресурс конструкций эксплуатируемых объектов зависит от соответствия конструкций заданным параметрам целевой технологической функции, соблюдения норм и правил технической эксплуатации и ремонтного обслуживания. Предпосылками для продления сроков эксплуатации объекта являются наличие резервов несущей способности и приспособленность конструктивных элементов к предупреждению, обнаружению и устранению дефектов и повреждений путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Возможности выявления резерва несущей способности обусловлены следующими основными факторами:

- запасом прочности, связанным с отклонением расчетной модели от действительных условий работы элементов конструкций;
- детерминизмом расчетного математического аппарата, сортаментными и технологическими допусками физико-механических и геометрических параметров конструкции;
- использованием при проектировании типовых узлов, соединений, элементов и конструкций и т.п.

В действующих нормах остается неразрешенным противоречие между детерминизмом расчетного аппарата и статистически-вероятностной природой расчетных параметров конструкций зданий и сооружений. Нормативные требования учитывают фактор времени косвенным путем, что выражается сроком службы, установленным при проектировании, в течение которого должны поддерживаться заданные эксплуатационные качества. Таким образом, фактическое состояние конструкции определяется только в данный момент времени, что не позволяет выполнять расчет остаточного ресурса конструкции с учетом развития деградационных процессов. Выявление остаточного ресурса для строительных объектов включает расчетную оценку и обоснование срока эксплуатации конструкций от

момента технического контроля (диагностики эксплуатационного состояния) до перехода в предельное состояние.

С точки зрения безопасности эксплуатации при оценке комплексного понятия надежность наибольшую значимость приобретают показатели *безотказности и долговечности*, рассматриваемые с использованием частных коэффициентов методики предельных состояний. Вопросы, связанные с выявлением резервов несущей способности и остаточного ресурса конструкции не могут быть рассмотрены без анализа нормативных требований и проектных решений, технологических особенностей изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций. Решение задачи оценки остаточного ресурса главным образом определяется показателями *ремонтпригодности*, характеризующими приспособленность конструкций к предупреждению, обнаружению и устранению дефектов и повреждений путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Анализ *обеспеченности технического обслуживания и ремонта* на предприятиях создает условия для разработки *программ обеспечения надежности* (ПОН), включающими формирование и привлечение требуемых ресурсов при *обслуживании строительных объектов по фактическому состоянию*.

Указанные обстоятельства диктуют необходимость развития традиционных расчетных положений и задач обеспечения надежности на основе методики предельных состояний. Приоритетное направление, связанное с установлением требований к запасам прочности строительных объектов при создании единой методологии оценки надежности и предупреждения аварийных ситуаций, требует обоснования критериев технологической безопасности на основе взаимосвязанного решения конструкторских и технологических задач управления безотказностью, ремонтпригодностью конструкций зданий и сооружений. Очевидным фактом является отсутствие расчетных методов анализа аварийных ситуаций с точки зрения последствий достижения предельных состояний, что представляется важным для строительных конструкций зданий и сооружений объектов повышенной опасности.

Реализация задач управления технологической безопасностью в основных отраслях экономики связана с развитием расчетно-аналитических методов предупреждения аварийных ситуаций на основе процессных подходов подтверждения соответствия показателей качества и программ обеспечения надежности строительных конструкций зданий и сооружений. В такой постановке предельные состояния первой и второй групп не позволяют выполнять оценку безопасности (риска) для строительных конструкций зданий и сооружений. Вместе с этим, правила классификации отказов и предельных состояний позволяют расширить состав признаков по показателям безопасности.

Расчетные положения метода предельных состояний по требованиям *безопасности (третья группа предельных состояний)* должны включать количественную оценку *рисков потенциальных опасностей*, выполненную

по показателям **ремонтпригодности и послеремонтной прочности** зданий (сооружений) с учетом возможных **конструктивных и эксплуатационных ограничений** заданной **целевой технологической функции (типовой модели эксплуатации)** строительных объектов.

Предельные состояния *третьей группы* характеризуются:

- проектной аварией – состоянием строительного объекта, при котором происходит нарушение эксплуатации, связанное с превышением нормируемых пределов воздействия на персонал предприятия, население и окружающую среду. Авария характеризуется исходным событием, путями протекания и последствиями (3a);
- запроектной аварией, включающей неучтенные для проектных аварий исходные события, отказ систем безопасности, технологического оборудования или ошибки персонала, имеющие последствия техногенного масштаба (1 или 2 категории), (3b).

Определение значений риска производится путем оценивания количественной или, если это допускается, качественной меры риска. Оценивание риска осуществляется с помощью аналитического или статистического моделирования. При анализе потенциальных опасностей строительных объектов используются методы логического моделирования. Разработка и построение баз данных для систематизации причин возникновения дефектов, повреждений и отказов конструкций позволяет принимать обоснованные решения по предупреждению аварийных ситуаций на основе статистических выводов.

Обеспечение безотказности и ремонтпригодности достигается условиями расчетных моделей по признакам предельных состояний третьей группы путем задания плана мероприятий ПОН гарантирующих остаточный ресурс строительного объекта. В дополнение к критериям оценки первой и второй группы предельных состояний, признаки третьей группы позволяют выполнять оценивание и регулирование риска с учетом процессного подхода обеспечения заданных показателей качества. Управление безотказностью и ремонтпригодностью осуществляется на основе документированного перечня запланированных во времени мероприятий, ресурсов и событий, включающих диагностику и предупреждение физического износа конструкций зданий и сооружений. Результаты оценки физического износа по фактическому состоянию выражаются соотношением стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкции, элемента, системы или здания в целом, и их восстановительной стоимости.

Отсутствие расчетных требований оценки технологической безопасности по показателям **ремонтпригодности и послеремонтной прочности** зданий (сооружений) является препятствием для создания единой методологии действий организаций, специалисты которых выполняют научно-техническую поддержку и сопровождение проблем оценки и продолжения ресурса объектов различного назначения. Важность

рассмотрения задач предупреждения аварийных ситуаций на основе реализации программ обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики подтверждается фактами обрушений строительных конструкций, вызывающих чрезвычайные ситуации техногенного характера (рис. 1.15, 1.16).

Отсутствие технического контроля коррозионного состояния конструкций не позволило провести своевременные мероприятия для предотвращения аварийного разрушения наклонного моста транспортной галереи коксового цеха (см. рис. 1.12,а). Однако, при расследовании причин аварии установлены основные факторы снижения эксплуатационной несущей способности, среди которых превышение собственного веса конструкций в результате влагонасыщения, влияние усталостного разрушения стальных конструкций от совместного действия динамических нагрузок и коррозионной среды.

Коррозионно-механическое повреждение заслонки трубопровода подведения газопровода коксовой батареи стало причиной разрушения здания в результате взрыва, вызванного утечкой газа. Аварийное разрушение корпуса привело к скалыванию двух фрагментов общей площадью 200-250 см². Осмотр места расположения газовой заслонки после аварии и анализ характера разрушения корпуса и фрагментов заслонки выявил наличие технологических дефектов и повреждений в процессе эксплуатации. Ремонтный шов, по которому началось разрушение, был выполнен без предварительной обработки кромок на глубину 7,0 мм при толщине корпуса заслонки 16,0 мм. Характеристики сварного шва не обеспечивают равнопрочности материала тела заслонки и сварного шва. Снижение прочностных свойств в зоне ремонтного шва ориентировочно оценивается как 20-30% от прочности основного металла. Сквозные трещины фрагмента имеют раскрытие во внешней области поверхности заслонки, что свидетельствует о силовом характере разрушения при влиянии с внутреннего пространства газовой заслонки. Измерение твердости на поверхности фрагмента заслонки позволило установить, что показатели физико-химических свойств чугуна ниже проектных характеристик. Указанное обстоятельство связано с деградационными процессами в материале заслонки, накопленными за период эксплуатации с ноября 1953 г. в результате термических и коррозионных влияний. Таким образом, хрупкое разрушение корпуса, связанное со скалыванием фрагмента (рис. 1.17) вызвано силовым (ударным) влиянием с внутренней стороны заслонки, что привело к возникновению растягивающих напряжений, недопустимых по показателям физико-механических свойств материала с учетом выявленных изменений расчетных характеристик, дефектов и повреждений. Основываясь на результатах проведенного технического освидетельствования можно сделать вывод, что ударное влияние с внутреннего пространства могло быть связано со скалыванием составляющих частей тарелки, масса которых составляла от 10 до 18 кг, что привело к хрупкому разрушению (рис. 1.18) и

созданию сквозного отверстия в корпусе газовой заслонки Ø500 мм подведения газопровода коксовой батареи.

Необходимость дополнительных мероприятий, связанных с научным сопровождением безопасной эксплуатации технологического оснащения и конструкций в коррозионных средах объясняется сложностью взаимодействия внутренних и внешних факторов, вызывающих коррозионное разрушение и возникновение аварийных ситуаций. Выявление и анализ причин, связанных с обстоятельствами коррозионного разрушения конструкций, позволяет усовершенствовать нормативные документы по их предотвращению.

Значительного внимания требует проблема оценки ресурса для железобетонных конструкций. Общая картина разрушения силосов дозаторного отделения углеподготовительного цеха, которые имеют срок эксплуатации 47 лет, приведена на рис. 1.19. Обрушение конструкций силоса, с наибольшей вероятностью, произошло в результате ударного влияния. Возникновение дополнительной ударной нагрузки могло быть вызвано сдвигом и обрушением намоченной массы нефтекоксовой мелочи, что привело к обрушению воронки силоса и последующей потере стойкости расположенных рядом силосов. Анализ характера разрушения конструктивных элементов позволил установить, что стеновые конструкции силоса имеют до 70% фрагментов с размерами от 0,5 до 1,5 м. В процессе обследования установлено, что значительная часть арматуры имела коррозионный износ с потерей пересечения до 50 %, на некоторых участках – до 100% (рис. 1.20).

1.6. Принципы оценки предельных состояний в расчетах на коррозионную стойкость и долговечность

Снижение надежности и долговечности строительных металлоконструкций вследствие коррозионного разрушения является одной из важнейших причин возникновения предаварийных и аварийных состояний, как самих конструкций, так и зданий и сооружений в целом. Коррозионное разрушение является одним из основных недостатков строительных металлоконструкций, для устранения которого нужны дополнительные затраты материальных ресурсов. В Украине и странах СНГ потери от коррозии составляют 10-15% всего произведенного черного металла или 4-5% национального дохода. Проблема предотвращения коррозионного разрушения является важной составляющей частью комплексной задачи повышения надежности и долговечности строительных металлоконструкций. Вместе с этим, отказы промышленного оборудования в результате коррозионного износа приводят к экономическим потерям, которые нередко превышают стоимостью основных фондов, и сопровождаются необратимыми экологическими последствиями.



Рис. 1.15. Обрушение конструкций кровли мартеновского цеха



Рис.1.16. Обрушение подпорной стенки, повлекшее обрыв сливных патрубков емкостей для хранения ГСМ и утечку нефтепродуктов

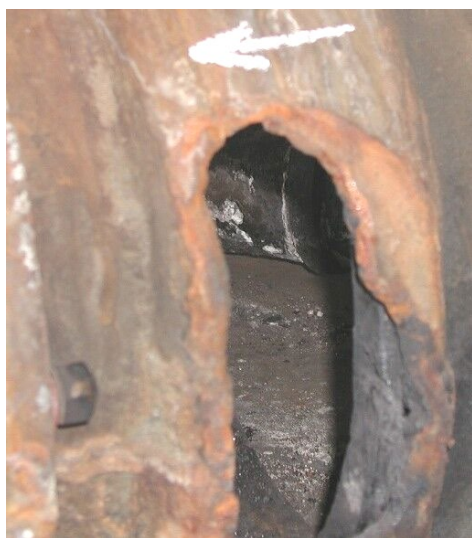


Рис. 1.17. Месторасположение сквозного повреждения на корпусе заслонки после скалывания фрагментов



Рис. 1.18. Общий вид коррозионно-механического разрушения фрагмента корпуса заслонки



Рис. 1.19. Обрушение силосов в результате потери устойчивости положения



Рис. 1.20. Дефекты бетонирования и коррозионные поражения арматуры

Сложность решения задач разработки аналитического аппарата расчета показателей надежности строительных металлоконструкций в коррозионных средах требует использования современных методов диагностики технического состояния при рассмотрении коррозионной системы «Нагрузка – Конструкция – Среда». Нормативной основой для обеспечения долговечности являются технические требования, изложенные в государственных стандартах, строительных нормах и правилах. Интеграция отечественной нормативной базы с зарубежными нормами осуществляется на основе международных стандартов серии ISO 9000-1÷9004-4, регламентирующих вопросы управления качеством в процессе проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации. Анализ соответствия отечественных и международных норм проектирования свидетельствует о необходимости усовершенствования структуры и методов оценки показателей надежности и гарантированной долговечности противокоррозионной защиты строительных металлоконструкций.

Нормативная основа при обеспечении долговечности. В наше время назрела необходимость дополнения существующих положений СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» и требований стандартов, регламентирующих обеспечение надежности, расчетными критериями, которые устанавливают нормативные показатели коррозионной стойкости и долговечности.

Основными показателями долговечности строительных конструкций являются:

- коррозионная стойкость, k [мм/год], или степень агрессивности среды, A [г/(м²год)];
- срок службы защитного покрытия, T_3 [год].

В зависимости от состава начальных данных постановка задачи расчета строительных металлоконструкций на коррозионную стойкость и долговечность может быть определена для двух расчетных ситуаций:

- определение эффективности мероприятий первичной и вторичной защиты для заданного отношения резерва надежности на стадии проектирования;

- оценка остаточного ресурса конструктивных элементов с коррозионными повреждениями во время эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений.

Требования к противокоррозионной защите и оценке показателей долговечности регламентируются действующими нормативными документами. Вопросы долговечности строительных конструкций регламентируются действующими 125-ю стандартами «Единой системы защиты от коррозии и старения» (ЕСЗКиС).

Коррозионный износ конструкций связан с возможностью протекания 3-х типов коррозионного разрушения:

- химического;
- электрохимического;
- биологического.

Основными направлениями повышения долговечности конструкций являются:

- исследование кинетических закономерностей протекания коррозионных процессов;
- разработка и применение коррозионно стойких материалов,
- внедрение эффективных средств и методов противокоррозионной защиты;
- рациональное конструирование и эксплуатация строительных конструкций.

Классификация степени коррозионных воздействий среды. Оценка и обоснование продолжения остаточного ресурса требует качественного и количественного анализа параметров коррозионных влияний в расчетах на коррозионную стойкость и долговечность.

Факторы коррозионной агрессивности классифицируются по шести степеням коррозионной агрессивности, приведенными в табл. 1.4.

Степень коррозионной агрессивности режима эксплуатации

Таблица 1.4

Наименование	Показатель коррозионной стойкости, K , мм/год	Нормативное значение коррозионных потерь стали С 235, $A_n (L, G, S)$ [г/м ² год]	Обозначение степени агрессивности по СНиП 2.03.11-85
Неагрессивная	До 0,01	До 78,5	Неагрессивная
Слабоагрессивная	Св. 0,01 до 0,05	Св. 78,5 до 392,5	Слабоагрессивная
Низкоагрессивная	Св. 0,05 до 0,15	Св. 392,5 до 1177,5	Среднеагрессивная
Среднеагрессивная	Св. 0,15 до 0,30	Св. 1177,5 до 2355,0	Среднеагрессивная
Высокоагрессивная	Св. 0,30 до 0,50	Св. 2355,0 до 3925,0	Среднеагрессивная
Сильноагрессивная	Св. 0,50	Св. 3925,0	Сильноагрессивная

Основной характеристикой агрессивных сред является нормативное значение коррозионных потерь $A_n(L, G, S)$ [г/м² год], незащищенной малоуглеродистой стали класса С 235, с учетом заданной продолжительности влияний жидких (L), газоподобных (G), твердых сред (S).

Расчетное значение коррозионных потерь $A(L, G, S)$ определяют с помощью зависимости:

$$A(L, G, S) = \gamma_q \dot{A}_n(L, G, S) \gamma_{fk}, \quad (1.3)$$

где $\gamma_q = \tau(L, G, S) / \tau_0$ – коэффициент продолжительности воздействий, представляющий отношение продолжительности влияния коррозионно-активных компонентов в часах $\tau(L, G, S)$ к среднему числу часов в году, τ_0 ; γ_{fk} – коэффициент надежности по воздействиям, зависящий от степени агрессивности и категории размещения конструкций.

Коррозионный износ характеризуется изменением геометрических характеристик сечения и механических свойств материала вследствие взаимодействия внешних и внутренних факторов.

Параметры коррозионной агрессивности атмосферы и режима эксплуатации конструкции устанавливаются по характеристикам внешних факторов коррозионного разрушения:

- продолжительности адсорбционного увлажнения (относительная критическая влажность $W_{кр} > 70\%$);
- продолжительности фазового увлажнения;
- концентрации коррозионно-активных компонентов.

Классификация сред осуществляется в зависимости от категории размещения конструкции, зоны влажности, группы газов и пылевых выделений, жидких сред, установленных в приложении 1 СНиП 2.03.11-85.

Внутренние факторы включают:

- химический состав и структуру стали;
- конструктивные и объемно-планировочные особенности размещения элементов;
- вид и уровень напряженного состояния;
- тип и конструктивные особенности соединений;
- состояние поверхности и др.

По коррозионной стойкости стали подразделяются на 3 группы:

- стали обычной коррозионной стойкости (ВСт.3, 09Г2С, 14Г2С и др.);
- стали пониженной коррозионной стойкости (09Г2, 14Г2);
- атмосферостойкие стали (10ХНДП, 10ХСНД, 10ХДП).

Коррозионные эффекты, ухудшающие функциональные характеристики конструктивной формы, подразделяются на коррозионные поражения и повреждения. *Коррозионные поражения* являются качественной характеристикой вида коррозионного разрушения. *Коррозионные повреждения* характеризуют количественные изменения конструктивных параметров при сохранении работоспособного состояния объекта.

Коррозионные потери единицы поверхности металла в единицу времени характеризуют *скорость коррозии*. Коррозионная стойкость строительных сталей представляет собой способность материала конструкции сопротивляться коррозионному воздействию среды. Коррозионный износ зависит от вида и скорости протекания коррозионных процессов и определяется как изменение геометрических характеристик сечений и механических свойств материала.

Вид коррозионного поражения поверхности зависит от условий локализации анодных и катодных участков. Различают общую, сплошную и местную коррозию (рис. 1.21).

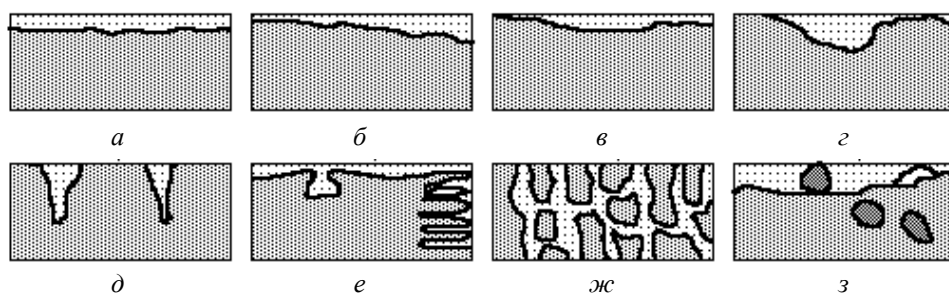


Рис. 1.21. Виды коррозионных разрушений:

a – равномерная коррозия; *б* – неравномерная коррозия; *в* – коррозия пятнами;
г – коррозия язвами; *д* – питтинговая коррозия; *е* – подповерхностная коррозия;
ж – межкристаллитная коррозия; *з* – структурно-избирательная коррозия

Сплошную коррозию делят на равномерную и неравномерную в зависимости от изменения глубины коррозионного поражения на участках металлической поверхности. Местная коррозия имеет неодинаковую степень разрушения и подразделяется на коррозию пятнами, язвами, питтингами. Особенности местного разрушения связаны с линейным размером B и глубиной H поражения поверхности металла. При $B/H > 1$ наблюдается коррозия пятнами, при $B/H \sim 1$ коррозия язвами, при $B/H < 1$ – питтинговая коррозия. Щелевая коррозия связана с увеличением степени коррозионного разрушения в щелях и зазорах, в местах неплотного контакта металлических поверхностей с неметаллическими материалами.

По характеру коррозионного разрушения различают:

- общую коррозию;
- равномерную и неравномерную;
- местную.

Сопротивление профиля коррозионным действиям характеризуется коэффициентом сплошности сечения:

$$\beta = A / 0,383P, \quad (1.4)$$

где A – площадь сечения (см^2); P – периметр профиля (см).

Чем больше A и меньше P , тем выше коррозионная стойкость типоразмера профиля.

Коррозионные повреждения характеризуются признаками I группы предельных состояний (рис. 1.22) или II группы – по непригодности к нормальной эксплуатации (рис. 1.23).

В средне- и сильноагрессивных средах не допускается применение профилей из спаренных уголков.

По характеру коррозионного разрушения различают:

- коррозионное растрескивание вследствие взаимодействия растягивающих напряжений и агрессивной среды;
- коррозионную усталость при наличии знакопеременных циклических напряжений;
- контактную коррозию при взаимодействии разнородных металлов;
- щелевую коррозию, связанную с возрастанием коррозионного разрушения в конструктивных зазорах.

Оценка степени агрессивности действия производственных условий осуществляется для однородных зон эксплуатации конструкции.

Однородной зоной является такое расположение объекта, при котором состав и интенсивность воздействий среды на элементы строительных конструкций принимаются одинаковыми. Характеристика воздействий устанавливается для наиболее неблагоприятного сочетания внешних и внутренних факторов.



Рис. 1.22. Потеря несущей способности ствола газоотводной трубы в результате коррозионного износа



Рис. 1.23. Сквозное коррозионное разрушение торовой поверхности ствола

Расчетная характеристика коррозионной стойкости конструктивной формы (A_k) при проектировании имеет следующее аналитическое описание:

$$A_k = \alpha_f \cdot \gamma_{mk} \cdot \gamma_{fk} \cdot A_n \cdot 10^3 \quad (1.15)$$

где A_n – нормативное значение коррозионных потерь (принимается по табл. 1.4); γ_{fk} , γ_{mk} – коэффициенты надежности по воздействию агрессивной среды и по коррозионной стойкости материала (табл. 1.5, 1.6); $\alpha_f = K_1 \cdot K_2$ – конструктивный коэффициент, учитывающий тип сечения (K_1) и угол наклона элементов (K_2) на интенсивность коррозионного износа (табл. 1.7, 1.8).

Значения коэффициента надежности по коррозионной стойкости материала

Таблица 1.5

Группа сталей по коррозионной стойкости	Коэффициент γ_{mk}					
	Степень агрессивности среды					
	не-агрессивная	слабо-агрессивная	низко-агрессивная	средне-агрессивная	высоко-агрессивная	сильно-агрессивная
I	0,95	0,95	0,95	1,00	1,00	1,05
II	0,95	0,95	1,00	1,05	1,10	1,20
III	0,95	0,90	0,90	0,95	1,05	1,1

Значения коэффициента надежности по воздействию агрессивной среды

Таблица 1.6

Категории размещения конструкций	Значения коэффициента γ_{fk} при степени агрессивности среды ¹					
	1	2	3	4	5	6
На открытом воздухе	1,05	1,10	1,15	1,20	1,20	1,25
Под навесом	1,00	1,10	1,10	1,15	1,15	1,20
В середине неотапливаемых помещений	1,00	1,05	1,10	1,10	1,15	1,15

Коэффициент влияния типа сечения элементов на скорость коррозии стальных конструкций

Таблица 1.7

Материал конструкций	Значения K_1 при типе сечения			
	трубы	замкнутое коробчатое сечение	лист одиночный прокатный или гнутый профиль ²	составной профиль ³
Углеродная сталь и сталь марок 10ХСНД, 15ХСНД	1	1,1	1,4	2
Низколегированная сталь, кроме стали марок 10ХСНД, 15ХСНД	1	1,3	2	2,5

Коэффициент влияния угла наклона к горизонтали на скорость коррозии элементов стальных конструкций

Таблица 1.8

Угол наклона, град.	Значения K_2 при типе сечения			
	трубы	замкнутое коробчатое сечение	лист одиночный прокатный или гнутый профиль ⁴	составной профиль ⁵
0	1	1	1	1
45	0,6	0,6	0,7	0,8
90	0,4	0,4	0,5	0,6

¹ Примечание: 1 – неагрессивная; 2 – слабоагрессивная; 3 – низкоагрессивная; 4 – среднеагрессивная; 5 – высокоагрессивная; 6 – сильноагрессивная.

² Кроме гнутого профиля незамкнутого коробчатого сечения.

³ Тавровое сечение из двух уголков, крестовые сечения из четырех уголков, незамкнутые коробчатые двутавровые сечения из швеллеров или гнутых профилей.

⁴ Кроме гнутого профиля незамкнутого коробчатого сечения.

⁵ Тавровое сечение из двух уголков, крестовые сечения из четырех уголков, незамкнутые коробчатые двутавровые сечения из швеллеров или гнутых профилей.

Проверка несущей способности конструкций выполняется с учетом несовершенства, связанного с изготовлением, монтажом и эксплуатацией объектов. Коррозионное разрушение включает различные виды общей (равномерной и неравномерной) и местной коррозии (рис. 1.24).



Рис. 1.24. Общая и местная (щелевая, подповерхностная, язвами) коррозия узлового соединения

СНиП 2.03.11-85 регламентирует использование следующих средств защиты от коррозии:

- лакокрасочные покрытия;
- металлизационные (горячее оцинкование, газотермическое напыление, электрохимическое нанесение оцинкованных, алюминированных покрытий);
- комбинированная защита (металлизация и дальнейшая защита лакокрасочными материалами);
- обклеивающая гидроизоляция;
- электрозащита (катодная, анодная, протекторная).

Выбор защитных покрытий осуществляется в соответствии с требованиями табл. 29 СНиП 2.03.11-85.

Маркировка защитных покрытий устанавливается в зависимости от степени агрессивности действия среды. Например, для обозначения III х – 4 (110) использованы такие символы:

III – группа лакокрасочных материалов по приложению 15 СНиП 2.03.11-85;

х – покрытие химически стойкое;

4 – количество слоев покрытия;

110 – толщина защитного покрытия в (мкм).

Срок службы защитного покрытия включает следующие составляющие:

$$T_3 = t_n + t_3 + t_{om}, \quad (8)$$

где t_n – период проникновения агрессивной среды через слой защитного покрытия к металлической основе; t_3 – период задержки **начала** коррозии на поверхности конструкции, связанный с ингибиторными свойствами компонентов материала покрытия; t_{om} – период разрушения покрытия и металлической поверхности к характеристике отказа защитных свойств $A_3 \leq 0,35$.

Подготовка поверхности перед окрашиванием выполняется по требованиям ГОСТ 9.402-80 следующими методами:

- термической (газопламенной) обработкой;
- механическим очищением с помощью ручных металлических щеток и абразивного инструмента, песко-дробеструйными установками;
- химической обработкой путем фосфатирования, нанесения модификаторов ржавчины.

Технические требования к качеству выполнения защитных покрытий приведены в СНиП 3.04.03-85 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии».

Для обоснования основных теоретических положений расчета строительных металлоконструкций на коррозионную стойкость и долговечность рассмотрены результаты исследований коррозионного износа строительных конструкций, сроков службы защитных покрытий, методов оценки долговечности конструктивных элементов, сравнительного анализа технико-экономических показателей противокоррозионных мероприятий, выполненных в течение 70-х – 80-х годов в научных лабораториях ЦНИИпроектстальконструкция, НИИЖБ, ЦНИИБК, МНИИТЕП, ВНИКТИстальконструкция НВО «Спектр», ЦНИИпромсооружений, Харьковском ПромстройНИИпроект, на кафедрах Московского ИСИ, МАДИ, Днепропетровского ИСИ, Карагандинского ПИ, Киевского ИСИ, Саратовского ПИ, Макеевского ИСИ и др.

Проведенный анализ выявил приоритетные направления систематизации условий действительной работы конструкций в коррозионных средах. Установлены закономерности снижения показателей эксплуатационной надежности при влиянии основных факторов, обуславливающих коррозионный износ конструктивных элементов. Однако статистические данные по составу и интенсивности агрессивных выделений, долговечности конструкций и их элементов не позволяют делать обобщение результатов изучения режима эксплуатации стальных конструкций объектов различного назначения с позиций теории надежности. Указанное противоречие между численным экспериментально-статистическим материалом исследований и нормативными требованиями, не позволяющими делать расчетную оценку показателей надежности и долговечности, объясняется отсутствием аналитического описания, которое учитывает

нагрузку и агрессивные воздействия при оценке несущей способности по предельным состояниям. В этой связи сформулированы задачи расчета на коррозионную стойкость и долговечность на основе взаимодействия подсистем «НАГРУЗКА – КОНСТРУКЦИЯ – СРЕДА» («Н–К–С»). Теоретическое обоснование и последовательность рассмотрения основных этапов предложенного метода обеспечения гарантированных показателей долговечности стальных конструкций на стадии проектирования приведены на рис. 1.25.

Условия выполнения расчета стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность по граничным состояниям базируются на таких принципах:

- учет опасности коррозионного разрушения выполняется на основе критериев вероятностных методов I уровня при отдельном рассмотрении нагрузок, воздействий и несущей способности;
- расчет на коррозионную стойкость проводится по I и II группам предельных состояний, связанных с потерей несущей способности и ограничениями чрезмерных деформаций. Расчет показателей долговечности устанавливает критерии, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкций в агрессивных средах;
- анализ показателей коррозионной стойкости и долговечности строительных металлоконструкций выполняется на основании изучения причинно-следственных связей внешних и внутренних факторов, определяющих условия физико-химического взаимодействия агрессивной среды и конструктивной формы;
- непостоянность воздействий учитывается путем определения наиболее неблагоприятного сочетания экстремальных значений факторов. Состав и интенсивность агрессивных воздействий устанавливаются по данным строительной климатологии, нормативным параметрам коррозионной агрессивности атмосферы, результатам статистической оценки эксплуатационных воздействий рабочих сред;
- случайный характер показателей коррозионной стойкости, связанный с природой металлургических факторов, рассматривается для строительных сталей на основе нормального распределения, обеспечивающего точность оценки параметров процессов износа;
- расчет строительных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность в постановке рассматриваемой задачи, выполняется при действии статических нагрузок без учета природы мало- и многоциклической коррозионной усталости;
- расчетно-экспериментальная оценка показателей коррозионной стойкости и долговечности выполняется для однородных по составу и интенсивности воздействий зон эксплуатации промышленных и гражданских объектов.

Установленные принципы обеспечивают возможность нормирования коэффициента надежности первичной защиты γ_{zk} и вторичной защиты γ_{zn} от

коррозии для расчета строительных металлоконструкций на коррозионную стойкость и долговечность на стадии проектирования. Коэффициенты надежности противокоррозионной защиты (γ_{zk} , γ_{zn}) устанавливают возможные отклонения прочностных, деформационных, эксплуатационных характеристик конструктивных элементов, определенные для типовой модели эксплуатации объекта и заданного срока службы (T_{ef} , год), от расчетных значений параметров, полученных по критериям предельных состояний I и II группы без учета показателей гарантированной долговечности.

Требования к показателям долговечности первичной и вторичной противокоррозионной защиты стальных конструкций допускается устанавливать в зависимости от срока эксплуатации T_{ef} по табл. 1.9.

Требования

к показателям надежности противокоррозионной защиты по критериям предельных состояний для отношения резерва надежности $\Phi/N = 1$

Таблица 1.9

Конструктивные и эксплуатационные характеристики по СНИП 2.03.11-85			Расчетные значения γ_{zn}/γ_{zk} , при сроке службы T_n , год			
Степень коррозионной агрессивности среды (СКАС)	Способы первичной защиты конструкции	Методы вторичной защиты	10	30	50	100
1	2	3	4	5	6	7
СКАС 1	Углеродистые и низколегированные стали без вторичной защиты	МВ3 1	$\frac{0,99}{0,99}$	$\frac{0,99}{0,99}$	$\frac{0,98}{0,98}$	$\frac{0,95}{0,95}$
	Атмосферостойкие стали без вторичной защиты	МВ3 2	$\frac{0,99}{0,99}$	$\frac{0,96}{0,96}$	$\frac{0,94}{0,94}$	$\frac{0,91}{0,91}$
СКАС 2	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	МВ3 1.2	$\frac{0,97}{0,99}$	$\frac{0,86}{0,99}$	$\frac{0,77}{0,98}$	$\frac{0,74}{0,99}$
	Углеродистые и низколегированные оцинкованные стали	МВ3 1.1	$\frac{0,99}{0,99}$	$\frac{0,95}{0,99}$	$\frac{0,92}{0,98}$	$\frac{0,91}{0,95}$
СКАС 3	Углеродистые и низколегированные оцинкованные стали	МВ3 1.2	$\frac{0,89}{0,99}$	$\frac{0,88}{0,98}$	$\frac{0,84}{0,95}$	$\frac{0,83}{0,90}$
	Углеродистые, низколегированные, оцинкованные стали с ЛКП	МВ3 1.3	$\frac{0,95}{0,99}$	$\frac{0,90}{0,98}$	$\frac{0,92}{0,95}$	$\frac{0,92}{0,90}$

Продолжение табл. 1.9

1	2	3	4	5	6	7
	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	МВЗ 1.2	$\frac{0,86}{0,98}$	$\frac{0,89}{0,95}$	$\frac{0,89}{0,90}$	$\frac{0,88}{0,85}$
СКАС 5	Углеродистые, низколегированные, оцинкованные стали с ЛКП	МВЗ 1.3	$\frac{0,92}{0,98}$	$\frac{0,93}{0,95}$	$\frac{0,91}{0,90}$	$\frac{0,93}{0,85}$
	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	МВЗ 1.2	$\frac{0,85}{0,95}$	$\frac{0,87}{0,90}$	$\frac{0,88}{0,85}$	$\frac{0,91}{0,80}$

Примечание:

1. Степень коррозионной агрессивности среды принимать по рекомендациям раздела СНиП 2.03.11-85 и ДБН В.1.2-...-2001.

2. Способы, средства и методы противокоррозионной защиты определять по рекомендациям приложения 14, 15 СНиП 2.03.11-85.

При этом используются заданные характеристики коэффициента надежности противокоррозионной защиты γ_{zk} по показателю коррозионной стойкости (первичная защита) и коэффициенту надежности противокоррозионной защиты γ_{zn} по гарантированной долговечности (вторичная защита). Разработка рабочих чертежей антикоррозионной защиты (стадия АЗ) производится с учетом требований ГОСТ 21.513 к первичной защите (повышение коррозионной стойкости конструктивной формы) и вторичной защите (повышение долговечности средств и методов противокоррозионной защиты). В проекте необходимо приводить данные о зонировании режима эксплуатации по составу и интенсивности агрессивных воздействий, классификации коррозионных сред, требования к срокам службы и возобновления защитных покрытий. Конструктивные меры, обеспечивающие повышение коррозионной стойкости при проектировании представлены в табл. 1.10.

Конструктивные меры по первичной защите металлических конструкций при проектировании

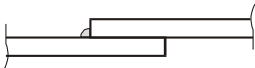
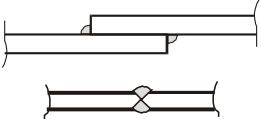
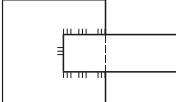
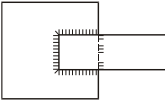
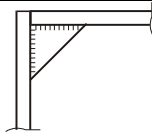
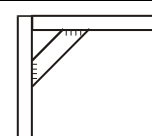
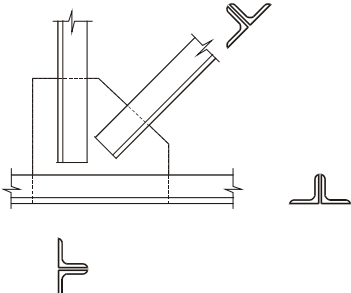
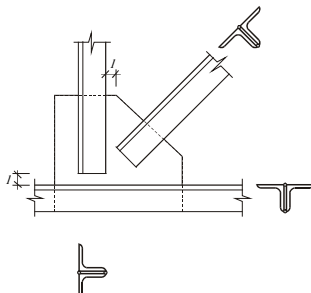
Таблица 1.10

Объемно-планировочные и конструктивные решения, способствующие коррозионному разрушению	Рациональное конструирование для повышения коррозионной стойкости
1	2

Продолжение табл. 1.10

1	2

Продолжение табл. 1.10

1	2
	
	
	
	

Расчет на коррозионную стойкость и долговечность с учетом мероприятий первичной защиты осуществляется по первой и второй группам предельных состояний, связанных с потерей несущей способности и ограничением чрезмерных деформаций (см. рис. 1.25).

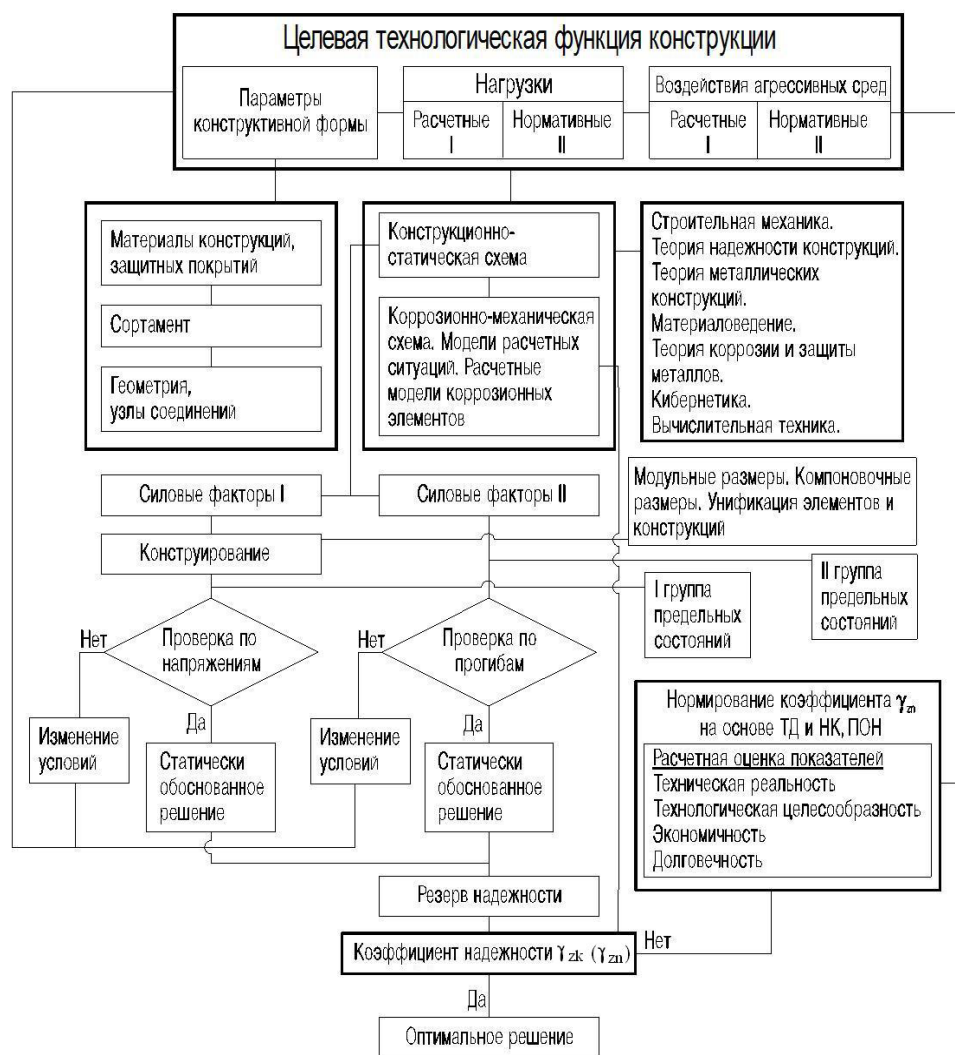


Рис. 1.25. Последовательность расчета стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность по предельным состояниям

Расчет показателей долговечности связан с ограничениями, затрудняющими нормальную эксплуатацию в агрессивных средах в результате разрушения защитных покрытий.

Для расчета по граничным состояниям используем зависимости:

I граничное состояние

$$\Phi / N + (1 - \gamma_{zk}) \leq \Gamma; \quad (1.6)$$

$$(1 - \gamma_{zn}) A_k T_n^c \leq m t_p (1 - 1/\Gamma); \quad (1.7)$$

II граничное состояние

$$T_{z\gamma} \geq \gamma_{zn} T_z; \quad (1.8)$$

$$T_{m\gamma} \geq \gamma_{zn} T_m, \quad (1.9)$$

где $\Gamma = \Phi/N$ – отношение резерва надежности из условия оценки граничного усилия (Φ , кН) и наибольшего расчетного усилия в конструктивном элементе (N , кН); γ_{zk} – коэффициент надежности противокоррозионной защиты, установленный при обосновании методов первичной защиты; γ_{zn} – коэффициент надежности способов и методов вторичной защиты; c – коэффициент кинетики коррозионного износа; t_p – приведенная толщина сечения элемента, см; $m = \rho \cdot 10^4$ – переводной коэффициент коррозионных потерь; ρ – плотность металла (г/см³); T_z (T_m) – нормативный срок службы защитных покрытий (металлизационных) по данным сертификационных испытаний; $T_{z\gamma}$ ($T_{m\gamma}$) – гарантийный срок службы защитных (металлизационных) покрытий с доверительной вероятностью $\gamma = 0.95$.

Задача обеспечения безаварийной эксплуатации строительных металлоконструкций в коррозионных средах связана с анализом показателей надежности в течение всего жизненного цикла объекта. Смена структуры и содержания национальных нормативных документов Украины, создание современной методологической базы для разработки программы обеспечения надежности и управления характеристиками безотказности, ремонтоспособности, долговечности и сохраняемости конструкций требует пересмотра соответствующих норм и требований, регламентирующих правила технической эксплуатации зданий и сооружений с учетом состава и концентрации агрессивных влияний.

1.7. Подтверждение пригодности для использования новых материалов и изделий

1.7.1. Процедура подтверждения соответствия

Улучшению организационной основы и усилению практической направленности работ в области обеспечения надежности и безопасности строительных объектов в значительной степени способствовал декрет Кабинета Министров Украины от 10.05.93 № 46-93 «Про стандартизацию и сертификацию». Обязательная сертификация строительных материалов, изделий и конструкций введена с 01.07.97 года, что в значительной степени позволило повысить требования к уровню технического контроля показателей надежности и долговечности строительных металлоконструкций. Рост количества аварий, который отмечается в последние годы на промышленных предприятиях Украины, связан в значительной степени с недостаточным контролем за показателями качества строительной продукции при изготовлении, а также в процессе выполнения строительно-монтажных работ.

Переход к рыночной экономике изменил законодательство и структуру управления рыночным комплексом, что потребовало новых подходов к формированию нормативных документов с учетом мирового опыта.

Решение общих задач повышения качества и конкурентоспособности в области строительства связано с обеспечением условий:

- соответствия строительной продукции своему назначению и создания благоприятного режима жизнедеятельности населения;
- безопасности строительной продукции для жизни и здоровья людей в процессе ее производства и эксплуатации;
- защиты строительной продукции и людей от неблагоприятных воздействий с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций;
- надежности строительных конструкций и оснований, систем инженерного оборудования, зданий и сооружений;
- выполнения экологических требований, рационального использования природных, материальных, топливно-энергетических и трудовых ресурсов;
- взаимопонимания при осуществлении всех видов строительной деятельности, устранения технических барьеров в международном сотрудничестве.

Закон Украины «Об подтверждении соответствия» устанавливает следующие определения, используемые при процедуре контроля показателей качества:

- продукция – изготавливаемое какое-либо изделие, процесс или услуга, осуществляется или предоставляется удовлетворения общественных потребностей;

- **производитель** – юридическое или физическое лицо, ответственное за проектирование, изготовление, упаковку и маркировку продукции до введения ее в оборот под собственным названием или от ее имени, независимо от того, выполняются эти операции самими этим лицом или от его имени;

- **поставщик** – юридическое или физическое лицо – субъект предпринимательской деятельности, которая вводит в оборот продукцию или принимает в этом участие;

- **подтверждение соответствия** – деятельность, следствием которой является уверенность в том, что продукция отвечает установленным требованиям;

- **декларирование соответствия** – процедура, при помощи которой производитель или уполномоченное им лицо (далее – производитель) под свою полную ответственность документально удостоверяет, что продукция отвечает установленным требованиям;

- **сертификация** – процедура, при помощи которой признанный независимым орган, документально удостоверяет соответствие продукции установленным требованиям;

- **орган по сертификации** – орган, проводящий сертификацию. Орган сертификации правомочный проводить испытания или надзор или контролировать эту деятельность, которую проводят по его поручению другие органы;

- **испытательная лаборатория** – лаборатория, проводящая испытания;

- **сертификат соответствия** – документ, выданный по установленным правилам, который подтверждает, что идентифицированная надлежащим образом продукция отвечает установленным требованиям;

- **декларация о соответствии** – документально оформленное заявление производителя, где дается гарантия относительно соответствия продукции установленным требованиям;

- **национальный знак соответствия** – защищенный в установленном порядке знак, который удостоверяет соответствие помеченной им продукции всем требованиям технических регламентов по подтверждению соответствия, которые распространяются на нее;

- **технический регламент по подтверждению соответствия** – нормативно-правовой акт, утвержденный Кабинетом Министров Украины, где содержится описание видов продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия, существенные требования безопасности для жизни, здоровья человека и домашних животных, для имущества и окружающей среды, процедуры подтверждения соответствия этим требованиям, правила маркировки и введения продукции в оборот, а также могут содержаться требования относительно терминологии обозначений, упаковки и маркировки;

- свидетельство о признании соответствия – документ, удостоверяющий признание иностранных документов о подтверждении соответствия продукции установленным в Украине требованиям;

- введение продукции в оборот – первое предоставление продукции за плату или бесплатно с целью распределения и (или) использования на рынке Украины независимо от того, является данная продукция новой или полностью восстановленной;

- законодательно регулируемая сфера – сфера, в которой введение в оборот продукции регламентируется законами или другими нормативно-правовыми актами;

- законодательно нерегулируемая сфера – сфера, в которой введение в оборот продукции не регламентируется законами или другими нормативно-правовыми актами.

Государственная политика в сфере подтверждения соответствия базируется на таких принципах:

- координация действий органов исполнительной власти в сфере подтверждения соответствия, обеспечения размежевания их полномочий и избегания дублирования;

- беспристрастность, прозрачность и доступность процедур подтверждения соответствия;

- применение с учетом существующей международной практики способов подтверждения соответствия в зависимости от потенциального риска;

- обеспечение идентичных процедур подтверждения соответствия относительно продукции отечественного и иностранного происхождения;

- гармонизация нормативно-правовых актов по подтверждению соответствия с международными и европейскими;

- содействие развитию сферы подтверждения соответствия в законодательно нерегулируемой сфере;

- соблюдение требований относительно конфиденциальности информации, полученной в результате работ по подтверждению соответствия;

- обеспечение полного и всестороннего информирования по вопросам подтверждения соответствия всех заинтересованных сторон.

Подтверждение соответствия в законодательно регулируемой сфере (далее – обязательное подтверждение соответствия) для отдельных видов продукции, которая может представлять опасность для жизни, здоровья человека, а также для имущества и окружающей среды, вводится техническими регламентами по подтверждению соответствия, утвержденными Кабинетом Министров Украины, с одновременным определением органов исполнительной власти, на которые возлагается ответственность за разработку этих технических регламентов.

Процедуры подтверждения соответствия определяются в технических регламентах по подтверждению соответствия. В технических регламентах

должна быть учтена специфика подтверждения соответствия продукции производственного назначения и специфика предпринимательской деятельности, а также учтена существующая европейская практика. Сертификация в законодательно регулируемой сфере проводится в соответствии с требованиями технических регламентов по подтверждению соответствия. По результатам проведения сертификации в случае положительного решения уполномоченного органа по сертификации заявителю выдается сертификат соответствия установленного образца.

Подтверждение соответствия в законодательно нерегулируемой сфере осуществляется с целью повышения конкурентоспособности продукции и содействия потребителям в ее выборе. Сертификация в законодательно нерегулируемой сфере проводится на добровольных началах. При этом подтверждается соответствие продукции каким-либо требованиям на договорных началах между заявителем (производителем, поставщиком) и органом по сертификации.

1.7.2. Экспертиза пригодности зарубежной строительной продукции

Новые строительные изделия, в том числе ввозимые из-за рубежа, требования к которым не установлены действующими государственными стандартами, государственными строительными нормами и правилами, другими нормативными документами или учтены в них не в полном объеме, могут быть допущены к применению в строительстве после подтверждения пригодности их в условиях строительства и эксплуатации объектов на территории Украины. Правила подтверждения пригодности новых строительных изделий для применения на территории Украины устанавливают общие требования для проведения проверки и подтверждения пригодности новых строительных изделий, применение которых в строительстве не установлено действующими государственными стандартами, государственными строительными нормами и правилами, другими нормативными документами или учтены в этих документах не в полном объеме.

Проверке и подтверждению пригодности подлежат новые строительные изделия, от которых зависят надежность зданий и сооружений, безопасность для жизни и здоровья людей, их имущества, а также окружающей среды, в том числе:

- новые изделия, требования к свойствам и условиям применения которых полностью или частично отсутствуют в государственных стандартах или технических условиях;
- изделия, которые впервые осваиваются по зарубежным технологиям, если они существенно отличаются (по материалу, составу, конструкции и

т.п.) от строительных изделий аналогичного назначения, отвечающих требованиям действующей нормативно-технической документации;

- изделия, которые изготавливаются по зарубежным нормам и стандартам и поставляются в соответствие к этим нормам и стандартам на территорию Украины.

Не требуют подтверждения пригодности новые строительные изделия, разработанные и поставляемые в соответствие с государственными стандартами или техническими условиями, утвержденными в установленном порядке в Украине.

Пригодность новых строительных изделий для применения на территории Украины подтверждается техническим свидетельством Государственного комитета Украины по строительству и архитектуре. Техническое свидетельство – документ, устанавливающий требования, выполнение которых позволяет применение новых строительных изделий на территории Украины на определенный срок.

Техническое свидетельство на новые строительные изделия в зависимости от их назначения и области применения содержит:

- принципиальное описание новых строительных изделий, позволяющее их идентификацию при необходимости чертежа, схемы и т.п.;
- назначение и разрешенную область применения новых строительных изделий;
- показатели и параметры, характеризующие надежность и безопасность новых строительных изделий;
- дополнительные условия производства, применения и сохранения новых строительных изделий, а также контроля качества, в том числе со стороны органов государственного надзора и контроля;
- перечень документов (выводы, акты экспертизы, отчеты испытаний и т.п.), использованных при подготовке технического свидетельства.

Госстрой Украины определяет субъекты рассмотрения представленных предложений и субъекты, проводящие процедуру подтверждения пригодности новых строительных изделий.

Работы по подтверждению пригодности строительных изделий, в том числе работы по подготовке и оформлению технического свидетельства, проведения экспертиз, испытаний продукции и т.п. выполняются на платной основе по договору между сторонами. При получении положительных результатов применения новых строительных изделий в эксплуатационных условиях в течение определенного срока действия технического свидетельства вводят в действие технические условия в установленном порядке в соответствие с действующими положениями государственной системы стандартизации Украины. Органы комплексной государственной экспертизы проектно-сметной документации и органы государственной архитектурно-строительной инспекции осуществляют контроль наличия технических свидетельств на новые строительные изделия при

проектировании и строительстве, а также на соответствие их требованиям, указанным в техническом свидетельстве.

Рассмотрим форму и содержание экспертного заключения на примере оценки соответствия алюминиевых сплавов, применяемых для изготовления элементов конструкций лесов и лестниц нормативным документам и возможности их эксплуатации в Украине.

Цель экспертизы. Целью экспертизы является оценка соответствия свойств алюминиевых сплавов марок 6005; 6005А Т6; 6063А Т6; 6082 Т6, применяемых для изготовления элементов конструкций лесов и лестниц, требованиям нормативных документов, действующих в Украине, а именно:

- химического состава алюминиевых сплавов, в соответствие с данными сертификатов качества фирмы-производителя;
- механических свойств по фактическим данным: временного сопротивления σ_b , МПа (кгс/мм²), границы текучести $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм²), относительного удлинения δ , % и способности эксплуатировать в Украине элементы конструкций лесов и лестниц, изготовленных из данных алюминиевых сплавов.

Перечень представленных на экспертизу материалов. На экспертизу представлена ниже перечисленная документация:

- сертификат качества на механические и физические свойства алюминиевого сплава марки 6082 Т6;
- сертификаты качества на механические и физические свойства алюминиевого сплава марки 6063А Т6;
- сертификат качества на механические и физические свойства алюминиевого сплава марки 6005А Т6;
- сертификат качества на механические и физические свойства алюминиевого сплава марки 6005.

Характеристика объектов экспертизы. Алюминиевые сплавы, представленные на экспертизу, используют для изготовления элементов конструкций лесов и лестниц, применяемых в процессе проведения строительно-монтажных работ при возведении и реконструкции зданий и сооружений для размещения рабочего персонала в зоне проведения строительных работ.

Нормативные значения Великобритании, а также фактические данные механических свойств и химического состава алюминиевых сплавов, используемых для изготовления элементов конструкций лесов и лестниц, в соответствие с данными производителя, представлены в табл. 1.11 и 1.12 соответственно.

Механические свойства алюминиевых сплавов в соответствии с данными
фирмы-производителя

Таблица 1.11

Марка алюми- ниевых сплавов	Нормативные значения Великобритании			Фактические данные в соответствии с сертификатами качества		
	σ_e , МПа (кгс/мм ²)	$\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	δ (A ₅), %	σ_e , МПа (кгс/мм ²)	$\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	δ (A ₅), %
1	2	3	4	5	6	7
6082-T6	295	255	7-8	322, 321, 305	305, 306, 295	8,6; 7,7; 7,1
6063A-T6	230	190	7-8	274	223	9,5
6063A-T6				268, 247, 268	237, 218, 237	11, 11, 11
6005A-T6	260	240	8	271, 271	235, 235	13, 13
6005				292, 292	267, 267	10, 10

Химический состав алюминиевых сплавов, в соответствии с данными
фирмы-изготовителя

Таблица 1.12

Марка алюми- ниевых сплавов	Зна- че- ния*	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Be	Другие эле- менты
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6082-T6	нор- ма	ос- таль- ное	0,7-1,3	< 0,50	< 0,10	0,4-1,0	0,6-1,2	< 0,25	< 0,20	< 0,10	–	< 0,15
	факт		1,02	0,28	0,04	0,46	0,78	0,02	0,03	0,03	–	–
6063A-T6	нор- ма	ос- таль- ное	0,3-0,6	0,15- 0,35	< 0,10	< 0,15	0,6-0,9	< 0,05	< 0,15	< 0,10	–	< 0,15
	факт		0,49	0,21	0,01	0,02	0,65	0,00	0,01	0,02	–	–
	факт		0,46	0,19	0,00	0,02	0,61	0,00	0,01	0,02	–	–
6005, 6005A-T6	нор- ма	ос- таль- ное	0,5-0,9	< 0,35	< 0,30	< 0,50	0,4-0,7	< 0,30	< 0,20	< 0,10	–	0,12- 0,5
6005A-T6	факт		0,66	0,28	0,09	0,13	0,45	0,01	0,02	0,01	–	–
6005	факт		0,62	0,27	0,08	0,13	0,44	0,01	0,03	0,01	–	–

Примечание: *

норма – нормативные значения; факт – фактические данные.

Характеристика производства. При выполнении экспертизы единичного изделия проверка производства не проводилась.

Перечень нормативных документов, на соответствие которым проводилась экспертиза:

- ГОСТ 4784-97 «Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки»;
- ГОСТ 8617-81 «Профили прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов»;

- ГОСТ 26887-86 «Площадки и лестницы для строительно-монтажных работ»;
- ГОСТ 28012-89 «Подмости передвижные сборно-разборные»;
- ДСТУ Б В.2.6-3-95 (ГОСТ 22233-93) «Профили пресованные из алюминиевых сплавов для ограждающих строительных конструкций. Общие технические условия»;
- ISO 209-1-2002 «Алюминий и алюминиевые сплавы деформированные. Химический состав и виды продукции. Часть 1. Марки».

Оценка технических решений. Для изготовления в Украине конструкций лесов и лестниц в соответствии с ГОСТ 26887-86 и ГОСТ 28012-89 для несущих и не несущих нагрузки (ограждающих) элементов применяется алюминий марок: АМг6 (1560) и 1915 в соответствии с ГОСТ 4784-97.

Требования к алюминиевым сплавам, применяемым для изготовления элементов конструкций лесов и лестниц в соответствии с ГОСТ 26887-86 «Площадки и лестницы для строительно-монтажных работ» и ГОСТ 28012-89 «Подмости передвижные сборно-разборные», приведены в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Элементы	Алюминиевые сплавы в соответствии с	
	ГОСТ 4784-97	ISO 209-1
Несущие элементы	АМг6 (1560)	—
	1915	AlZn4,5Mg1,5Mn 7005
Элементы ограждающие	АМг6 (1560)	—
	1915	AlZn4,5Mg1,5Mn 7005

Нормативные значения химического состава алюминиевых сплавов в соответствии с ГОСТ 4784-97 приведены в табл. 1.14.

Таблица 1.14

Марка сплава	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Вс	Другие элементы		Плотность, Кг/дм ³
											каждый	сумма	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
АМг6 (1560)	ос-тальное	<0,4	<0,4	<0,1	0,5-0,8	5,8-6,8	—	<0,2	0,02-0,10	0,0002-0,005	<0,05	<0,1	2,64
1915	ос-тальное	<0,35	<0,4	<0,1	0,20-0,7	1,0-1,8	0,06-0,20	3,4-4,0	0,1	0,08-0,20	<0,05	<0,15	2,77

Нормативные значения механических свойств алюминиевых сплавов в соответствии с ГОСТ 8617-81 приведены в табл. 1.15.

Таблица 1.15

Марка сплава	Временное сопротивление σ_s , МПа (кгс/мм ²)	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	Относительное удлинение, $\delta(A_5)$, %
АМг6 (1560)	314 (32,0)	157 (16,0)	15,0
1915	265 (27,0) – 373 (38,0)	167 (17,0) – 245 (25,0)	8,0 – 12,0

В соответствие с ГОСТ 26887-86 и ГОСТ 28012-89 допускается использование других марок алюминиевых сплавов, механические свойства которых должны быть не ниже указанных в этих нормативных документах.

Химический состав алюминиевых сплавов в соответствии с указанными выше сертификатами качества фирмы, близок к химическому составу алюминиевых сплавов АМг6 (1560) и 1915, указанных в ГОСТ 4784-97. Механические свойства алюминиевых сплавов, указанных в сертификатах качества фирмы, близки к механическим свойствам алюминиевых сплавов АМг6 (1560) и 1915 в соответствии с ГОСТ 8617-81:

- фактические значения временного сопротивления находятся в пределах нормативного значения временного сопротивления для алюминиевых сплавов АМг6 (1560) и 1915, а именно: 265 (27,0) – 373 (38,0) МПа (кгс/мм²);

- фактические значения предела текучести превышают нормативное значение для алюминиевых сплавов АМг6 (1560) и 1915, а именно: 157 (16,0) – 245 (25,0) МПа (кгс/мм²) и находятся в пределах 218 (22) – 306 (31) МПа (кгс/мм²);

- фактические значения относительного удлинения алюминиевых сплавов фирмы-производителя ниже ($\delta=7,1-13\%$) от нормативного значения для алюминиевых сплавов АМг6 ($\delta=15\%$), но находится в пределах относительно к алюминиевым сплавам 1915 ($\delta=8,0-12,0\%$).

Механические свойства предоставленных данных на экспертизу алюминиевых сплавов марок 6005; 6005А Т6; 6063А Т6; 6082 Т6 отвечают требованиям относительно алюминиевого сплава марки 1915 с диапазоном смены временного сопротивления от 265 (27,0) до 373 (38,0) и относительного удлинения от 8,0 до 12,0 %.

Анализ представленных на экспертизу материалов и требований нормативных документов Украины позволяют сделать вывод о соответствии продукции действующим нормативным документам Украины.

Рекомендации. При получении разрешения на эксплуатацию элементов конструкций лесов и лестниц необходимо регламентировать требования к алюминиевым сплавам, из которых будут поставляться элементы конструкций лесов и лестниц, по следующим показателям физико-механических свойств:

- предел текучести $\sigma_{0,2}$ – не менее 180 Мпа;
- относительно удлинение $\delta(A_5)$ – не менее 10%.

Установленные ограничения учитывают содержащиеся отклонения среднестатистических показателей физико-механических свойств по фактическим данным Заявителя ($\sigma_{0,2}=218\text{--}306$ МПа; $\delta=7,1\text{--}13\%$) и отображают минимальные граничные требования ГОСТ 8617-81.

Вывод. На основании анализа представленных на экспертизу материалов, характеризующих химический состав и механические свойства алюминиевых сплавов для изготовления элементов конструкций лесов и лестниц, а именно:

- сертификата качества на механические и физические свойства алюминиевого сплава марки 6082 Т6;
- сертификата качества на механические и физические свойства алюминиевого сплава марки 6063А Т6;
- сертификата качества на механические и физические свойства алюминиевого сплава марки 6005А Т6;
- сертификата качества на механические и физические свойства алюминиевого сплава марки 6005

установлено, что алюминиевые сплавы марок 6005; 6005А Т6; 6063А Т6; 6082 Т6 по представленным фактическим показателям отвечают требованиям действующих в Украине нормативных документов, регламентирующих применение алюминиевых сплавов 1915 и АМг6 (1560). Учитывая среднестатистические показатели физико-механических свойств по требованиям ГОСТ 8617-81 следует установить такие интервальные значения:

- предел текучести $\sigma_{0,2}$ – 180-245 Мпа;
- относительно удлинение δ (А5) – 10-15%.

Таким образом, выполнение работ по подтверждению соответствия позволяет обеспечить требования безопасности строительной продукции на принципах, предусматривающих последовательную реализацию следующих принципов:

- координацию действий органов исполнительной власти в сфере подтверждения соответствия, обеспечения разграничения их полномочий и избегания дублирования;
- непредвзятость, прозрачность и доступность процедур подтверждения соответствия;
- применение с учетом существующей международной практики способов подтверждения соответствия в зависимости от потенциального риска;
- обеспечение идентичных процедур подтверждения соответствия относительно продукции отечественного и иностранного происхождения;
- гармонизацию нормативно-правовых актов по подтверждению соответствия с международными и европейскими;
- содействие развитию сферы подтверждения соответствия в законодательно нерегулируемой сфере;

- соблюдение требований относительно конфиденциальности информации, полученной в результате работ по подтверждению соответствия;
- обеспечение полного и всестороннего информирования по вопросам подтверждения соответствия всех заинтересованных сторон.

Раздел 2

ОБСЛЕДОВАНИЕ, ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПАСПОРТИЗАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

2.1. Требования к организационной структуре надзора и контроля эксплуатационных характеристик конструкций

Пакет нормативных та распорядительных документов по вопросам обследования и паспортизации зданий и сооружений с целью обеспечения их надежности эксплуатации утверждено указом Государственного комитета строительства, архитектуры и жилой политики Украины и Государственного комитета Украины по надзору за охраной работы от 27 ноября 1997 года № 32/288 на выполнение постановления Кабинета Министров Украины от 05.05.97 № 409 «Об обеспечении надежности и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей».

Правила обследований, оценки технического состояния и паспортизации производственных зданий и сооружений распространяются на обследование, оценку технического состояния и паспортизацию (далее – обследование и паспортизация) существующих (завершенных строительством или реконструированных, тех, которые эксплуатируются, выведенных из эксплуатации для реконструкции или капитального ремонта, законсервированных) производственных и складских зданий и сооружений разного назначения (далее – зданий (сооружений)).

Правила не распространяются:

- на здании (сооружения), обследования которых регламентируется существующими ДБН (СНиП) или ВБН (ВСН) (например, СНиП 3.06.07-86 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний);
- на исследовательские обследования, которые выполняются научно-исследовательскими организациями для получения научных данных;
- на контрольные обследования, которые выполняются во время строительства;
- на здании (сооружения), эксплуатация которых регламентируется отраслевыми органами государственного надзора.

Обследования и паспортизация зданий (сооружений) выполняются для определения и документирования в установленный срок их состояния и пригодности (или непригодности) к дальнейшей эксплуатации.

Обследования зданий (сооружений) могут выполняться как самостоятельный вид работ (без паспортизации технического состояния).

Паспортизация зданий (сооружений), как отдельный вид работы, разрешается только после выполнения обследований на основании анализа полученных при этом данных.

Работы по обследованию для паспортизации зданий (сооружений) должны выполняться специализированными организациями из проведение обследований и паспортизации существующих зданий и сооружений с целью

обеспечения их надежности и безопасной эксплуатации (далее – специализированная организация). Специализированная организация – это организация, которая имеет лицензию Госстроя Украины на выполнение работ по обследованию за кодами – 5.02.01 (обзор и оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений и их защиты) и 5.02.02 (обследования, испытания, диагностика и оценивания технического состояния строительных конструкций и их защиты) за Кодификатором видов работ в проектировании и строительстве, которые подлежат лицензированию, утвержденным и введенным в действие приказом Госкомгорстрой Украины от 19.07.95 № 148 с 1.10.95 – с указанием в прибавлении к лицензии тех типов зданий (сооружений) и их конструкций, которые эта организация может обследовать, и которая отвечает требованиям, которые изложены в Положении о специализированных организациях из проведение обследований и паспортизации существующих зданий и сооружений с целью обеспечения их надежности и безопасной эксплуатации, утвержденному приказом Госстроя и Госназдорхрантруда от 27.11.97 № 32/288 и зарегистрированном в Минюсте Украины 06.07.98 за № 425/2865. Этот порядок распространяется также на те организации, которые привлекаются к выполнению работ на субподрядных основах, в том числе – к выполнению специальных обследований (выискивания, исследования, испытания и др.).

Все здания (сооружения), независимо от их назначения, формы собственности, возраста, капитальности, технических особенностей подлежат периодическим обследованиям с целью оценки их технического состояния и паспортизации, а также принятия обоснованных мероприятий к обеспечению надежности и безопасности при дальнейшей эксплуатации (консервации).

Своевременная оценка технического состояния в процессе обследования и паспортизации зданий и сооружений является основной организационной формой предупреждения аварий и разрушений строительных конструкций объектов различного назначения является.

Целью обследования и паспортизация зданий (сооружений) является выявление и документирование в установленный срок состояния, а также определение пригодности (или непригодности) объекта к дальнейшей эксплуатации.

Обследование зданий (сооружений) может выполняться как самостоятельный вид работ (без паспортизации технического состояния).

Паспортизация зданий (сооружений) выполняется только после выполнения и анализа материалов обследования и на основании полученных при этом данных.

Обследование зданий (сооружений), как самостоятельный вид работ, может выполняться как специализированными организациями, так и другими организациями, которые имеют Государственную лицензию на выполнение специальных видов работ в проектировании и строительстве и рекомендованных в установленных Госстроем Украины нормативных документах.

Все здания (сооружения) независимо от их назначения, формы собственности, срока службы, капитальности, показателей юридического статуса, экономического положения владельца, технических особенностей подлежат периодическим обследованиям с целью оценки их технического состояния и паспортизации, а также выполнения обоснованных мероприятий по обеспечению надежности и безопасности при дальнейшей эксплуатации (консервации).

Целью обследования зданий (сооружений) является оценка технического состояния объекта по комплексу показателей, включающих:

- техногенные изменения окружающей среды;
- инженерно-геологические условия площадки;
- химический состав грунтовых вод;
- конструкции и сооружения, которые защищают здания (сооружения) от опасных геологических процессов;
- элементы благоустройства;
- основания и фундаменты;
- подводы и выпуски инженерных сетей;
- подземные несущие, ограждающие и гидроизоляционные конструкции;
- состояние воздушной среды и состава коррозионных воздействий внутри здания (сооружения) и снаружи его (температура, влажность, воздухообмен, химический состав воздуха);
- надземные несущие и ограждающие конструкции;
- покрытия и кровли;
- противокоррозионную защиту конструкций, полов, внешней и внутренней отделки;
- теплотехнические, сантехнические и вентиляционные системы и оборудование;
- изоляционные покрытия;
- другие элементы зданий (сооружений) и их систем, проектирование и устройство которых регламентируется СНиП.

Обследование и паспортизация зданий (сооружений) должны выполняться регулярно (плановое обследование), с периодичностью, которая устанавливается в ведомственных правилах (инструкциях) по эксплуатации зданий (сооружений).

Срок первого (после введения в эксплуатацию) обследования и паспортизации зданий (сооружений) назначается проектной организацией (автором проекта). Срок последующих обследований назначается специализированной организацией, которая выполняет оценку технического состояния с целью паспортизации.

Ответственность за выполнение своевременных обследований и паспортизации здания (сооружения) возлагается на владельца здания (сооружения).

Необходимость в обследовании, как самостоятельном виде работ (внеочередное обследование), определяется владельцем здания (сооружения) или по требованию органов Государственного надзора за охраной труда и их должностных лиц. Его, как правило, необходимо выполнять дополнительно к плановому обследованию в таких случаях:

- перед принятием в эксплуатацию зданий (сооружений), которые имеют повышенный уровень ответственности. Необходимость выполнения таких обследований должна быть обоснована;
- при выявлении признаков аварийного состояния отдельных конструкций или частей зданий (сооружений);
- при существенных изменениях предусмотренных проектом нагрузок и воздействий;
- при планировании капитального ремонта, реконструкции или технического перевооружения;
- при соответствующих постановлениях или распоряжениях Кабинета Министров;
- после возникновения чрезвычайных ситуаций (стихийные бедствия, техногенные аварии, пожары и др.);
- по требованию представителей органа государственного надзора.

Объем внеочередных обследований рекомендуется определять в каждом конкретном случае с учетом задач, которые решаются, конструктивных свойств здания (сооружения), наличия информации о его техническом состоянии и иных факторов.

Работы по обследованию зданий (сооружений) должны выполняться с соблюдением правил охраны труда и техники безопасности, изложенных в СНиП III-4-80*, а также правил, действующих на предприятии (организации).

Организационно-функциональное взаимодействие владельцев (руководителей) основных фондов всех форм собственности, органов надзора и контроля при реализации требований обеспечения надежной и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей представлены на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Организационно-функциональное взаимодействие организаций при обеспечении безаварийной эксплуатации

Производственные здания и сооружения в процессе эксплуатации в соответствии с Положением о безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений должны находиться под систематическим наблюдением инженерно-технических работников, ответственных за сохранность этих объектов (табл. 2.1).

Сроки осмотра строительных конструкций

Таблица 2.1

Периодичность текущих осмотров (не реже)	Условия эксплуатации и интенсивность воздействия	Объем осматриваемых конструкций
1	2	3
Два раза в месяц	Особо тяжелый режим работы	Все подкрановые конструкции и 10% элементов, узлов и соединений по каждому виду конструкций другого типа. Особое внимание обратить на поиск повреждений в виде трещин и ослабления болтов и заклепок.
	Сильноагрессивная среда	20% элементов, узлов и соединений по каждому виду конструкций. Основное внимание обратить на состояние лакокрасочных покрытий.
Один раз в месяц	Тяжелый режим работы	20% элементов, узлов и соединений по каждому виду конструкций. Основное внимание обратить на состояние подкрановых путей.
	Среднеагрессивная среда	20% элементов, узлов и соединений по каждому виду конструкций. Основное внимание обратить на состояние лакокрасочных покрытий.
	Интенсивное движение напольного транспорта	Все колонны (в рабочей зоне), 10% остальных элементов, узлов и соединений конструкций
	Сильный нагрев	Все конструкции в зоне нагрева и 10% остальных. Основное внимание обратить на искривления элементов и состояние лакокрасочных покрытий.
Один раз в три месяца		10% элементов, узлов и соединений по каждому виду конструкций

Примечание: Конструкции сооружений (галереи, бункерные эстакады, градирни и т.п.) осматриваются не реже одного раза в три месяца.

Для обеспечения качественного систематического наблюдения за техническим состоянием зданий и сооружений и их отдельных элементов собственник или уполномоченным их орган (далее – собственник) на предприятиях, учреждениях, организаций независимо от форм собственности видов их деятельности должен создать службу наблюдения за эксплуатацией зданий и сооружений, назначить ответственных за правильную эксплуатацию, сохранность и своевременность ремонтов зданий или сооружений.

Служба наблюдения входит в структуру предприятия, учреждения, организации, как одна из основных производственно-технических служб и обеспечивает нормальную эксплуатацию зданий, сооружений и средств технологического оснащения:

- надзор за состоянием строительных конструкций производственных зданий и сооружений, конструкциями каналов и тоннелей межцехового и общезаводского назначения, недопущение перегрузок, своевременная очистка строительных конструкций и кровель от технологической пыли, снега, льда; поддержание исправного состояния водостоков кровель, гидроизоляции подземных сооружений, дымовых труб и осветительных мачт;
- надзор за техническим состоянием и безопасной эксплуатацией грузоподъемных машин, кранов, подъёмников (автовышек), съёмных грузозахватных органов и приспособлений, тары, люлек для подъема людей, подкрановых путей путем проведения технических освидетельствований и периодических обследований;
- надзор за соблюдением требований при эксплуатации паровых и водогрейных котлов, сосудов, работающих под давлением, а также трубопроводов пара и горячей воды.

Служба по наблюдению за эксплуатацией зданий и сооружений в зависимости от численности работающих может функционировать, как самостоятельное структурное подразделение, либо ее функции могут возлагаться на отдел капитального строительства, строительную группу, а также на соответствующие эксплуатационные службы: отдел главного энергетика, механика и др.

Служба по наблюдению за зданиями и сооружениями комплектуется специалистами, имеющими высшее образование и стаж работы по профилю производства не менее 3 лет. Проверка знаний по вопросам безопасной эксплуатации зданий и сооружений работников службы по наблюдению за зданиями и сооружениями производится в установленном порядке до начала исполнения ими своих функциональных обязанностей и периодически один раз в три года.

Работники службы по наблюдению за эксплуатацией зданий и сооружений имеют право выдавать руководителям предприятий,

учреждений, организаций и их структурных подразделений обязательные для исполнения предписания по устранению выявленных повреждений. Если здание, отдельная его часть или отдельные его конструкции и их элементы находятся в аварийном состоянии (значения отклонений, при которых невозможна дальнейшая безопасная эксплуатация зданий и сооружений собственник объекта должен приостановить работу предприятия, участка, обеспечить вывод людей из опасной зоны.

2.2. Методы технического освидетельствования конструкций

Техническое освидетельствование состояния зданий (сооружений) осуществляется путем объединения взаимосогласованных и взаимодополняемых обследуемых, расчетных и аналитических процедур, перечень и полнота которых в каждом конкретном случае уточняется специализированной организацией, которая проводит обследования.

При разработке программы визуальных и инструментальных обследований устанавливается такой объем и порядок обследуемых процедур, при котором из минимального объема обследовательской работы (в особенности инструментальных обследований и лабораторных определений) можно получить максимально полную информацию о неисправностях, дефектах и повреждении конструкции.

Согласно нормативным документам и в соответствии с ГОСТ 27751-88 в зависимости от способности конструкций выполнять служебные функции, предусмотренные нормативной и проектной документацией техническое состояние конструкций может быть классифицировано:

- исправное – при выполнении всех требований, норм и государственных стандартов;
- работоспособное – при частичном отступлении от требований проекта и действующих норм, но без нарушения требований предельных состояний первой группы, а также при нарушении требований второй группы, не ограничивающих нормальное функционирование производства;
- ограниченно работоспособное – состояние, при котором обеспечение технологического процесса осуществляется при контроле над состоянием конструкций; ограничение продолжительности эксплуатации и ограничение параметров технологического процесса.
- аварийное – при имеющихся нарушениях требований первой группы предельных состояний.

При визуальном обзоре следует руководствоваться положениями, согласно которым наиболее вероятные участки повреждений конструкций в производственных зданиях (сооружениях) наблюдаются:

- для фундаментов – в зонах складирования максимальных грузов; возле очень нагруженных колонн, стен, фундаментов, опор; в местах увлажненных грунтов; в местах возможных вибрационных или ударных нагрузок;
- для фундаментов – в зонах увлажненных грунтов в особенности агрессивными жидкостями; в зонах действия вибраций, ударных нагрузок, пригрузжений; при сооружении сложных пристроек; при обустройстве около расположенных котлованов; при неблагоустроенных водоотливе и водопонижении;
- для колонн – в наиболее напряженных зонах стыка с фундаментом, возле консолей, в стыках сборных колонн по высоте, близ пола, где возможное попадание агрессивной жидкости или механическое повреждение

транспортом и погрузо-разгрузочными средствами, в узлах стыковки с ригелями перекрытий и покрытий;

- для ригелей и плит перекрытий – в зоне действия максимальных изгибающих моментов, поперечных сил, передачи сосредоточенных усилий, действия вибрационных и ударных нагрузок, агрессивных жидкостей, газов, пыли, в местах стыковки;

- для покрытий – в местах повышенного увлажнения и повреждений со стороны помещений и накоплений технологической пыли, на участках с повышенной плотностью или насыщенного влагой утеплителя;

- для стен – в местах повышенного увлажнения с замораживанием и оттаиванием, в стыках панельных стен, в примыкании к полу и перекрытию.

К наиболее характерным дефектам и повреждениям конструкций, которые необходимо обнаружить при визуальном обзоре, относятся:

- дефекты, которые связанные с недостатками проекта (несоответствие расчетной схемы действительным условиям, отклонения от норм проектирования);

- дефекты изготовления конструкций, допущенные на заводах-изготовителях;

- дефекты монтажа конструкций и возведения зданий (сооружений);

- механические повреждения от нарушения условий эксплуатации;

- повреждения от непредвиденных проектом статических, динамических, температурных влияний;

- повреждения от внешних агрессивных влияний режима эксплуатации и окружающей среды.

Наиболее общей причиной возникновения дефектов и повреждений является несовершенство методик проектирования, нарушения норм и правил эксплуатации.

Основные повреждения определяются:

- ошибками проектирования, связанными с определением нагрузок, расчетных схем и внутренних усилий, неправильным подбором сечений и сопряжений элементов и узлов;

- отличием фактического напряженного состояния от расчетного, а также недостаточной изученности действительной работы конструкций и характера воздействий;

- пониженными прочностными характеристиками основного и наплавленного металла, наличием дефектов, приводящим к концентрации напряжений и способствующих усталостному разрушению;

- произвольным изменением сечений элементов, размеров сварных швов, количества заклепок и болтов при изготовлении и монтаже по сравнению с проектным;

- повреждениям от температурных воздействий в наибольшей недопустимой перегрузкой конструкций при эксплуатации;

- нарушениями в процессе монтажа и эксплуатации взаимного расположения конструкций (смещение прогонов, эксцентриситет и перепады в стыках подкрановых рельсов и т.п.), которые приводят к появлению значительных дополнительных, не учитываемых расчетом, нагрузок и динамических воздействий;

- нарушениями правил технической эксплуатации: ударами транспортируемых грузов; использованием конструкций для подвески блоков и опирания домкратов, для подъема и перемещения грузов при ремонтах без соответствующего расчета и необходимого усилия; вырезка отверстий в элементах конструкций для пропуска коммуникаций, удаление связевых элементов и т.д.

Нередко повреждения от силовых воздействий связаны с неудачным конструктивным решением узлов.

Для конструкций, подвергающихся воздействиям подвижных динамических нагрузок – подкрановых балок (особенно при кранах тяжелого и весьма тяжелого режимов работы), балок рабочих площадок, расположенных под путями железнодорожного транспорта, завалочных машин – характерны усталостные повреждения, проявляющиеся в виде трещин в основном металле, сварных швах и околошовной зоне и разрушений болтовых и заклепочных соединений.

Значительные повреждения металлических конструкций возникают при нарушении правил технической эксплуатации зданий и сооружений:

- термическим воздействиям подвержены элементы, расположенные вблизи от источников тепловыделений. В горячих цехах при измерении температуры появляются значительные температурные перемещения, приводящие к отклонению конструкций от проектного положения. При наличии связей, препятствующих свободным перемещениям, в элементах конструкций возникают дополнительные напряжения, имеющие циклический характер. При определенных условиях эти напряжения могут привести к искривлению элементов или появлению трещин. При нагреве стальных конструкций до 100°С разрушается защитное покрытие, при 300 – 400°С происходит коробление элементов, особенно тонкостенных;

- коробление и пережог элементов перекрытий и нижних частей колонн из-за пролива расплавленного металла;

- повреждения от воздействия низких температур возникают в открытых сооружениях и неотапливаемых зданий. К таким повреждениям относятся хрупкие трещины в местах концентрации напряжений (сварные швы, резкие изменения сечений, фасонка ферм и т.д.). Особо подвержены хрупким разрушениям конструкции, выполненные из кипящих сталей;

- повреждения от воздействия агрессивных сред проявляются в виде разрушения защитных покрытий и коррозии металла.

Дефекты и повреждения противокоррозионной защиты проявляются в виде шелушения, отслаивания, пор, трещин и других нарушений защитных покрытий.

Повреждения металла возникают вследствие химической и электрохимической коррозии. Для стальных конструкций производственных зданий характерна электрохимическая коррозия. Коррозионные повреждения металла подразделяются на общие, равномерные или неравномерные по площади поверхности и местные в виде отдельных питтингов, язв, сквозных поражений. Местные коррозионные повреждения возникают при локальных воздействиях; например, при протечках кровли, нарушении герметичности трубопроводов и т.д.

Классификационные признаки технического состояния конструкций на основании данных визуального контроля представлены в табл. 2.2.

Признаки визуальной оценки категорий технического состояния стальных конструкций

Таблица 2.2

Категория технического состояния	Детальные признаки
1	2
РАБОТОСПОСОБНОЕ (I–II)	Окраска или другая противокоррозионная защита частично или полностью разрушена; коррозионный износ не опасен и не отражается на несущей способности конструкций. Геометрические отклонения превышают допуски СНиПа, но это не сказывается на эксплуатационной надежности конструкций. Имеются отдельные ослабления болтовых и заклепочных соединений. Общие и местные деформации незначительны. Дефекты и повреждения местного характера, которые при последующем развитии не могут оказать влияния на другие элементы и конструкции (повреждения вспомогательных элементов, лестниц и площадок, местные деформации и вмятины недонапряженных конструкций и т.д.). Общий износ конструкций составляет 10%.

Продолжение табл. 2.2

1	2
ОГРАНИЧЕННО РАБОТОСПОСОБНОЕ (III)	Часть конструкций (не более 20%) имеет существенные дефекты, подверглась значительному коррозионному износу (до 30%). Отдельные элементы ферм и связей имеют деформации, требуют усиления. Повреждены некоторые из подкрановых конструкций. Отдельные связи по фермам удалены или вырезаны. Отсутствуют связи по колоннам. Дефекты и повреждения особо ответственных элементов и соединений представляют непосредственную опасность разрушения (сквозные трещины или разрывы элементов, потеря устойчивости основных элементов, срез сварных швов, болтов или заклепок и т.д.). Количество таких повреждений и дефектов составляет 10%. Эксплуатация возможна только при наличии обследований специализированной организацией, имеющей лицензию на выполнение данных работ, и срочного выполнения мероприятий, предусмотренных обследованием.
ПРЕДАВАРИЙНОЕ И АВАРИЙНОЕ СОСТОЯНИЕ (IV)	Работоспособность конструкций утрачена. Дефекты и повреждения особо ответственных элементов и соединений представляют непосредственную опасность разрушения (сквозные трещины или разрывы элементов, потеря устойчивости основных элементов, срез сварных швов, болтов или заклепок и т.п.). Количество таких повреждений и дефектов составляет 30 %. Кроме того, наблюдаются существенные деформации и повреждения сжатых элементов решетки и поясов ферм, обнаруживаются усталостные и хрупкие трещины в основных несущих элементах. Отмечаются признаки перегрузки конструкций, выражающиеся в обрыве креплений. Исчезает упругость элементов, резко растут остаточные (пластические) деформации. Необходимо произвести срочное обследование с привлечением специализированной организации.

Для уточнения характеристик нагрузок и воздействий, материалов и конструкций, их отклонений от проектных и нормативных значений, при техническом освидетельствовании конструкций необходимо пользоваться приспособлениями и инструментами следующих видов:

- приспособления и инструменты для измерения линейных параметров и деформаций;
- приспособления для исследования коррозионного состояния строительных конструкций;
- приспособления для уточнения характеристик строительных конструкций и их элементов;
- геодезические инструменты и приспособления.

Рекомендуемый перечень инструментов и приспособлений приведен в табл. 2.3.

Приспособления и инструменты для проведения обследований и оценки технического состояния зданий (сооружений)

Таблица 2.3

Наименование, марка, тип	ДСТУ, ГОСТ	Примечания
Приспособления и инструменты для измерения линейных параметров и деформаций, визуальное обследование		
Линейка измерительная металлическая	ГОСТ 427-75	Измерения линейных размеров конструкций, поверхностей, зон разрушений, трещин и др.)
Штангенциркуль	ГОСТ 166-89	
Рулетка измерительная металлическая	ГОСТ 7502-89	
Глубиномеры индикаторные	ГОСТ 7661-67	
Индикаторы ИЧ	ГОСТ 577-68	
Прогибомеры 6ПАО		
Тензометрическая станция ИДУ-1		
Измерители внутренних параметров, микроскопические	ГОСТ 10-88	
Микроскоп счетный МПБ-2		
Лупа	ГОСТ 25706-83	
Щелемеры и щупы	ГОСТ 882-75	
Измерители толщин и стенок индикаторные с ценой деления 0,01 и 0,1 мм	ГОСТ 11358-89	
Бинокль ×8; ×12	ГОСТ 7048-81	

Продолжение табл. 2.3

Наименование, марка, тип	ДСТУ, ГОСТ	Примечания
Приспособления для исследования коррозионного влияния на строительные конструкции		
Устройства для рентгеновского анализа УРС-50К; УРС-50 ИМ; ДРОН-1		Анализ веществ, конструкций материалов и коррозионных повреждений
Хроматограф аналитический газовый	ГОСТ 26703-93	
Газоанализатор переносной типа УГ-2; ХГ	ГОСТ 25615-83	
Устройство ЭСМП-1		Определение адгезии металлических поверхностей
Устройство МГ40НЦ		Измерения защитных покрытий
Устройства АКД-1; ДЭП-1; ДЭП-2		Оценка цельности покрытия
Термометры метеорологические стеклянные	ГОСТ 112-78 Е	Измерения температуры
Термометры стеклянные ртутные	ГОСТ 13646-68 Е	
Анемометр ручной со счетным механизмом	ГОСТ 6376-74	Измерения движения ветра и газов
Анемометр ручной индукционный	ГОСТ 7193-74	
Приспособления для уточнения характеристик бетонных и железобетонных конструкций		
Устройство КМ для метода отскока	ГОСТ 22690-88	Определение прочности бетона механическими методами неразрушающего контроля
Молоток Кашкарова		
Склерометр ПМ-2		
Склерометр Ц-22		
Устройство для метода отрыва ГПНВ-5		
Устройство для метода скалывания ребра ГПНС-4		Ультразвуковой метод определения прочности бетона
УК-14П	ГОСТ 17264-87	
УК-10П		
УФ-57 СК		

Продолжение табл. 2.3

Наименование, марка, тип	ДСТУ, ГОСТ	Примечания
Устройство для поверхностного прозвучивания УППР-2		
Измеритель защитного слоя ИЗС-10Н	ДСТУ Б В.2.6-4-95	Определение толщины защитного слоя бетона, распределения и диаметров арматуры
Геодезические приспособления		
Нивелиры 2НЗЛ; НЗКЛ; Н2КЛ; 2Н10КЛ; Н-0,5	ГОСТ 10528-90	Измерения высотных показателей элементов конструкций
Теодолиты 3Т2КП; 3Т2КА; 3Т5КП; 2Т30П; Т5Э	ГОСТ 10529-86	Измерения угловых показателей элементов конструкций
Светодальномер БЛЕСК-2; БЛЕСК	ГОСТ 19223-90	Измерения расстояний
Устройства для эндоскопического обследования конструкций		
Эндоскопы ЭПВ 10.750; ЭПВ 10.1300	ТУ25-06.1986-82	Прямое направление наблюдения жесткой конструкции
ЭВГ 10.750; ЭВГ10.1300		Прямое направление наблюдения гнутой конструкции
ЭВГ 6,5.750.90	ТУ25-06.1938-82	Боковое направление наблюдения гнутой конструкции
ЭЛЖ 6,5550.90; ЭЛЖ 1 (ТС 16.740.90)		Жесткая конструкция, боковое направление

Инструменты и приспособления, используемые при техническом освидетельствовании конструкций должны проходить тарировку и освидетельствование в установленном порядке.

2.3. Количественная оценка и предельные значения дефектов и повреждений

В процессе технического освидетельствования конструкций с дефектами или повреждениями необходимо учесть резервы несущей способности за счет уточнения расчетной схемы свойств материала, нагрузок и т.п. Результаты обследования режима эксплуатации, количественные характеристики несовершенств конструктивной формы, выявленные в процессе осмотра и инструментального контроля, являются исходным материалом для выполнения проверочных расчетов конструкций с дефектами или повреждениями.

Уточнение характеристик материалов. Выбор и назначение расчетных характеристик стали при проектировании новых конструкций производится на основании действующих стандартов, которые устанавливают величины расчетных характеристик на основании статистической обработки результатов выборочных испытаний образцов на металлургических заводах. Таким образом, нормативные значения расчетных сопротивлений по пределу текучести $R_{\text{уп}}$ и пределу прочности $R_{\text{уп}}$ являются величинами, характеризующими некую вероятностную гарантию того, что фактическое сопротивление материалов будет не ниже нормированного. Так как распределение случайных величин пределов текучести и временного сопротивления разрыву подчиняется нормальному закону, то при принятой норме обеспеченности фактические расчетные характеристики стали существующих конструкций в большинстве случаев превышают нормативные. При установлении расчетных сопротивлений в СНиП II-23-81* принята нормированная обеспеченность 0,995, которая подтверждается для всех видов проката по ГОСТ 277720-88* данными сертификатов.

В условиях эксплуатации и реконструкции необходимо уточнить характеристики стали для каждой конструкции или конструктивных массивов. Такой подход, как показывают результаты массовых обследований позволяет вскрыть значительные резервы несущей способности конструкций.

Основными свойствами стали, важными с точки зрения ее работы в строительных металлических конструкциях являются:

- прочность;
- пластичность;
- склонность к хрупкому разрушению;
- усталостная прочность;
- свариваемость.

Значимость тех или иных свойств зависит от конкретных условий работы конструкций. Так, при эксплуатации конструкций при пониженных температурах особую важность приобретает склонность стали к хрупкому разрушению. Для подкрановых балок одними из основных являются характеристики усталостной прочности.

Свойства стали могут быть установлены на основании испытаний, проведенных по прямой методике – путем исследования проб и образцов, взятых из конструкций, и косвенной – путем использования неразрушающих методов контроля. Прямые методы дают более точные результаты, однако, обладают значительной трудоемкостью исследований. Неразрушающие методы менее точны, но не требуют ослабления конструкций вырезами и отверстиями. Они не требуют сложного лабораторного оборудования, просты в применении и дают быстрые результаты.

Качество стали конструкций определяется путем механических испытаний образцов, химическим и металлографическим их анализами.

Испытание материала стальных конструкций производится:

- при отсутствии сертификатов, недостаточной или неполной информации, приводимой в сертификатах;
- при обнаружении в элементах конструкций повреждений, особенно в виде трещин;
- если установленная по чертежам марка стали не соответствует требованиям норм.

При лабораторных испытаниях определяют:

- предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение;
- ударную вязкость стали по ГОСТ 9454-78* для конструкций, для которых это необходимо по СНиП 11-23-81*.

При механических испытаниях образцов руководствуются указаниями ГОСТ 1497-84 и 9454-78 и СНиП 11-23-81*.

Химический состав стали определяют на основе химического или спектрального анализа; структуру стали – в необходимых случаях (неизвестная сталь, многолетняя эксплуатация и пр.) – на основе металлографического анализа; наличие и характер включений и микротрещин – по ГОСТ 10243-75 и 5639-82.

На основании лабораторных испытаний стали определяют ее марку в соответствии с требованиями соответствующих ГОСТов.

Уточнение нагрузок и воздействий. Уточнение нагрузок и воздействий на строительные конструкции на основании анализа конкретных условий эксплуатации производится с целью выявить:

- фактические величины действующих нагрузок и воздействий;
- соответствие характера и величины фактических нагрузок проектным;
- соответствие нагрузок действующим нормативным документам;
- наличие нагрузок и воздействий, не учтенных при проектировании;
- возможные изменения нагрузок;
- изменение интенсивности воздействий (в том числе динамических) на обследуемые конструкции.

В необходимых случаях фактические нагрузки и воздействия уточняются экспериментально по специально разработанным методикам.

Данный раздел содержит рекомендации по уточнению следующих нагрузок и воздействий:

- нагрузки от собственного веса конструкций, оборудования и пыли;
- нагрузки от людских потоков;
- нагрузки от снега;
- ветровые нагрузки;
- нагрузка от мостовых кранов.

Следует иметь в виду, что данный перечень не исчерпывает все возможные виды нагрузок и воздействий, которые могут быть уточнены при натурных обследованиях.

Оценка характера и степени развития несовершенств. Оценка технического состояния стальных конструкций производится на основе определения:

- отклонений фактических размеров поперечных сечений элементов от проектных;

- дефектов и механических повреждений;
- состояния сварных, болтовых и заклепочных соединений;
- степени и характера коррозии элементов и соединений;
- отклонения элементов от проектного положения, расстояния между осями ферм, прогонами, отметок опорных узлов и ригелей и т.п.;
- прогибов и деформаций.

Определение геометрических параметров элементов конструкций и их сечений производится путем непосредственных измерений.

Каждый размер уточняется по защищенной поверхности тремя измерениями в разных сечениях по длине элемента.

Определение ширины и глубины раскрытия трещин в элементах конструкций производится путем осмотра с использованием лупы с 6–8-кратным увеличением или микроскопа.

Признаками наличия трещин могут быть подтеки ржавчины, выходящие на поверхность металла и шелушение краски.

Основными дефектами и повреждениями стальных конструкций, которые выявляются при визуальных натурных обследованиях, являются:

- в элементах конструкций – выпучивания, прогибы (отдельных элементов и всей конструкции), винтообразность элементов, местные прогибы, вмятины, вогнутость узловых фасонок, коррозия основного металла и металла соединений, отклонения от вертикали, трещины (рис. 2.2);
- в сварных швах – дефекты формы шва (неполномерность, резкие переходы от основного металла к наплавленному, наплывы, неравномерная ширина шва, кратеры, перерывы) и дефекты структуры шва (трещины в околошовной зоне, подрезы основного металла, непровары по кромкам и по сечению шва, шлаковые или газовые включения или поры);
- в заклепочных соединениях – зарубки, смещения с оси стержней заклепок, косая заклепка, трещиноватость или рябина заклепки, зарубки

металла отжимкой, неплотные заполнения отверстий телом заклепки, овальность отверстий, смещение осей заклепок от проектного положения, дрожание и подвижность заклепок, отрыв головок, отсутствие заклепок, неплотное соединение пакета;

- в болтовых соединениях – отсутствие болтов, отсутствие клейм на головках болтов, неровные края отверстий, подвижность гаек, неплотное соединение пакета, смещение осей от проектного положения, отсутствие шайб и т.д.



Рис. 2.2. Трещина в основном металле опорной фасонки стропильной фермы

Обследование сварных соединений является наиболее ответственной операцией, так как сварной шов и околошовная зона могут быть наиболее вероятными очагами возникновения коррозии и трещин.

Обследование сварных швов включает следующие операции:

- очистку от грязи и шлака и внешний осмотр с целью обнаружения трещин и других повреждений;
- определение размеров катетов шва.

Скрытые дефекты швов обнаруживаются с помощью простукивания шва молотком, при этом доброкачественный шов издает такой же звук, как и основной металл; глухой звук указывает на наличие дефекта.

Выявление повреждений заклепочных и болтовых соединений производится внешним их осмотром и простукиванием молотком. При ударе слабая заклепка или болт издает глухой или дребезжащий звук, приложенный к ним палец ощущает дрожание.

Высокопрочные болты отличаются обязательным наличием специальных клейм и шайб под каждой головкой.

Контроль натяжения болтов осуществляется закручиванием тарировочным ключом. Разболчивание соединений не допускается.

При обследовании отдельных стальных конструкций необходимо учитывать их вид, особенности и условия эксплуатации.

Несущие конструкции покрытия. При обследовании конструкций покрытий следует особое внимание обратить на:

- трещины в стыковых накладках и узловых фасонная поясов стропильных и подстропильных ферм, особенно растянутых элементов;
- криволинейность поясов и элементов решетки ферм, особенно сжатых элементов, остаточные прогибы ферм;
- состояние узлов ферм, особенно опорных, влияние трещин в фасонках узлов, имеющих стержни с большими растягивающими усилиями;
- наличие эксцентриситетов в передаче нагрузки на узлы ферм (смещение прогонов или плит с осей узлов, подвеска грузов вне узлов и др.);
- отклонения плоскости ферм от вертикали;
- состояние узлов примыкания связей к фермам, наличие поперечных сварных швов на растянутых элементах ферм в месте крепления фасонок связей;
- качество крепления элементов кровли или прогонов к верхним поясам ферм, наличие в прогонах искривлений, закручивания, разрывов тяжелей;
- смещение фонарей с осей ферм, искривление их элементов, состояние болтовых соединений.

Колонны и связи по колоннам. При обследовании колонн и связей по колоннам необходимо уделять особое внимание:

- соответствию геометрических форм колонн и их положений проектным;
- неравномерным осадкам и поворотам колонн;
- повреждениям колонн механическими воздействиями (прогибы, вмятины, искривление поясов и элементов решетки и др.) от технологических факторов и на участках складирования материалов;
- дефектам стыковых соединений колонн, качеству сварных швов, искривлениям ветвей связей и элементов соединительной решетки;
- соединению узлов примыкания связей к колоннам, разрывам или искривлениям фасонок или разрушениям по сварным швам;
- состоянию анкерных креплений колонн в фундаментах;
- состоянию узлов опирания подкрановых балок на консоли и траверсы колонн;
- трещинам в основном металле или сварных соединениях к в местах крепления подкрановых балок и тормозных конструкций к колоннам;
- повреждениям элементов коррозией.

Подкрановые конструкции. Опыт эксплуатации и натурные обследования показывают, что уже после 4-6 лет эксплуатации в подкрановых путях появляются первые повреждения: расстраиваются крепления подкрановых и тормозных балок к колоннам, а также соединения их между собой, появляются трещины в сварных швах и стенке около верхнего пояса балок; в клепаных балках ослабляются заклепки верхнего и нижнего поясов и появляются трещины в уголках.

При обследовании подкрановых конструкций необходимо обратить особое внимание на:

- дефекты сварных подкрановых балок, в частности, состояние швов верхних поясов и у торцов балок, прогибы и деформации балок, состояние ребер жесткости балок и стенок балок;
- выполнение требований к качеству и расположению заводских стыковых швов поясов и стенок балок. В неразрезных балках особое внимание уделяется швам в монтажных стыках;
- местные прогибы и искривления элементов, наличие грибовидности поясов, погнутости их между ребрами жесткости;
- состояние тормозных конструкций, узлов их примыкания к колоннам;
- узлы соединения балок между собой на опорах;
- состояние крепления рельса к подкрановым балкам, ослабление и разрушение крючьев и болтов, прижимных планок и т.п.

Прочие конструкции. При обследовании прочих конструкций устанавливают: состояние узлов сопряжения главных и второстепенных балок с колоннами, состояние стоек, связей и других конструкций.

При детальном обследовании спальных конструкций производится:

- инструментальное измерение выявленных при визуальном обследовании дефектов с определением прогибов конструкций, раскрытия трещин, смещения опорных узлов, отклонений конструкций от вертикали и др.;
- оценка коррозионной поврежденности конструкций;
- инструментальное обследование сварных, заклепочных и болтовых соединений;
- определение физико-механических характеристик стали.

Дефекты и повреждения стальных конструкций в зависимости от их вида, характеристики, местоположения разделены на группы:

- 1 – ослабление поперечного сечения, разрыв или отсутствие элемента;
- 2 – трещины в основном металле или околошовной зоне;
- 3 – трещины в сварных швах;
- 4 – дефекты сварных швов или отсутствие шва;
- 5 – общее искривление;
- 6 – местные искривления или вмятины;
- 7 – ослабление или отсутствие болтов и заклепок;
- 8 – дефекты заклепок;

9 – смещение относительно проектного положения;

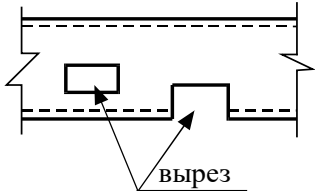
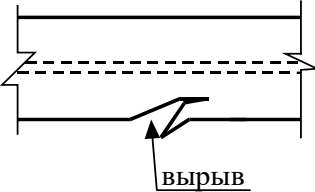
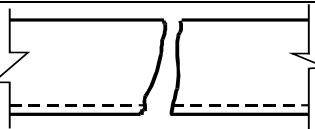
10 – зазоры в местах сопряжения элементов или конструкций;

11 – коррозионные повреждения и разрушение защитных покрытий;

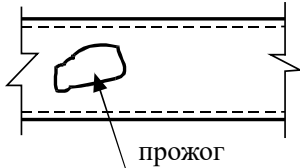
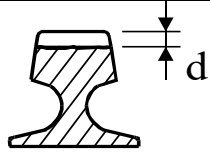
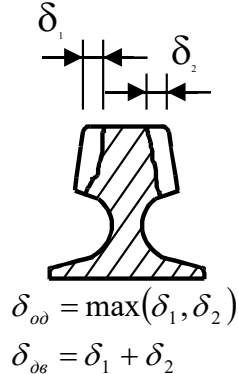
12 – прочие дефекты и повреждения.

При заполнении эксплуатационных или других технических документов рекомендуется ссылаться на указанные группы и номера внутри группы (табл. 2.4).

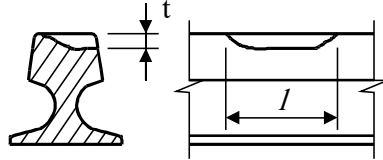
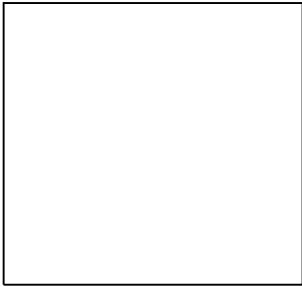
Таблица 2.4

Группа	Номер внутри группы	Наименование дефекта (повреждения)	Эскиз	Предельно допустимые значения параметров при		Примечания
				принятии в эксплуатацию	в условиях эксплуатации	
1	2	3	4	5	6	7
1	1	Вырез в элементе конструкции		Не допускается	Проверяется расчетом	
	2	Вырез в элементе конструкции		Не допускается	Проверяется расчетом	
	3	Отсутствие элемента	-----	Не допускается	Не допускается	
	4	Разлом (излом) элемента		Не допускается	Не допускается	

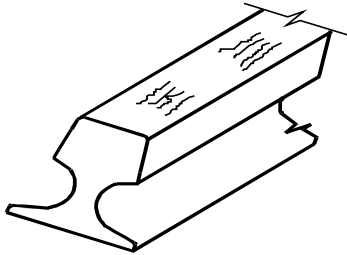
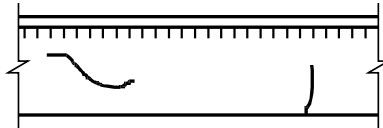
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	5	Прожег отверстия в элементе конструкции		Не допускается	Проверяется расчетом	
	6	Вертикальный износ головки рельса		Не допускается	$d \leq 6 \text{ мм}$ $d \leq 7 \text{ мм}$ $d \leq 10 \text{ мм}$ $d \leq 12 \text{ мм}$	для КР 70 для КР 80 для КР 100 для КР 120
	7	Боковой односторонний и двусторонний износ головки рельса		Не допускается	$\delta_{од} \leq 15 \text{ мм}$ $\delta_{ов} \leq 20 \text{ мм}$ $\delta_{од} \leq 18 \text{ мм}$ $\delta_{ов} \leq 22 \text{ мм}$ $\delta_{од} \leq 25 \text{ мм}$ $\delta_{ов} \leq 30 \text{ мм}$ $\delta_{од} \leq 25 \text{ мм}$ $\delta_{ов} \leq 32 \text{ мм}$	для КР 70 для КР 80 для КР 100 для КР 120

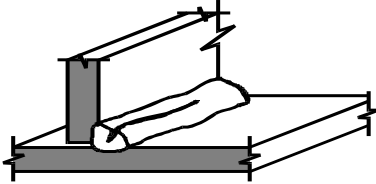
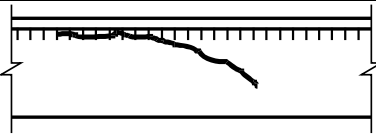
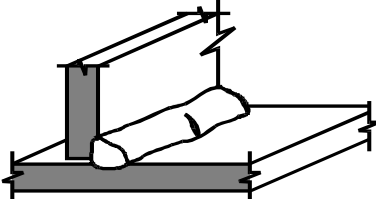
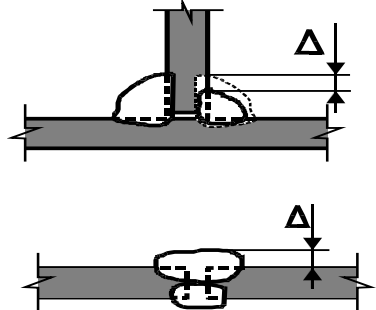
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	8	Приведенный износ головки рельса	См. 1.6 и 1.7 $D = d + \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$	Не допускается	$D \leq 6 \text{ мм}$ $D \leq 7 \text{ мм}$ $D \leq 10 \text{ мм}$ $D \leq 12 \text{ мм}$	для КР 70 для КР 80 для КР 100 для КР 120
1	9	Выбоины или выкрошивание на поверхности катания головки рельса		Не допускается	$t \leq 4 \text{ мм}$ $l \leq 60 \text{ мм}$ $t \leq 4 \text{ мм}$ $l \leq 80 \text{ мм}$ $t \leq 5 \text{ мм}$ $l \leq 100 \text{ мм}$ $t \leq 7 \text{ мм}$ $l \leq 120 \text{ мм}$	для КР 70 для КР 80 для КР 100 для КР 120
	10	Сколы и изломы в подошве рельса				

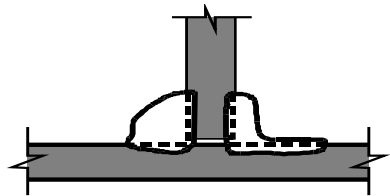
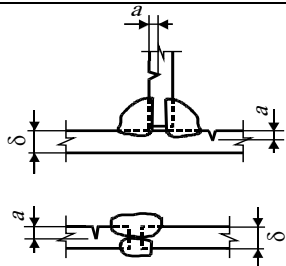
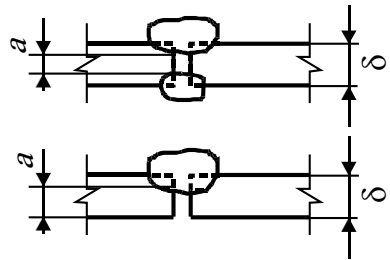
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
1	11	Короткие волнообразные неровности (рифли) на поверхности катания головки рельса		Не допускается	Не допускается	
2	1	Трещины в основном металле элемента конструкции		Не допускается	Не допускается	
	2	Расслоение металла	-----	Не допускается	Не допускается	
	3	Поперечная трещина в головке рельса	-----	Не допускается	Не допускается	
	4	Продольная трещина в головке рельса	-----	Не допускается	Не допускается	
	5	Продольная трещина в шейке рельса	-----	Не допускается	Не допускается	
	6	Трещина в подошве рельса	-----	Не допускается	Не допускается	

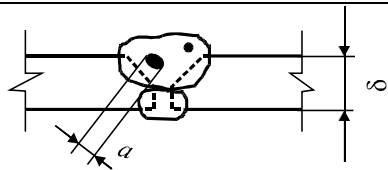
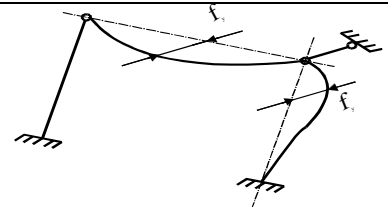
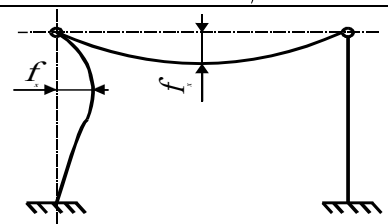
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
3	1	Продольная трещина в сварном шве		Не допускается	Не допускается	
	2	Продольная трещина в сварном шве с выходом на основной металл		Не допускается	Не допускается	
	3	Поперечная трещина в сварном шве		Не допускается	Не допускается	
4	1	Неполномерность швов при ручной или механической сварке		$0 \leq \Delta \leq 2\text{мм}$	Проверяется расчетом	

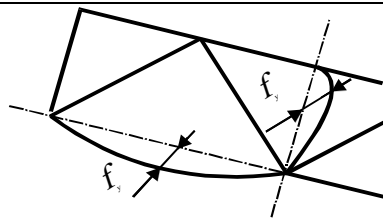
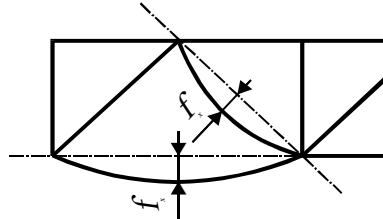
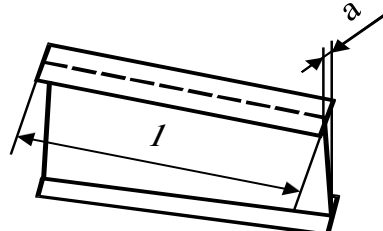
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
4	2	Наплывы при ручной или механической сварке		См. примечание	См. примечание	Необходимость устранения дефекта определяется с учетом фактических размеров шва
	3	Подрезы основного металла		$a \leq 0,5\text{мм}$ $a \leq 1\text{ мм}$ $a \leq 0,03\delta$	$a \leq 0,5\text{мм}$ $a \leq 0,03\delta$	При $\delta \leq 20\text{ мм}$ При $\delta > 20\text{ мм}$
4	4	Непровар в конце шва		$a \leq 0,05$ $a \leq 2\text{мм}$	$l_{wd} \leq 50\text{мм}$ $a \leq 0,15\delta$ $a \leq 3\text{ мм}$	При двусторонней сварке При односторонней сварке и $\delta \leq 20\text{мм}$ То же, при $\delta > 20\text{мм}$

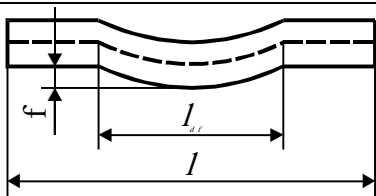
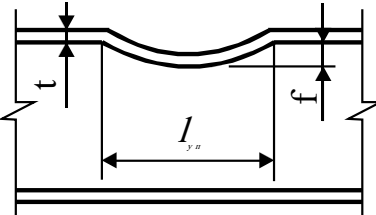
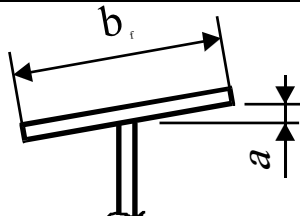
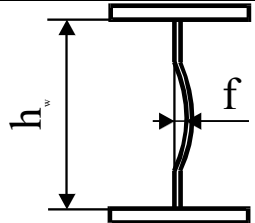
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	5	Отдельные шлаковые включения или поры		$a \leq 1 \text{ мм}$ $a \leq 3 \text{ мм}$		При $\delta \leq 20 \text{ мм}$ При $\delta > 20 \text{ мм}$
	6	Прожоги сварного шва	----	Не допускается	Не допускается	
	7	Отсутствие сварного шва	----	Не допускается	Не допускается	
	8	Срез сварного шва	----	Не допускается	Не допускается	
5	1	Общий выгиб конструкции из плоскости рамы		$\frac{f_y}{l} \leq \frac{1}{750}$ $f_y \leq 15 \text{ мм}$	Проверяется расчетом	L – длина изогнутой конструкции
5	2	То же, в плоскости рамы		$\frac{f_x}{l} \leq \frac{1}{750}$ $f_x \leq 15 \text{ мм}$	Проверяется расчетом	L – длина изогнутой конструкции

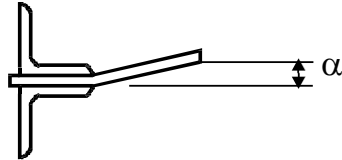
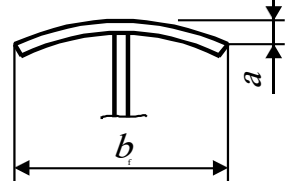
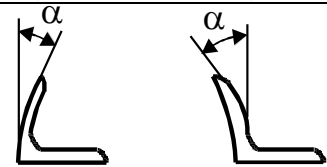
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	3	Выгиб отдельного элемента из плоскости конструкции		$\frac{f_y}{l} \leq \frac{1}{750}$ $f_y \leq 15\text{мм}$	Проверяется расчетом	
	4	То же, в плоскости конструкции		$\frac{f_x}{l} \leq \frac{1}{750}$ $f_x \leq 15\text{мм}$	Проверяется расчетом	
	5	Винтообразность элемента		$\frac{a}{l} \leq 0,001$ $a \leq 10\text{мм}$	$\frac{a}{l} \leq 0,005$ $a \leq 20\text{мм}$	
5	6	Искривление оси кранового рельса	-----	Стрелка не более 20 мм на длине участка 40 м	Стрелка не более 20 мм на длине участка 40 м	

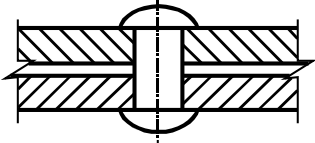
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
6	1	Погнутость элемента		$f \leq \frac{l_{df}}{750}$	Проверяется расчетом	
	2	Погнутость полок элемента или вмятина в полке		$f \leq 0,4t$ $f \leq 2t$	$f \leq 0,6t$ $f \leq 3t$	Сжатая полка Растянутая полка
	3	Перекося полки таврового или двутаврового элемента		$a \leq 0,005b_f$ $a \leq 0,01b_f$	$a \leq 0,01b_f$ $a \leq 0,02b_f$	В местах примыкания В прочих места
6	4	Выгнутость стенки балки без ребер жесткости		$f \leq 0,003h_w$	$f \leq 0,01h_w$	

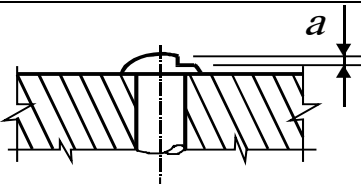
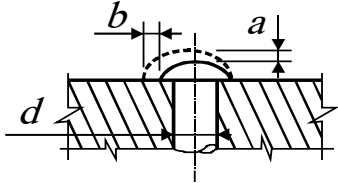
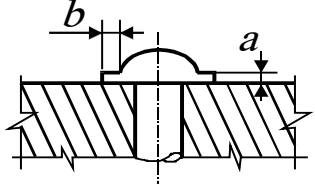
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	5	То же, с вертикальным ребром жесткости	----//----	$f \leq 0,006h_w$	$f \leq 0,015h_w$	
	6	Погнутость узловой фасонки		$\operatorname{tg} \alpha \leq 0,01$ $\operatorname{tg} \alpha \leq 0,01$	$\operatorname{tg} \alpha \leq 0,01$ $\operatorname{tg} \alpha \leq 0,02$	При примыкании сжатого элемента В остальных случаях
	7	Грибовидность полок тавровых или двутавровых элементов		$a \leq 0,005b_f$ $a \leq 0,01b_f$	$a \leq 0,01b_f$ $a \leq 0,02b_f$	В местах примыкания В прочих местах
	8	Смалковка или размалковка уголков		$\alpha \leq 5^{\circ}$	$\alpha \leq 10^{\circ}$	
6	9	Погнутость болтов крепления крановых рельс	-----	Не допускается	Не допускается	
	10	Погнутость фундаментных болтов	-----	Не допускается		

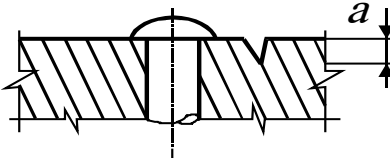
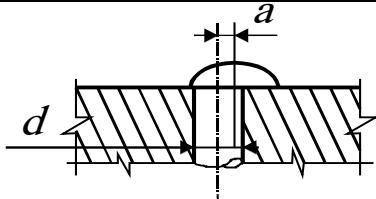
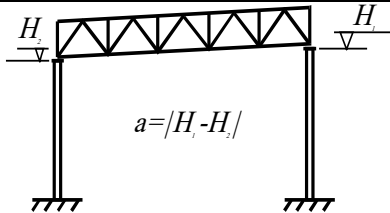
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
7	1	Отсутствие болтов или заклепок	-----	Не допускается	Не допускается	
	2	Проворачивание болтов или заклепок	-----	Не допускается	Не допускается	
	3	Дрожание или перемещение головки заклепок под ударом молотка весом 300 – 400 г	-----	Не допускается	Допускается при числе подвижных заклепок не более 10 % в группе	
	4	Отрыв головки заклепки или болта	-----	Не допускается	Не допускается	
	5	Косая заклепка	1	2	3	4
	6	Вытянутая заклепка		Не допускается	Не допускается	
7	7	Отсутствие проектного натяжения высокопрочных болтов	-----	До 20% величины допускаемого отклонения по крутящему моменту		

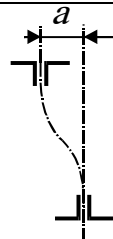
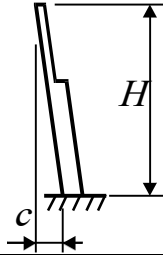
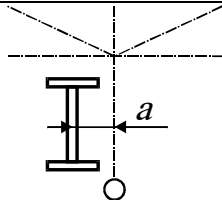
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	8	Смятие по основному металлу в болтовом или заклепочном соединении	-----	Не допускается	Не допускается	
	9	Срез заклепки или болта	-----	Не допускается	Не допускается	
8	1	Зарубка головки заклепки		$a \leq 2\text{мм}$	$a \leq 3\text{мм}$	
	2	Маломерная и неоформленная головка заклепки		$a \leq 0,03d$ $b \leq 0,05d$	$a \leq 0,06d$ $b \leq 0,05d$	
8	3	Венчик вокруг головки заклепки		$a \leq 3\text{мм}$ $b \leq 3\text{мм}$	$a \leq 5\text{мм}$ $b \leq 3\text{мм}$	

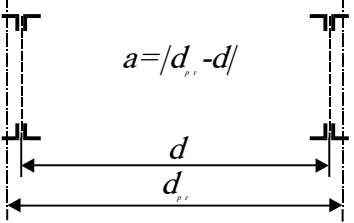
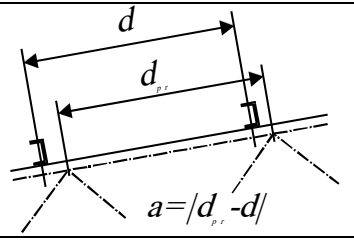
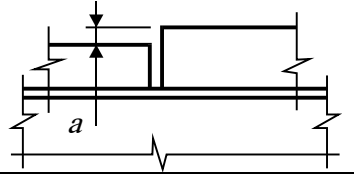
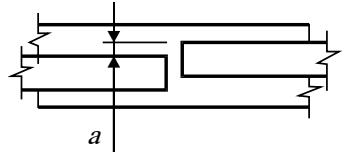
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	4	Зарубка металла обжимкой		$a \leq 0,3$	$a \leq 0,6$	
	5	Трещиноватость головки заклепки	----	Не допускается	Не допускается	
	6	Смещение головки заклепки с оси стержня		$a \leq 0,1d$	$a \leq 0,2d$	
	7	Смещение рисок от проектного положения	----	До 3 мм	До 3 мм	
9	1	Смещение отметок опорных узлов ферм и ригелей	 $a = H_1 - H_2 $	$a \leq 20\text{мм}$ $a \leq 15\text{мм}$	$a \leq 40\text{мм}$ $a \leq 30\text{мм}$	Для бескаркасных зданий В зданиях с мостовыми кранами

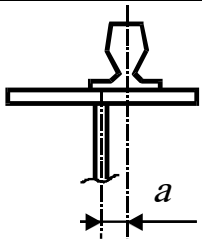
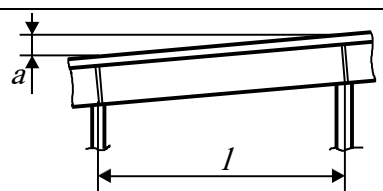
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	2	Смещение верхнего пояса фермы в горизонтальной плоскости		$a \leq 5\text{мм}$ $a \leq 10\text{мм}$	$a \leq 10\text{мм}$ $a \leq 15\text{мм}$	На опоре В середине пролета
	3	Смещение оси колонны в верхнем сечении		$c \leq 15\text{мм}$ $c \leq 0.001H$	$c \leq 20\text{мм}$ $c \leq 0.0015H$	$H \leq 15\text{мм}$ $H > 15\text{мм}$
	4	Смещение оси колонны с разбивочной оси в нижнем сечении		До 5 мм	До 10 мм	
9	5	Смещение осей ездовых балок для подвесных кранов с разбивочных осей пути		$a \leq 3\text{мм}$	$a \leq 4\text{мм}$	

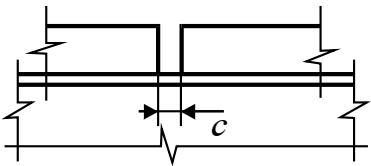
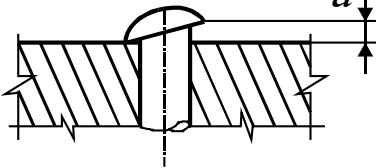
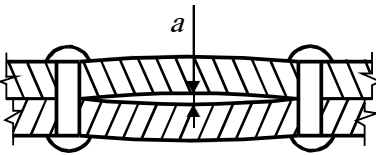
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
10	1	Взаимное смещение верхних поясов ферм в горизонтальной плоскости		$a \leq 15\text{мм}$	$a \leq 20\text{мм}$	d_{pr} – растяжение по проекту
	2	Взаимное смещение прогонов		$a \leq 3\text{мм}$	$a \leq 10\text{мм}$	
	3	Взаимное смещение торцов подкрановых рельсов по высоте «ступенька» в стыке		$a \leq 2\text{мм}$	$a \leq 3\text{мм}$	
10	4	То же, в плане		$a \leq 3\text{мм}$	$a \leq 4\text{мм}$	

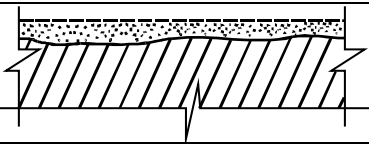
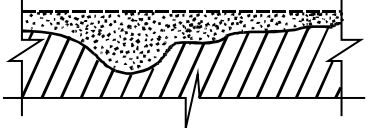
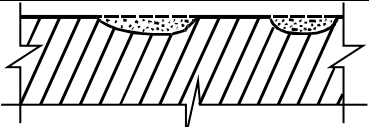
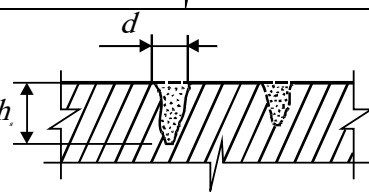
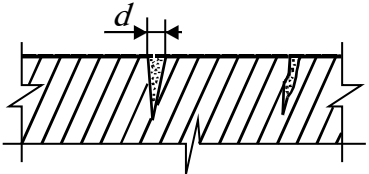
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	5	Смещение оси кранового рельса с оси подкрановой балки		$a \leq 15\text{мм}$	$a \leq 20\text{мм}$	
	6	Взаимное смещение осей крановых рельсов относительно пролета	-----	До 10 мм	До 15 мм	
	7	Разность отметок головок крановых рельсов в одном пролете	-----	До 15 мм До 20 мм	До 20 мм До 25 мм	На опоре В пролете
	8	Разность отметок крановых рельсов на соседних колоннах вдоль подкрановой балки		$a \leq \frac{l}{1000}$ $a \leq 15\text{мм}$ $a \leq 10\text{мм}$	$a \leq \frac{l}{750}$ $a \leq 20\text{мм}$	$l \geq 10\text{мм}$ $l < 10\text{мм}$
10	9	Наибольшая разность отметок головки кранового рельса на всей длине пути	-----	До 50 мм	До 100 мм	

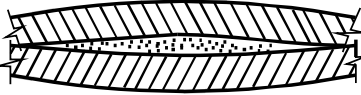
Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	10	Разность отметок ездовых путей подвесных кранов в одном поперечнике	-----	До 6 мм До 10 мм	До 10 мм До 15 мм	На опоре В пролете
11	1	Зазор в стыке кранового рельса		$c \leq 4\text{мм}$ при $t = 0^\circ\text{C}$	$c \leq 6\text{мм}$	При измене- нии температуры на каждые 10°C допуск изменяется на 1,5 мм
	2	Зазор между головкой заклепки и склепываемым пакетом		Щуп 2,0 мм должен проходить под головку не более чем на 3 мм	См. примечание	При отсут- ствии дрожа- ния и прово- рачивания заклепки этот дефект можно не исправлять
	3	Зазор между элементами склепываемого пакета		Щуп 0,5 мм не должен проходить между листами более чем 50 мм	$a \leq 2\text{мм}$	

Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
12	1	Общая поверхностная равномерная коррозия		Не допускается	Проверяется расчетом	
	2	Общая неравномерная коррозия		Не допускается	Проверяется расчетом	
	3	Местная коррозия (коррозия пятнами)		Не допускается	Проверяется расчетом	
	4	Коррозия язвами		Не допускается	$h_y \leq 0,5\text{мм}$ $d \leq 2\text{мм}$	
	5	Точечная (питинговая) коррозия		Не допускается	$d \leq 0,1\text{мм}$	

Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	6	Коррозионное растрескивание		Не допускается	Не допускается	
12	7	Щелевая коррозия		Не допускается	$a \leq 2\text{мм}$	
13	1	Разрушение и выветривание слоя краски до слоя грунта	-----	Не допускается	До 20 % площади	
	2	Местные вспучивания и отслаивания краски, трещины в ней до поверхности металла	-----	Не допускается	До 20 % площади	
14	1	Несоответствие марки стали проектной	-----	Не допускается	Устанавливается по данным специального анализа	
	2	Замена сечений элементов, видов соединений и т.п.	-----	Не допускается	Проверяется расчетом	

Удобнее всего указать код дефекта в форме двух чисел, разделенных точкой (номер группы и номер внутри таблицы). Например, «1.5» – это отверстие в элементе конструкции.

Систематизированное представление категории дефекта или повреждения представляет наиболее опасные из возможных несовершенств, т.е. предполагается, что установленные предельные показатели относятся к основным элементам конструкции.

Обнаруженные в процессе осмотра или обследования дефекты и повреждения должны оперативно оцениваться по критериям табл. 2.4.

Выявление повреждений состояния IV требует незамедлительного принятия мер по предупреждению возможной аварийной ситуации:

- информирование ответственных должностных лиц;
- обеспечение безопасности людей и сохранности имущества в зоне выявленных повреждений; Предельно допустимые значения параметров дефектов и повреждений выполнение срочных работ по предотвращению опасности развития несовершенств (временное раскрепление, разгрузка, срочный ремонт и т.п.).

К наиболее характерным дефектам и повреждениям конструкций, которые необходимо обнаружить при визуальном обзоре, являются:

- дефекты, которые связаны с недостатками проекта (несоответствие расчетной схемы действительным условиям, отклонения от норм проектирования);
- дефекты изготовления конструкций, которые допущены на заводах-изготовителях;
- дефекты монтажа конструкций и сведения зданий (сооружений);
- механические повреждения от нарушения условий эксплуатации;
- повреждения от непредвиденных проектом статических, динамических, температурных влияний;
- повреждения от внешних агрессивных влияний рабочего и окружающей среды.

Для полной диагностики технического состояния зданий (сооружений) целесообразно параллельно с натурными обследованиями и лабораторными определениями планировать и осуществлять также такие диагностические процедуры:

- анализ и выявления изменений основных проектных и расчетных предпосылок (для зданий (сооружений) в целом и их отдельных частей и конструкций), которые возникли за период эксплуатации;
- анализ дефектов и повреждений, изменений характеристик материалов, грунтов и оснований;
- корректирования расчетных моделей элементов, конструкций, оснований в связи с наличием дефектов и повреждений, изменения характеристики материалов и грунтов;
- проверочные расчеты элементов, конструкций, оснований в соответствии с уточненными расчетными моделями и с учетом изменений,

которые возникли в проектных и расчетных предпосылках за время эксплуатации;

- оценка технического состояния элементов, конструкций, оснований соответственно разработанным критериям;
- оценка технического состояния здания (сооружения) в целому в зависимости от технического состояния его элементов, конструкций, оснований.

Выявление и анализ изменений основных проектных и расчетных предпосылок, которые возникли за период эксплуатации, необходимо производить путем сравнения проектных (нормированных) и фактических (на момент обследования и паспортизации) показателей и их параметров:

- функционального назначения здания (сооружения);
- уровня ответственности здания (сооружения) за экономическими, социальными и экологическими следствиями их отказа (ГОСТ 27751-88) или классом капитальности за нормами проектирования гидротехнических сооружений, а также за соответствующими к уровням ответственности и классов капитальности коэффициентами надежности Y_n ;
- нормативных и расчетных значений нагрузок и влияний (в том числе: собственный вес, атмосферные, гидросферные, технологические, сейсмологические нагрузки и др.);
- особенностей и параметров расчетных ситуаций;
- степени агрессивности естественных и производственных сред;
- инженерно-геологических и гидрогеологических условий.

Нормативные значения нагрузок следует уточнять:

- для нагрузок от собственного веса за обмерами геометрических размеров конструкций, по контрольному определению средней плотности материалов (при этом ошибки определений не должны превышать $\pm 5\%$);
- для атмосферных и гидросферных нагрузок и влияний за данными ближайших к объекту станций Госкомгидромета с учетом указаний СНиП 2.01.14-83 и СНиП 1.02.07-87;
- для технологических статических и динамических нагрузок – по паспортным данным оснащения, что эксплуатируется;
- для сейсмических влияний и на подрабатываемых территориях – соответственно требованиям нормативных документов, которые действуют на время проведения обследований.

Анализ дефектов и повреждений и их влияние на несущую способность и долговечность конструкций и оснований рекомендуется выполнять с учетом особенностей разных типов конструкций. При этом рекомендуется использовать такие группы дефектов и повреждений:

Дефекты: нормирования, проектирования, изготовления, возведения.

Повреждения: механические разрушения, механический износ, коррозионный износ (атмосферная коррозия, химическая коррозия), деформации и перемещения (прогибы, угловые деформации, оседания, крены).

Физико-механические характеристики несущих и ограждающих конструкций зданий (сооружений) следует определять:

- с помощью стандартных неразрушительных методов (ультразвуковых, пластических деформаций и др.);
- путем изъятия образцов материалов для выполнения стандартных лабораторных испытаний.

Количество определений характеристик прочности материалов рекомендуется назначать с учетом состояния конструкций. При этом обеспеченность нормативных значений характеристик прочности материалов должна быть не меньше 0,95. При проведении контроля качества материалов нужно руководствоваться требованиями и указаниями действующих государственных стандартов. Изъятие образцов материалов следует выполнять только из второстепенных и ненапряженных частей элементов здания (сооружения). Места в конструкциях, из которых произведен отбор образцов, должны быть надежно восстановлены, а при необходимости усилены. Отклонения пространственного положения несущих и ограждающих конструкций и их расчетных размеров следует устанавливать методами, которые изложены в СНиП 3.01.03-84. Состояние опорных узлов и соединений определяют путем измерений, визуальных обзоров или экспертных оценок. Степень износа сечения несущих и ограждающих конструкций здания (сооружения) следует определять путем непосредственных измерений площади поперечных сечений основных элементов несущих и ограждающих конструкций в наиболее дефектных или поврежденных, а также наиболее напряженных местах.

2.4. Проверка несущей способности элементов с учетом параметров эксплуатационного состояния

При проверочных расчетах следует учитывать расчетные ситуации, которые могут реально иметь место в остаточный срок службы конструкции. При этом в каждой расчетной ситуации нужно уточнять:

- расчетные схемы конструкций и фундаментов;
- виды нагрузок;
- значения коэффициентов условий работы, коэффициентов объединения нагрузок и коэффициентов надежности;
- перечень предельных состояний, которые следует рассматривать в данной расчетной ситуации.

Степень агрессивности естественной и производственной среды следует определять:

- для грунтовых вод – по СНиП 1.02.07-87 и СНиП 2.03.11-85;
- для воздушной среды – по СНиП 2.03.11-85.

Изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадки здания (сооружения) следует определять в соответствии с требованиями СНиП 1.02.07-87.

Проверочные расчеты элементов конструкций, оснований следует выполнять соответственно ГОСТ 27751-88 и применительно к нормам проектирования, которые действуют на момент выполнения обследований.

Для проверочных расчетов следует использовать:

- скорректированные по результатам анализа показатели и параметры режима эксплуатации здания или сооружения;
- уточненные по результатам обследований проектные и расчетные предпосылки, которых следует придерживаться при разработке программы визуальных и экспериментальных обследований.

Проверочный расчет является основным способом оценки работоспособности конструкций на основе данных обследования технического состояния конструкций. Обычно, проверочные расчеты эксплуатируемых конструкций зданий и сооружений выполняются с целью оценки технического состояния:

- возможности дальнейшей эксплуатации конструкций без каких-либо ограничений, кроме предусмотренной условиями использования и обслуживания конструкций;
- необходимости усиления конструкций;
- возможности эксплуатации конструкций до проведения ремонтных работ или их усиления;
- возможности продолжения эксплуатации при ограничении нагрузок или условий эксплуатации;
- необходимости немедленного прекращения эксплуатации в аварийной ситуации.

При выполнении проверочных расчетов используются данные, полученные в ходе натурных обследований, контроля прочностных характеристик материалов, уточнения нагрузок и воздействий.

Проверочные расчеты включают следующие стадии:

- составление расчетной схемы;
- статический (или динамический) расчет и определение усилий и перемещений в узлах и элементах конструкций;
- определение напряжений в элементах и узлах и проверка выполнения неравенств метода предельных состояний.

Соответственно, учет в проверочных расчетах дефектов и повреждений осуществляется в зависимости от их особенностей и влияния на напряженно-деформированное состояние конструкций. От этого зависит также и стадия, на которой дефект (повреждение) вводится в расчет. Часть повреждений влияет на напряженно-деформированное состояние конструкций в целом, например, такие как изменение пространственного положения узлов конструкций. Другие повреждения влияют на напряжения в сечении отдельного элемента. Такие повреждения, как коррозионный износ, приводят к перераспределению усилий в конструкции из-за изменения отношения жесткостных характеристик элементов, так и к повышению напряжений из-за уменьшения геометрических характеристик сечений.

Задачами проверочного расчета может быть:

- *прямая* – проверка прочности и устойчивости существующих конструкций при расчетных или уточненных нагрузках;
- *обратная* – определение остаточной несущей способности, т.е. допускаемой нагрузки, исходя из дефектного состояния конструкций.

Расчет усилий и перемещений выполняется в следующей последовательности:

- составление расчетной схемы;
- расчет упрощенными или численными методами.

Выбор расчетной схемы. Основным этапом при расчете напряженно-деформированного состояния является составление расчетной схемы. Эта стадия проверочных расчетов, за исключением простейших случаев, является наименее поддающейся формализации и требует конкретизации для учета индивидуального состояния конструкций здания или сооружения.

Расчетные схемы могут быть следующих видов:

- плоская или пространственная;
- с простыми узловыми соединениями в виде шарниров или жестких узлов;
- с податливыми узлами (различные виды зависимостей «момент – угол поворота», линейные, нелинейные).

Чем выше уровень поврежденности конструкций, тем более возрастает сложность расчетной схемы. Расчетная схема является варьируемой составляющей проверочных расчетов и должна учитывать наиболее неблагоприятные расчетные ситуации. Это происходит из-за того, что

результаты технического освидетельствования конструкций не раскрывают «историю» работы во времени и причины появления повреждений. Поэтому, при проведении расчетов необходимо определить причину и последовательность появления повреждений, а для этого приходится выполнять расчеты для различных расчетных схем. Кроме этого, зачастую неизвестно, какая схема работы узла реализуется в соединении. Например, ферма считается жестко соединенной, если отсутствует перемещение верхнего опорного узла относительно колонны. Однако, для перехода ее в закрепление с шарнирными узлами достаточно взаимного перемещения порядка 1...2 мм. Поэтому в таких случаях в проверочных расчетах необходимо задавать несколько вариантов опирания и выбирать наиболее неблагоприятный для каждого стержня фермы.

Предпочтительным при выполнении проверочных расчетов является выбор более простых плоских расчетных схем с жесткими или шарнирными узлами. Можно использовать последовательное решение задачи расчета – от вышележащих конструкций к нижележащим, обеспечивая передачу опорных усилий. Это отражает необходимость приближения расчетных предпосылок к действительной работе конструкций и их сопряжений. Необходимость в более сложных расчетных схемах появляется тогда, когда несущей способностью конструктивных элементов действующих зданий и сооружений соответствуют эксплуатационным требованиям, а согласно расчетных схем, установленных при проектировании объекта, при проверочном расчете имеют место признаки предельных состояний. В таких случаях выполняется расчет по пространственной схеме, который позволяет учесть поддерживающее влияние расположенных рядом конструкций.

Учет податливости узловых сопряжений на стадии проектирования позволяет оптимизировать сечения элементов рам каркасов. Однако корректные расчеты для существующих конструкций могут быть выполнены, когда экспериментально получена зависимость «момент–угол поворота», поскольку неизвестным является уровень приобретенных пластических деформаций.

Необходимость изыскания резервов несущей способности при продлении срока службы и проектировании мероприятий при реконструкции предъявляет специфические требования к проверочным расчетам. Очень важно не только оценить, выполняются ли условия прочности или устойчивости, но и определить остаточную несущую способность конструкций для использования ее при оптимизации мероприятий по повышению несущей способности. Это также приводит к необходимости расчетов по различным вариантам расчетных схем.

В расчетную схему входят следующие элементы:

- уровни внешних нагрузок и воздействий, установленные с учетом возможных конструктивных, технологических и эксплуатационных ограничений типовой модели эксплуатации;

- геометрические координаты узлов, заданные на основании натурных замеров плано-высотного размещения конструкций. Таким образом, учитываются дефекты монтажа или повреждения, возникшие из-за неравномерных осадок основания, отклонения от вертикали и прямолинейности, смещения узлов с осей по вертикали или горизонтали, эксцентриситеты сопряжения элементов решетчатых конструкций, внеузловое приложение нагрузок и пр.;

- жесткостные характеристики сечений конструктивных элементов по фактическим размерам с учетом имеющегося коррозионного износа, общего искривления стержней, особенностей работы составных стержней и пр.

Коррозионный износ учитывается путем умножения жесткостных характеристик на поправочный коэффициент

$$k_z = \frac{A_{ef}}{A_0} = \frac{I_{ef}}{I_0} = 1 - \frac{\Delta_{ef}}{k_s}, \quad (4.1)$$

где A_{ef} , I_{ef} – расчетные значения площади и момента инерции сечения, поврежденного коррозией; A_0 , I_0 – то же для начального сечения; k_s – коэффициент слитности, равный отношению площади поперечного сечения рассчитываемого элемента к его периметру, контактирующему с окружающей средой, для некоторых видов сечений его значения равны:

- для уголков $k_s = 2/t$;
- для замкнутых профилей $k_s = 1/t$;
- для швеллеров и двутавров $k_s = 4/(t + d)$;

где t и d – толщины полки и стенки соответственно.

Величина проникновения коррозии принимается:

$$\Delta_{ef} = \Delta$$

– при односторонней коррозии замкнутых профилей;

$$\Delta_{ef} = \Delta/2$$

– при двусторонней коррозии открытых профилей (уголков, двутавров и т.п., где Δ – уменьшение толщины элемента, равное разнице между начальной и измеренной толщинами элемента.

При наличии общего искривления стержней, которые принимаются в расчетной схеме прямолинейными, необходимо скорректировать значение жесткости на растяжение-сжатие EA путем введения поправок:

$$EA = \Theta_1 EA, \quad EA = \Theta_2 EA, \quad (4.2)$$

где Θ_1 – поправка, учитывающая повышенную деформативность искривленного стержня и используемая при статическом расчете; Θ_2 – поправка, учитывающая пониженное сопротивление искривленного элемента при проверке устойчивости. Значения поправок вычисляются в зависимости от относительного искривления

$$\beta = f_0 / i_0 \quad (4.3)$$

где f_0 – стрелка искривления; i_0 – радиус инерции поперечного сечения в плоскости искривления и уровня нагруженности

$$\alpha = \sigma / (R_y \varphi) \quad (4.4)$$

по формулам

$$\Theta_1 = \frac{1}{1 + \frac{\beta^2}{4} \cdot \frac{(2 + \alpha)}{(1 + \alpha)^2}}; \quad \Theta_2 = \frac{1}{1 + \frac{\beta^2}{2} \cdot \frac{1}{(1 + \alpha)^3}} \quad (4.5)$$

Знак α определяется знаком силы N (положительна при растяжении, отрицательна при сжатии).

Для составных стержней необходимо, чтобы выполнялись требования СНиП по *раскреплению* составных сечений прокладками, планками и решетками. От их соблюдения зависит, рассматривать ли стержень составного сечения как единое целое с общим моментом инерции, или как совокупность стержней, момент инерции которых является суммой моментов инерции отдельных стержней.

Для всех элементов следует также проверить, соблюдаются ли ограничения норм по *относительным толщинам* пластин, *свесам* полок. Если последние требования не выполняются, то в расчете следует принимать приведенное сечение. Например, при превышении свесом полок нормативных требований СНиП в качестве ширины полки двутавра необходимо принимать максимально допустимую для данной толщины полки.

При замене решетчатых изгибаемых элементов сплошностенчатыми в расчетную схему следует вводить уменьшенную изгибную жесткость с учетом дополнительной податливости за счет работы решетки.

Узловые сопряжения элементов. Тип сопряжения – шарнирное или жесткое выбирается в зависимости от:

- *целей расчета* – в упрощенных расчетах обычно используют допущения в работе соединений, принятые в проектировании новых конструкций. Так, узлы сварных ферм обычно считаются шарнирными. При наличии элементов, потерявших устойчивость или имеющих разрывы, расчет с шарнирными узлами невозможен. Поэтому для анализа остаточной несущей способности таких конструкций при проектировании усиления необходимо выполнить расчет с жесткими узлами.

- *характера конструктивных решений* узловых соединений. Обычно жесткими считаются узлы с соединением полок изгибаемых элементов на сварке или высокопрочных болтах;

- *состояния узловых сопряжений* – наличие или отсутствие деформаций соединяемых элементов, повреждений сварных швов, деформаций и смещений болтов или заклепок.

В решетчатых ригелях жесткость прикрепления к колоннам резко меняет значение и знак усилия в элементах. Жесткость прикрепления зависит от надежности прикрепления верхнего пояса (при восходящем опорном раскосе). Совместность работы с колонной обеспечивают соединения на приваренных накладках или фланцевые на высокопрочных болтах. В

расчетной схеме это будет соответствовать примыкающему шарниру. При обследовании важно решить вопрос о наличии или отсутствии взаимных перемещений в таких узлах, поскольку даже небольшие перемещения (до нескольких миллиметров) могут привести к тому, что ригель в целом будет работать как разрезной. В этом случае необходимо вводить дополнительные шарнирные узлы в расчетную схему.

Опорные закрепления. При выборе модели для опорного закрепления – жесткое, неподвижный шарнир, шарнир со свободным перемещением по горизонтальной или вертикальной оси – учитываются следующие факторы:

- конструктивное решение опорного узла;
- фактическое состояние узла по результатам обследования: повреждения анкерных болтов, наличие заметных перемещений опорных пластин, эксцентриситеты опирания на нижележащие конструкции, искривления траверс и др.

При отсутствии точной информации о состоянии крепления (например, в случае замоноличивания бетоном) его фактические характеристики принимают по косвенным данным (например, целостность бетона замоноличивания). Для особо ответственных конструкций возможно выполнение расчетов по нескольким вариантам крепления с выбором наиболее неблагоприятного для элементов конструкций.

При проверочных расчетах конструкций, для которых определяющими являются расчеты по второй группе предельных состояний (например, открытые крановые эстакады), а также в некоторых других случаях, следует учитывать упругие свойства основания, т.е. принимать опорные закрепления упругоподатливыми. Главное затруднение заключается в выборе конкретных численных значений характеристик податливости основания. Задачу можно решить путем исследования свойств основания (бурение скважин, лабораторные испытания, штампами и др.) или проведения натурных испытаний конструкций. Все эти методы являются трудоемкими, но главное – они являются косвенными (точный – исследовать грунт *под* фундаментом), т.е. дают только приблизительную оценку механических свойств основания, которые могут меняться из-за замачивания, изменения уровня грунтовых вод и др. факторов. Подробнее эти методы рассматриваются в соответствующих разделах механики грунтов и оснований. Кроме этого, имеются сложности при переходе от физико-механических свойств основания к упругим характеристикам расчетной модели.

Нагрузки и воздействия. Значения, направления, точки или элементы, к которым они прикладываются, принимаются на основании натурных исследований или в соответствии со СНиП 2.01.07–85 «Нагрузки и воздействия».

Кровельный диск. Ограждающие конструкции здания принимают участие в работе каркаса здания и могут существенно влиять на перераспределение усилий в его элементах. Особенно большую роль играет кровельный диск. Учет жесткости кровельного диска при выполнении

проверочных расчетов промышленных зданий по пространственной расчетной схеме позволяет выявить резервы несущей способности конструкций каркаса.

Изгибная жесткость кровельного диска в расчетной схеме обычно принимается бесконечно большой. Это должно быть подтверждено данными натурных обследований кровли: отсутствие повреждений в элементах кровли, в узлах крепления к прогонам или верхнему поясу ригелей, надлежащее замоноличивание стыков между панелями.

Податливость кровельного диска в расчетной схеме учитывается введением сдвиговой жесткости GA , которая вычисляется по следующим формулам:

- для кровли из крупноразмерных железобетонных плит:

$$GA = 19000 k_2 b, \quad (4.6)$$

где k_2 – коэффициент учитывающий ширину плит ($k_2 = 1$ для плит $1,5 \times 6$ м и $k_2 = 1,3$ для плит 3×6 м); b – ширина кровельного диска, м;

- для кровли из мелкоразмерных плит:

$$GA = 7000 b; \quad (4.7)$$

- для кровли из стального листа, уложенного по прогонам:

$$GA = \frac{a}{\frac{a}{G \cdot t \cdot b} + \frac{2S_{i\delta}}{n_{i\delta}}}, \quad (4.8)$$

где a – шаг ферм; b – ширина кровельного диска; t – толщина листа; $G = 81 \text{ кН/мм}^2$ – модуль сдвига для стали; n_{np} – количество прогонов по ширине; S_{np} – податливость прогонов в зависимости от конструктивного решения их опирания.

Методы расчета. Основными способами расчета при выполнении проверочных расчетов существующих конструкций являются ручные вычисления и использование численных методов, реализованных на персональных компьютерах. Большинство программ численного анализа используют метод конечных элементов и все шире применяются при выполнении расчетов. Специализированные программы для выполнения проверочных расчета отсутствуют, поэтому используются комплексы, предназначенные для проектирования, такие как: «МИРАЖ», «ЛИРА», SCAD и другие.

Нужно отметить, что задачи, стоящие при перерасчете существующих конструкций значительно многообразнее возникающих при проектировании новых конструкций. Часто приходится учитывать различные варианты расчетных схем, рассчитывать гибкие нити, анализировать влияние податливости основания, рассматривать совместную работу несущих и ограждающих конструкций, учитывать многообразные дефекты и повреждения, учитывать наличие односторонних закреплений. Все это

зачастую не позволяет использовать программы численного расчета из-за присущей им внутренней алгоритмической «жесткости», а использовать инженерные методы расчета.

Основные методы расчета:

- линейно упругий расчет. Является наиболее простым и широко используемым при перерасчетах;
- нелинейно-упругий расчет. Используется для анализа устойчивости элементов и конструкций в целом;
- пластический расчет. При перерасчетах обычно не используется, поскольку неизвестна история нагружения и деформирования конструкций. Кроме этого, такие расчеты дают более высокую оценку несущей способности, что для эксплуатируемых конструкций приводит к снижению запаса несущей способности и общей надежности конструкций.

Для сооружений, воспринимающих динамические нагрузки от ветра, от работы технологического оборудования, а также некоторые особые нагрузки, например от обрыва канатов, выполняются расчеты на динамику. Существующие (обычно, численные) методы расчета позволяют определять (по степени возрастания сложности расчетов):

- собственные частоты и формы колебаний;
- амплитуду, формы и частоты динамической реакции при различных видах воздействия (гармоническое, импульсное и т.д.);
- поведение конструкции во времени.

Следует отметить, что погрешность динамических расчетов значительно выше, чем статических. Это связано с тем, что на параметры динамической реакции сооружения наряду с факторами, достаточно легко определяемыми, такими как распределение масс и жесткостные характеристики, влияет большое число факторов, количественные характеристики которых трудно поддаются измерению. К числу последних относятся: диссипативные свойства конструкций из-за неопределенностей в соединениях; диссипативные свойства основания и фундаментов, резко меняющие поведение конструкций; параметры динамического воздействия и др.

Поэтому в последнее время все шире используется экспериментальное уточнение расчетной схемы динамического расчета. Для этого в процессе натурных измерений определяют динамические характеристики существующего сооружения – частоты или амплитуды колебаний. На основании этих данных корректируют расчетные схемы так, чтобы результаты расчета совпадали с измеренными характеристиками. Затем выполняют непосредственно проверочные расчеты. Во многих случаях экспериментальные исследования являются трудно выполнимыми, и используются приближенные методы для оценки верхней границы динамической реакции.

Проверка несущей способности. Проверочные расчеты несущей способности реализованы в СНиП II–23–81* в виде сравнения напряжений от

внешней нагрузки с расчетным сопротивлением стали. Несущая способность считается обеспеченной, если напряжения не превышают расчетного сопротивления, умноженного на коэффициент условий работы.

Коэффициенты условий работы учитывают неопределенности в работе конструкций и их элементов, степень важности элементов в конструкции и другие факторы. В настоящее время вопросы корректировки значений этих коэффициентов для эксплуатируемых конструкций изучены мало, поэтому рекомендуется:

- γ_c – принимать как для вновь проектируемых конструкций по СНиП II–23–81*, за исключением $\gamma_c = 0,8$ при расчете угловых сварных швов [Пособие], и $\gamma_c = 1$ при перерасчете некоторых сжатых элементов по деформированной схеме [СНиП];

- γ_{wf} , γ_{wz} , γ_b , γ_h – коэффициенты условий работы сварных и болтовых соединений – принимать как для вновь проектируемых конструкций по СНиП II–23–81*.

Виды расчетов и элементов, для которых в нормах имеются особенности расчета по сравнению с расчетом новых конструкций:

- проверка прочности внецентренно сжатых элементов сплошного сечения;
- проверка устойчивости сжатых сплошностенчатых элементов:
 - имеющих общее искривление;
 - из двух уголков, имеющих искривление в двух плоскостях;
 - то же, ослабленных вырезами или погибами полков;
- проверка устойчивости сквозных стержней:
 - имеющих общее искривление в плоскости соединительной решетки;
 - имеющих локальные ослабления ветвей в виде вырезов, искривлений и т.п.;
 - с дефектами или повреждениями раскосов;
 - расцентровкой раскосов.

Расчетная проверка на хрупкую прочность.

Расчет на коррозионную стойкость и долговечность.

Использование при проверочных расчетах норм проектирования, за которыми проектировались здания (сооружения), но на время обследований были отменены, допускается только при наличии письменного согласия организации, которое разработало новые нормы.

2.5. Учет характера и интенсивности коррозионных разрушений элементов конструкций

Контроль коррозионного состояния стальных конструкций включает следующие этапы:

- разработка рабочей программы и определение объемов экспериментальных работ;
- количественная оценка показателей долговечности при проведении обследования;
- оценка технического состояния на основе проверочного расчета стальных конструкций;
- разработка рекомендаций по усилению конструктивных элементов и возобновлению противокоррозионной защиты.

Программа работ по обследованию коррозионного состояния разрабатывается на основе тех данных системного изучения технологических и конструктивных особенностей объектов с учетом результатов зонирования и классификации коррозионных воздействий, данных контроля долговечности противокоррозионной защиты строительных металлоконструкций. Оценка характера и интенсивности коррозионного износа конструктивных элементов выполняется в характерных точках однородных зон эксплуатации. Характерная точка участка или зоны натурного обследования стальных конструкций представляет такое расположение объектов исследования, при котором влияние внутренних факторов на интенсивность коррозионного износа в пределах установленной зоны эксплуатационной среды принимается одинаковым. Выбор характерных точек для оценки технического состояния производится на этапе предварительного изучения режима эксплуатации и учитывает возможность локального коррозионного разрушения конструктивной формы.

Основной задачей предварительного осмотра стальных конструкций является разработка обоснованного плана инструментальных замеров, описание характера коррозионных поражений элементов и участков локального коррозионного разрушения на основании данных системного изучения факторов коррозионной агрессивности и конструктивных параметров в пределах однородной зоны натурного обследования.

При оценке технического состояния стальных конструкций, пораженных коррозией, необходимо определить вид коррозии и ее качественную и количественную характеристики.

К качественным характеристикам коррозии относятся плотность, структура, цвет и химический состав продуктов коррозии. Качественные характеристики определяются путем лабораторных исследований продуктов коррозии, а цвет – визуально.

К количественным показателям коррозионных поражений относятся их площадь, глубина коррозионных язв, величина потери сечения, скорость коррозии.

Площадь коррозионных поражений с указанием зоны их распространения выражают в процентах от площади поверхности конструкций.

Толщина элементов, поврежденных коррозией, измеряется не менее чем в трех сечениях по длине элемента. В каждом сечении проводится не менее трех замеров.

Величина потери сечения может выражаться в процентах от начальной толщины. В качестве начальной толщины элементов принимается толщина в местах, не поврежденных коррозией, или, при отсутствии таких мест, по номинальным данным, приведенным в проекте. Толщина элементов измеряется в нескольких местах по длине и по сечению элемента.

Стойкость металла определяется при равномерной коррозии средней скоростью разрушения в мм/год, а при неравномерной коррозии – глубиной проникновения отдельных коррозионных разрушений (язв) в мм/год.

Подготовка поверхности элементов стальных конструкций при обследовании коррозионного состояния включает удаление лакокрасочного покрытия, очистку от загрязнений и окислов. Удаление лакокрасочных покрытий производится механическим способом с помощью металлических щеток и скребков, либо химическим способом с использованием смывок марок СД, СП-7, АФТ 1 и др. Смывка наносится кистью на участке конструкции, требующем инструментальных замеров, и после отслаивания покрытие снимается щеткой или шпателем.

При сплошной коррозии толщина однородных элементов замеряется штангенциркулями и микрометрами. Выполнение измерений коррозионных поражений в условиях одностороннего доступа к поверхности элемента осуществляется приборами типа УТ-31МЦ, УТ-96 и «Кварц-6». Для оценки показателей питтинговой и язвенной коррозии применяют индикаторные глубиномеры и измерительные скобы (рис. 2.3).

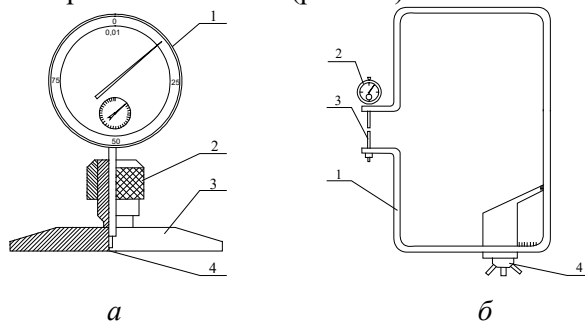


Рис. 2.3. Средства контроля местного коррозионного разрушения:

а – индикаторный глубиномер:

1 – индикатор часового типа; 2 – опорная площадка; 3 – накидная гайка;
4 – измерительный наконечник;

б – универсальный прибор контроля толщины элементов конструкций:

1 – скоба; 2 – измерительная индикаторная головка; 3 – концевой упор;
4 – установочный винт

Оценка величины равномерного коррозионного износа $(\Delta t)_j$ выполняется по формуле:

$$(\Delta t)_j = (\Delta t)^o_j + Up_j \cdot S\Delta t, \quad (4.9)$$

где $(\Delta t)^o_j$ – среднее значение коррозионного поражения, соответствующее выборочной вероятности $P_j = 0,5$ см; Up_j – квантиль нормального распределения определенный по таблицам математической статистики; $S\Delta t$ – величина среднеквадратического отклонения.

Для определения средней величины коррозионного поражения выполняется не менее пяти измерений толщины элемента конструкции:

$$(\Delta t)^j_j = tj - t^j_{kj}, \quad (4.10)$$

где $(\Delta t)^j_j$ – уменьшение толщины j -го элемента по данным i -го измерения, см; tj – начальная толщина j -го элемента, см; t^j_{kj} – толщина j -го элемента при наличии коррозионных поражений по данным i -го измерения, см.

При неравномерном разрушении, кроме характеристики общей коррозии Δt_j , необходимо определить следующие показатели:

- глубину коррозионных язв или питтингов ΔP по данным не менее пяти измерений j -го элемента:

$$(\Delta P)_j = (\Delta P)^o_j + Up_j \cdot S\Delta p, \quad (4.11)$$

где $(\Delta P)^o_j$ – средняя глубина язв или питтингов однородного элемента, соответствующая выборочной вероятности $P_j = 0,5$ см; $S\Delta p$ – величина среднеквадратического отклонения;

- коэффициент плотности коррозионных поражений γ_p :

$$\gamma_p = \frac{F_k}{F}, \quad (4.12)$$

где F_k – площадь локальной коррозии язв и питтингов, см²; F – площадь рассматриваемого участка j -го однородного элемента.

Для статистической оценки глубины и определения формы местных коррозионных поражений используют профилографы-профилометры, позволяющие устанавливать основные параметры микрорельефа поверхности. Принцип действия приборов основан на детектировании и преобразовании пропорционального электрического сигнала, возникающего при перемещении датчика с переменным магнитным сопротивлением по поверхности конструктивного элемента. Для оценки коррозионного разрушения используются параметры шероховатости: R_a – среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений в пределах базовой длины, мкм; R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам.

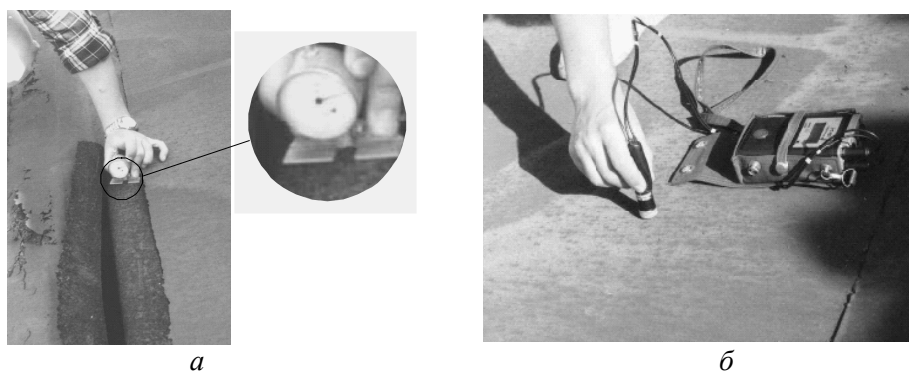


Рис. 2.4.

а – измерение глубины питтинга игольчатым индикатором;

б – измерение остаточной толщины металла ультразвуковым толщиномером УТ-93П

Программа обследования устанавливает порядок отбора образцов и проб для определения качества металла в соответствии с требованиями стандартных методов оценки физико-механических свойств и химического состава. Проведение таких работ регламентируется специально разработанными службой эксплуатации и согласованными с проектной организацией инструкциями и оформляются актом на скрытые работы. При необходимости качественного выявления межкристаллитной коррозии производятся металлографические исследования.

Контроль коррозионного состояния и оценка несущей способности с учетом коррозионного разрушения. Оценивание интенсивности коррозионного разрушения выполняется на основании данных инструментальных измерений с помощью коэффициента надежности противокоррозионной защиты (γ_{zf}) по формуле:

$$\gamma_{zf} = \alpha_k \cdot \alpha_p \cdot \gamma_{k,n} \cdot (1 - \delta), \quad (4.13)$$

где α_k – коэффициент, который учитывает равномерную коррозию; α_p – коэффициент изменения геометрических характеристик с учетом местной коррозии; γ_p – коэффициент плотности коррозионных поражений; t_k – толщина элемента конструкции с учетом равномерной коррозии, см; δ – предельная относительная погрешность измерений геометрических характеристик перереза при заданной доверительной вероятности, установленной 0,95.

Статистическое обоснование характеристики δ осуществляется с учетом объема экспериментальных измерений (N), заданной доверительной вероятности (γ), коэффициента вариации (V) показателей коррозионного износа (табл. 2.5).

Количество инструментальных измерений N конструктивных однородных элементов

Таблица 2.5

δ	γ	N при V				
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
0,05	0,80	4	6	13	20	25
	0,90	8	15	25	40	65
	0,95	13	25	40	66	100
	0,99	25	50	100	150	200
0,10	0,80	–	3	5	8	10
	0,90	3	5	8	13	15
	0,95	5	8	13	20	25
	0,99	8	15	25	32	50
0,15	0,80	–	–	3	4	5
	0,90	–	3	4	6	8
	0,95	3	5	6	10	13
	0,99	5	8	13	5	25
0,20	0,80	–	–	–	–	3
	0,90	–	–	4	5	6
	0,95	–	4	5	6	8
	0,99	4	6	8	10	15

В общем случае критерием надежности строительных конструкций является вероятность ненаступления определенных предельных состояний, при которых эксплуатация прекращается, нарушается или затрудняется. Этот критерий определяется неравенством:

$$N(x_1) \leq \hat{O}(x_2), \quad (4.14)$$

где $N(x_1)$ – влияние внешних нагрузок и воздействий; $\hat{O}(x_2)$ – потенциальная способность конструкций противостоять влияниям внешних нагрузок и воздействий, т.е. несущая способность, деформативность, трещиностойкость, коррозионная стойкость и т.п.

Организационная структура мероприятий, связанных с поддержанием качества и долговечности строительных конструкций в период эксплуатации, приведена на рис. 2.5.

Точность определения показателей надежности в соответствии с формулой (4.14) зависит от достоверности характеристик внешних воздействий и принятой расчетной модели конструкции. Поэтому для строительных конструкций различают нормативную, проектную и эксплуатационную надежность.

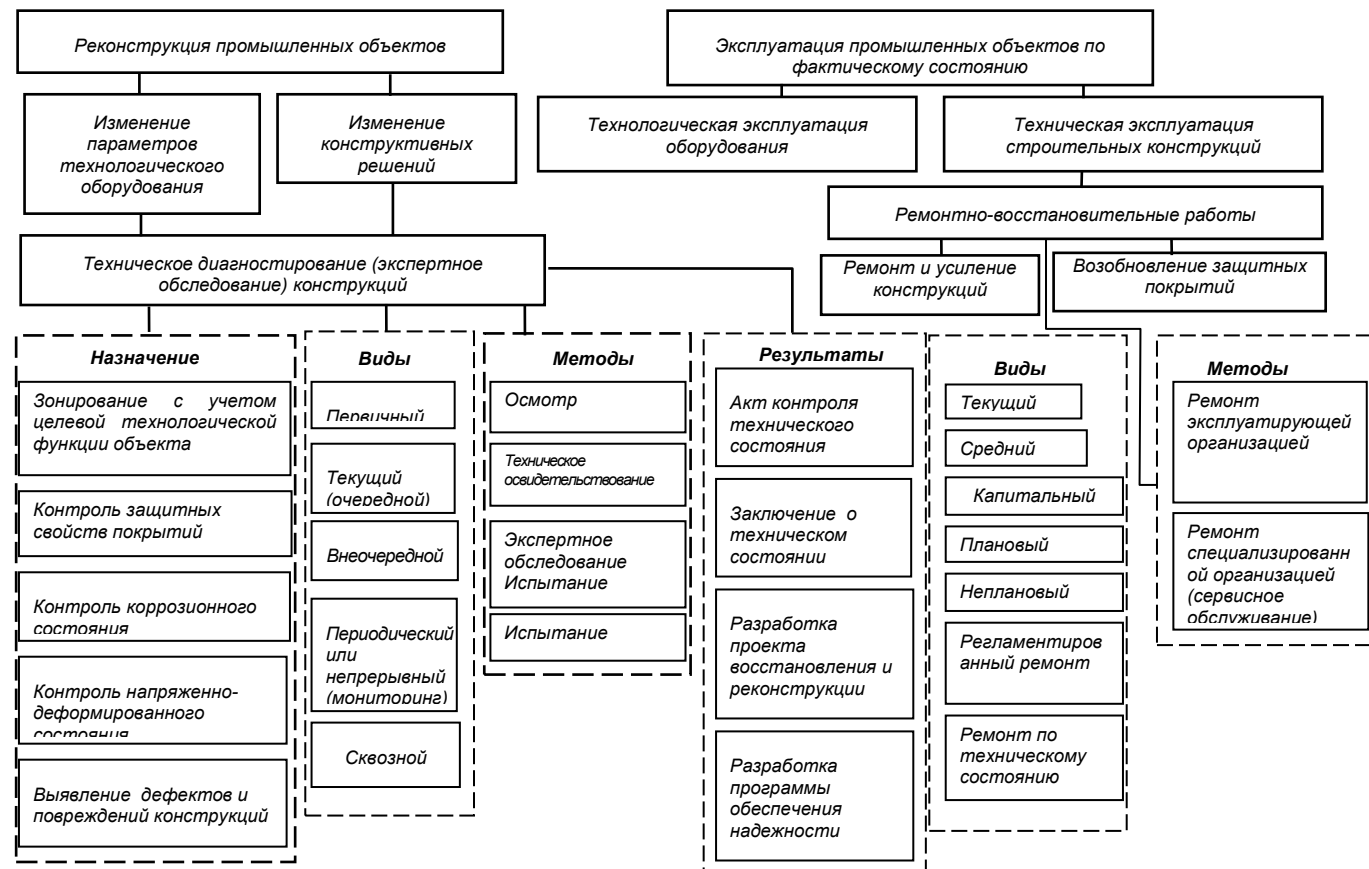


Рис. 2.5. Организация технического обслуживания и ремонта строительных конструкций по фактическому состоянию

Нормативная надежность устанавливается на основе анализа технических требований при комплексном рассмотрении целевой технологической функции объекта. Показатели нормативной надежности требуют технико-экономического обоснования с учетом обеспечения безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости строительных конструкций на всех стадиях их существования.

Проектная надежность устанавливается в процессе конструирования на основе расчетных данных технологических нагрузок и воздействий, характеристик материалов, заданных объемно-планировочных решений, типа и вида соединений и т.п. Показатели проектной надежности должны быть не менее значений, установленных в нормативно-технической документации.

Эксплуатационная надежность включает техническое диагностирование конструктивных элементов на основе установленных проектных решений, данных сертификационных испытаний при изготовлении и материалов контроля режима эксплуатации объекта. Качество эксплуатации стальных конструкций зависит от периодичности планово-предупредительных ремонтов, средств и методов восстановления работоспособности и т.п.

При наличии коррозионных поражений выполняется проверочный расчет стальных конструкций по методике предельных состояний. По первой группе предельных состояний:

$$\sum_{i=1}^{i=n} P_i \gamma_n n_c \alpha_i \leq \gamma_{zf} \Omega R_y \gamma_c, \quad (4.15)$$

где P_i – расчетная нагрузка; γ_n – коэффициент надежности по назначению; n_c – коэффициент сочетания нагрузок; α_i – усилие в элементе при $P_i = 1$; γ_{zf} – коэффициент надежности противокоррозионной защиты; Ω – геометрические характеристики сечения элементов по паспортным данным или проектным материалам; R_y – расчетное сопротивление стали по пределу текучести в соответствии с паспортными данными; γ_c – коэффициент условий работы.

При расчете второй группы предельных состояний должно выполняться неравенство:

$$\sum_{i=1}^{i=n} P_i \delta_k \leq \delta_{i\partial}, \quad (4.16)$$

где δ_k – деформация или перемещение конструкции при наличии коррозионных поражений при воздействии $P_i = 1$; $\delta_{i\partial}$ – предельные деформации или перемещения, определяющие возможность нормальной эксплуатации.

Коэффициент надежности противокоррозионной защиты (γ_{zf}) при оценке технического состояния учитывает качество эксплуатации, статистическую природу, характер и величину коррозионного разрушения поверхности металла при контакте с агрессивной средой.

Для проверочного расчета стальных конструкций в коррозионных средах определяются следующие расчетные характеристики по данным натурного обследования однородных конструктивных элементов:

$$\alpha_k = \frac{\Omega k_{ij}}{\Omega}, \quad (4.17)$$

$$\alpha_p = 1 - 2\gamma_p \frac{(\Delta P)_j^o}{t_{kj}^o}, \quad (4.18)$$

$$\gamma_k = \frac{R_{yk}}{R_y}, \quad (4.19)$$

где α_k – коэффициент изменения геометрических характеристик с учетом равномерной коррозии; Ωk_{ij} – геометрические характеристики i -го элемента с учетом равномерной коррозии; α_p – коэффициент изменения геометрических характеристик при местной коррозии; γ_k – коэффициент изменения расчетного сопротивления стали растяжению, сжатию или изгибу по пределу текучести; R_{yk} – расчетное сопротивление стали по пределу текучести с учетом коррозионного износа, установленное при проведении испытаний механических свойств материала конструкции.

Защита от коррозии и восстановление защитных покрытий в процессе эксплуатации. Состояние защитных покрытий определяется с помощью комплексного обобщенного показателя защитных свойств в соответствии с ГОСТ 9.407-80:

$$A_3 = 0,1a_n + 0,1a_p + 0,1a_{от} + 0,3a_k + 0,3a_{рп} \quad (4.20)$$

Численные коэффициенты a_i являются характеристиками весомости признака разрушения покрытия. Степень разрушения покрытия определяется по признакам a_i :

- при образовании пузырей – (п);
- при растрескивании – (р);
- при отслаивании – (от);
- при наличии продуктов коррозии – (к);
- за размерами разрушения – (рп).

Если отсутствуют все виды разрушений, при $a_i = 1$, $A_3 = 0,9$ состояние покрытия характеризуется как отличный. Качественная характеристика состояния покрытий по показателю A_3 установлена по данным интервальной оценки:

- $0,55 \leq A_3 \leq 0,9$ – хорошо;
- $0,35 \leq A_3 \leq 0,55$ – удовлетворительно;
- $A_3 < 0,35$ – не удовлетворительно.

С целью обеспечения надежности и безопасной эксплуатации здания (сооружения) владелец здания (сооружения) должен по результатам

обследования и паспортизации выполнить своевременно мероприятия по ремонту, реконструкции отдельных конструктивных элементов, систем или здания (сооружения) в целом. Ремонт, замена, реконструкция несущих элементов и ограждающих конструкций здания (сооружения) могут выполняться только по проекту, разработанному специализированной проектной организацией, которая имеет соответствующую лицензию Главного центра лицензирования Госстроя Украины.

К противокоррозионным материалам, используемым материалом для ремонтных технологий возобновление защитных покрытий предъявляются дополнительные требования:

- обеспечение адгезионного контакта при степени окисленности поверхности «А» (при наличии слоя неосыпавшейся ржавчины толщиной до 100 мкм);
- совместимость с остатками защитных покрытий, нанесенных при изготовлении и в период эксплуатации;
- способность к торможению коррозионных процессов на поверхности раздела покрытие – ремонтная поверхность за счет высоких ингибирующих свойств;
- снижение внутренних напряжений в защитном покрытии при повторном окрашивании и в течении всего срока эксплуатации.

Выполнение ремонтной окраски металлоконструкций производится на основе операционно-технологических карт, разрабатываемых по требованию заказчика с гарантированными показателями долговечности. В состав операционно-технологических карт входят:

- требования к исходным материалам и оборудованию для нанесения защитных покрытий;
- характеристика условий режима эксплуатации с перечнем установленных однородных зон и степенью агрессивности воздействий;
- указания по подготовке поверхности перед ремонтным окрашиванием с учетом данных освидетельствования коррозионного состояния;
- ведомости объемов работ по однородным зонам и однородным конструктивным элементам;
- указания по организации работ, квалификационные требования к составу бригады и распределению обязанностей;
- требования к качеству защитных покрытий, установленные гарантированные показатели долговечности по однородным зонам эксплуатации.

Срок службы защитного покрытия для заданного режима эксплуатации определяется как промежуток времени, необходимый для достижения отказа защитных свойств. Характеристикой отказа является величина обобщенного показателя защитных свойств $A=0,35$ или образование продуктов коррозии толщиной $h_k=100$ мкм под слоем лакокрасочного покрытия. Расчетное значение показателя T_z , год, при моделировании режима эксплуатации

определяют в процессе ускоренных испытаний защитных покрытий по формуле

$$T = \frac{\Delta\rho(N)}{k \cdot \rho} \cdot 10^{-3} \quad (4.21)$$

где $\Delta\rho(N)$ – весовые потери от коррозии незащищенной стали, соответствующие количеству циклов ускоренных испытаний до установленной характеристики отказа; k – минимальное значение коррозионной стойкости поверхности конструктивного элемента.

Для защиты от коррозии металлических конструкций, запроектированных с нарушением действующих норм по защите строительных конструкций от коррозии, но сохраняемых в здании или сооружении, рекомендуется:

- при воздействии слабоагрессивных и среднеагрессивных сред предусмотреть мероприятия в соответствии с требованиями СНиП 2.03.11-85 по защите от коррозии соответственно в среднеагрессивных и сильноагрессивных средах;

- при воздействии сильноагрессивных сред, а также для элементов конструкций, изготовленных из материалов, подвергающихся при изучаемых условиях эксплуатации коррозионному растрескиванию, межкристаллитной или расслаивающей коррозии, как правило, необходимо предусматривать замену конструкции или указанных выше элементов, если отсутствуют возможности снизить степень агрессивного воздействия среды или исключить воздействие среды, вызывающей специфические виды коррозии конструкций.

Защиту от коррозии не подлежащих усилению или замене конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, как правило, следует производить в соответствии с первоначальными проектами, если их решения не противоречат действующим нормам проектирования. При необходимости внесения изменений в первоначальные проектные решения эти изменения должны быть согласованы с авторами проектов. Проекты защиты от коррозии конструкций старой постройки, как правило, следует разрабатывать заново на основе действующих норм.

В проекты защиты от коррозии конструкций, находящихся в стадии строительно-монтажных работ, допускается вносить (по согласованию с авторами проектов) изменения в части выбора материалов отдельных конструкций и сварочных материалов, применяемых на монтаже, если решения первоначального проекта не соответствуют действующим нормам. При этом должно быть приведено технико-экономическое обоснование целесообразности принятия подобных решений по сравнению с решением назначить мероприятия по защите от коррозии, соответствующие воздействию более агрессивной среды.

Восстановление лакокрасочных покрытий на поверхности строительных металлоконструкций необходимо производить при достижении

обобщенного показателя защитных свойств соответственно $A_s=0,35-0,45$ – для несущих конструкций в слабоагрессивных средах или $A_s=0,45-0,55$ – для несущих конструкций в среднеагрессивных или сильноагрессивных средах и для ограждающих конструкций, либо при снижении показателя адгезии покрытия ниже балла 2, т.е. до 3-4 баллов по ГОСТ 15140-78*; при толщине покрытий ниже требований – по СНиП 2.03.1 1-85.

Основные параметры покрытий, которые подлежат контролю после нанесения покрытия:

- внешний вид;
- толщина;
- адгезия.

Прогрессивные технологии нанесения лакокрасочных материалов предусматривают использование установок высокого давления типа 2600Н, 7000Н, «Финиш» и «Вагнер» для образования защитных покрытий заданной толщины за 1 проход.

2.6. Состав и содержание документации для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации зданий и сооружений

Исходной документацией, необходимой для ввода здания или сооружения в эксплуатацию является:

- акт государственной технической приемочной комиссии о приеме объекта в эксплуатацию;
- перечень проектных, научных и других организаций, участвовавших в проектировании объекта;
- перечень организаций, участвовавших в производстве строительно-монтажных работ, с указанием видов выполненных работ и фамилий инженерно-технических работников, ответственных за их выполнение;
- комплект рабочих чертежей, по которым осуществлялось строительство объекта, с внесением в них в процессе строительства изменений;
- утвержденная проектно-сметная документация и справка об основных технико-экономических показателях объекта;
- геодезическая схема фактического расположения инженерных сетей;
- документы об отводе земельных участков и разрешение органов государственного архитектурно-строительного контроля на производство строительно-монтажных работ;
- документы на геодезическую разбивочную основу строительства, а также документы на геодезические работы в процессе строительства;
- документы о геологии и гидрологии строительной площадки, о результатах испытания грунта и анализа грунтовых вод;
- паспорта на оборудование и механизмы;
- документы, удостоверяющие качество материалов, конструкций и изделий, применяемых при производстве строительно-монтажных работ;
- акты на скрытые работы и акты о промежуточной приемке отдельных ответственных конструкций;
- акты об испытании внутренних и наружных электроустановок и электросетей;
- акты об испытаниях устройств телефонизации, радиофикации, телевидения, сигнализации и автоматизации;
- акты об испытании смонтированного оборудования; акты об испытании технологических трубопроводов, внутренних систем холодного и горячего водоснабжения, канализации, газоснабжения, отопления и вентиляции; наружных сетей водоснабжения, канализации, теплоснабжения, газоснабжения и дренажных устройств; акты об уплотнении (герметизации) вводов и выпусков инженерных коммуникаций в местах их прохода через стены подвалов;
- акты об испытаниях устройств пожаробезопасности, взрывобезопасности, молниезащиты;

- акты радиационного обследования объекта;
- акты о выполнении противосейсмических мероприятий, предусмотренных проектом для строительства в сейсмических районах;
- акты о выполнении мероприятий при строительстве на территории с просадочными грунтами, подземными подработками, карстами;
- журналы производства работ, авторского надзора, материалы проверок органами государственного надзора в процессе строительства;
- акты о приемке зданий, сооружений и помещений, смонтированного оборудования, составленные рабочими комиссиями (в соответствии с приложением 2, формы 1, 2 и 3 ДБН А 3.1.-3-94);
- справку о соответствии вводимых в действие мощностей мощностям, предусмотренным проектом;
- справки городских эксплуатационных организаций о том, что внешние наружные коммуникации холодного и горячего водоснабжения, канализации, теплоснабжения, электроснабжения и связи обеспечат нормальную эксплуатацию объекта и приняты ими на обслуживание;
- сводные материалы рабочей комиссии о готовности объекта в целом к приемке в эксплуатацию государственной приемочной комиссией;
- технический паспорт на здание и сооружение.

В отличие от требований при проектировании новых конструкций, когда их надежность подтверждается только путем расчета, для существующих конструкций могут применяться методы, основанные на:

- экспертной оценке режима эксплуатации;
- расчетно-экспериментальной оценке предельных состояний;
- испытаниях пробной нагрузкой.

Прогнозируемый срок эксплуатации конструкций принимается по одному из следующих вариантов:

- до истечения установленного нормативного срока функционирования здания или сооружения;
- до ближайшего планируемого капитального ремонта;
- до установленного в процессе оценки срока, по истечении которого конструкция вновь подлежит оценке с целью проверки возможности продлить допускаемый срок эксплуатации.

Во всех случаях оценка технического состояния осуществляется на основании результатов текущих и периодических осмотров или специального обследования, во время которого собираются данные о фактическом износе конструкций, уточняются сведения о действующих и прогнозируемых нагрузках, проводятся необходимые исследования свойств материалов, собирается сохранившаяся техническая документация, проводятся необходимые расчеты и т.д.

Результаты работы специализированных организаций по обследованию и оценке технического состояния объектов должны содержать следующие материалы:

- данные о технической документации, ее полноте и качестве, описание конструктивных решений, выводы о неудачных, устаревших и ошибочных решениях;

- краткое описание технологии строительства с обозначением отклонений от проекта, которые имели место, а также дефектов, которые возникли на стадии строительства;

- сведения, характеризующие проектный и фактический режим эксплуатации конструкций здания (сооружения), содержащие данные о фактических нагрузках и воздействиях, а также о характере агрессивной среды;

- результаты осмотра здания (сооружения) с указаниями о положении отдельных конструкций и частей;

- ведомости и схемы дефектов и повреждений конструкций;

- результаты геодезических и иных измерений конструкций, неразрушающих методов контроля, других натурных исследований и испытаний;

- результаты физико-механических испытаний образцов материалов, химических анализов материалов и среды;

- результаты анализов дефектов, повреждений, а также причин их возникновения;

- проверочные расчеты конструктивных элементов и систем;

- выводы о состоянии конструкций и их пригодности к дальнейшей эксплуатации или ремонту;

- сведения, необходимые для заполнения Паспорта технического состояния здания (сооружения);

- краткие технические решения относительно методов ремонта или замены дефектных конструкций, рекомендации по улучшению эксплуатации строительных конструкций и оснований.

Состав технической документации при паспортизации с учетом основных этапов функционирования производственных объектов представлен на рис. 2.6.

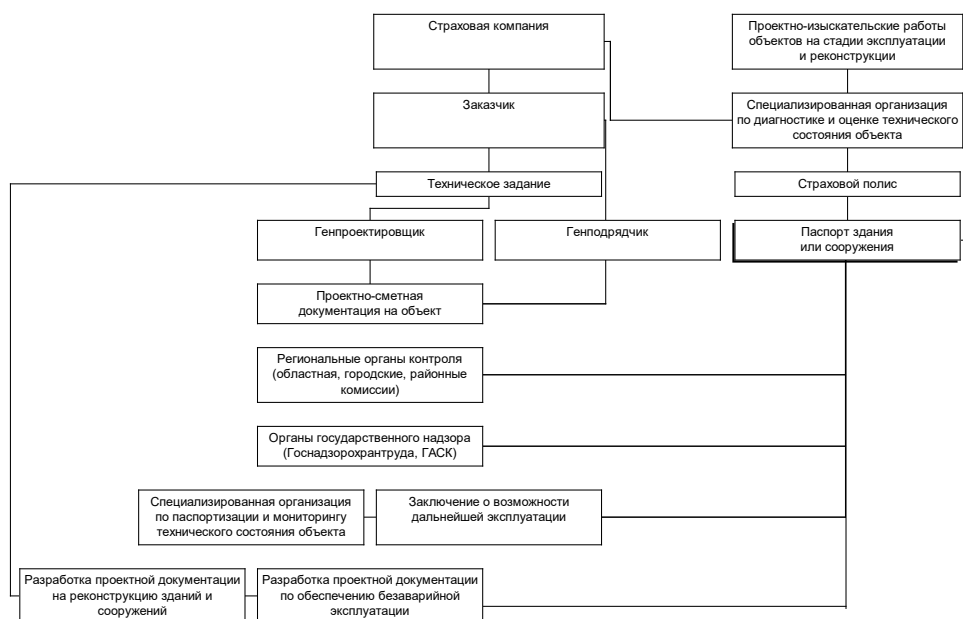


Рис. 2.6. Схема представления технической документации при разработке Паспорта технического состояния

Путем общего анализа дефектов и повреждений, а также результатов проверочных расчетов определяется техническое состояние отдельных конструкций. По несущей способности и эксплуатационным свойствам конструкции рекомендуется относить к одному из таких состояний:

- состояние конструкций I – нормальное. Фактические усилия в элементах и сечениях не превышают допустимых расчетом. Отсутствуют дефекты и повреждения, которые препятствуют нормальной эксплуатации или снижают несущую способность или долговечность;

- состояние конструкции II – удовлетворительное. По несущей способности и условиям эксплуатации отвечает состоянию I. Имеют место дефекты и повреждения, которые могут снизить долговечность конструкции. Нужны мероприятия по защите конструкции;

- состояние конструкции III – не пригодное для эксплуатации. Конструкция перегружена или имеют место дефекты и повреждения, которые свидетельствуют о снижении ее несущей способности. Но на основе проверочных расчетов и анализа повреждений возможно обеспечить ее целостность в процессе усиления;

- состояние конструкции IV – аварийное. Соответствует признакам состояния конструкции III. Но на основе проверочных расчетов и анализа дефектов и повреждений невозможно гарантировать целостность конструкций в период усиления, в особенности, если возможен «хрупкий» характер разрушения. Необходимо вывести людей из зоны возможного

обрушения, выполнить немедленную разгрузку, принять другие меры безопасности.

Здания (сооружения) в целому рекомендуется причислять к одного из таких состояний в зависимости от состояния несущих и ограждающих конструкций:

- состояние здания (сооружения) I – нормальное. В здании (сооружении) отсутствуют несущие и ограждающие конструкции, которые отвечают состоянию конструкций II (удовлетворительное), III (не пригодное для нормальной эксплуатации) и IV (аварийное);
- состояние здания (сооружения) II – удовлетворительное. В здании (сооружении) отсутствуют несущие и ограждающие конструкции, которые отвечают состоянию конструкций III (не пригодное для нормальной эксплуатации) и IV (аварийное);
- состояние здания (сооружения) III – не пригодное к нормальной эксплуатации. В здании (сооружении) отсутствуют несущие и ограждающие конструкции, которые отвечают состоянию конструкций IV (аварийное);
- состояние здания (сооружения) IV – аварийное. В здании (сооружении) выявлены несущие и ограждающие конструкции, которые отвечают состоянию конструкций IV (аварийное).

При соответствующем обосновании возможно проведение обследований и оценка технического состояния отдельных частей здания (сооружения), которые могут быть выделены по функциональным и конструктивным признакам.

Результаты обследования и оценки технического состояния объекта, полученные специализированной организацией на момент обследования, должны быть представлены в соответствии с формами Паспорта технического состояния здания (сооружения).

С целью обеспечения надежности и безопасной эксплуатации здания (сооружения) владелец здания (сооружения) должен по результатам обследования и паспортизации выполнить своевременно мероприятия по ремонту, реконструкции отдельных конструктивных элементов, систем или здания (сооружения) в целом.

При выявлении зданий (сооружений) или их конструктивных элементов, непригодных к нормальной эксплуатации или аварийноопасных объектов (III-е и IV-е состояние зданий (сооружений), или их отдельных конструкций) специализированная организация, выполняющая обследование, обязана сделать соответствующие записи в паспорте с указанием сроков устранения таких дефектов и повреждений.

Специализированная организация должна не позднее 10-ти дневного срока после окончания обследования прислать в информационный центр регистрации и мониторинга технического состояния зданий и сооружений информацию о зданиях (сооружениях) или их конструктивных элементах, отнесенных к III или IV состоянию с указанием характеристики дефектов (повреждений) и сроков их устранения.

В случае уклонения владельца (руководителя) от устранения таких дефектов и повреждений в указанные сроки, государственный инспектор может прекратить эксплуатацию здания (сооружения) или его части.

Решение о возобновлении эксплуатации таких зданий (сооружений) или их частей принимается представителями специализированной организации, территориального органа Госнадзорохрантруда и владельцем (руководителем) после выполнения соответствующего ремонта (реконструкции) и дополнительного освидетельствования этих объектов на основании акта возобновления эксплуатации объекта за подписями вышеуказанных лиц с внесением соответствующих записей в Паспорт здания (сооружения).

Эти данные также присылаются специализированной организацией в информационный центр регистрации и мониторинга технического состояния зданий и сооружений.

В случае если органы или должностные лица, осуществляющие ведомственный или государственный надзор, не согласны с владельцем (руководителем) здания (сооружения) или выводом специализированной организации, то по их требованию владелец (руководитель) обязан произвести государственную экспертизу технического состояния здания (сооружения) в другой специализированной организации при участии представителей регионального экспертно-технического центра Госнадзорохрантруда.

При выполнении работ, связанных с паспортизацией, обследованием и оценкой технического состояния объектов государственные инспекторы по надзору и охране труда имеют право:

- беспрепятственно посещать предприятия и организации независимо от форм собственности и видов деятельности для проверки соблюдения законодательных и нормативных актов по обеспечению безаварийной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей;
- выдавать собственникам и должностным лицам обязательные для исполнения предписания об устранении нарушений законодательных и нормативных актов;
- направлять в областные, городские и районные комиссии по обеспечению безаварийной и безопасной эксплуатации представления о несоответствии отдельных должностных лиц занимаемой должности;
- проводить в установленном порядке расследование обстоятельств и причин аварий, несчастных случаев, связанных с нарушением требований безопасной эксплуатации зданий и сооружений.

Обеспечение безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей на подконтрольных предприятиях включает государственный надзор за соблюдением законодательных и нормативных актов:

- соответствием требованиям правил и норм технической эксплуатации действующих и реконструируемых объектов производственного, социально-культурного и бытового назначения;

- безопасностью и техническим состоянием строительных конструкций зданий, сооружений;

- получением владельцем (руководителем) разрешения специализированной организации на дальнейшую эксплуатацию в установленные сроки специального контроля (обследования);

- проведением авторского надзора со стороны проектной организации в период эксплуатации предприятия (объекта);

- наличием сертификатов на строительные изделия и конструкции, используемые при сооружении объектов;

- вручением работникам должностных инструкций, разработанных в соответствии с требованиями законодательных и других нормативных актов по технической эксплуатации зданий и сооружений;

- соблюдением законодательства по социальному и имущественному страхованию;

- специальным расследованием несчастных случаев и аварий, связанных с нарушением нормального режима эксплуатации зданий и сооружений;

- информационно-разъяснительной работой на подконтрольных предприятиях по требованиям Закона Украины «Об охране труда» и нормативных документов Госстроя Украины.

Основными задачами служб эксплуатации зданий и сооружений являются:

- обеспечение нормального функционирования зданий на протяжении всего периода их эксплуатации по назначению;

- планирование ремонтно-строительных работ и мероприятий по поддержанию работоспособности, исправности, настройки, регулированию, подготовке к сезонной эксплуатации зданий в целом и элементов их систем;

- организация и проведение работ по ликвидации дефектов и повреждений конструкций, которые угрожают безопасности людей, нарушают санитарно-гигиенические требования, могут привести к нарушению технологического процесса или материальным затратам;

- сбор исходных данных, их дальнейший инженерный анализ с целью сравнения фактических параметров эксплуатационных качеств с нормативными значениями осуществляет служба технического надзора за состоянием строительных конструкций на предприятии в ходе проведения систематических наблюдений, общих периодических и внеочередных осмотров.

Владелец (руководитель) здания (сооружения) при организации и проведении обследования несет ответственность за:

- организацию нормальной эксплуатации зданий и сооружений в соответствии с паспортными характеристиками объекта;
- соблюдение сроков и видов обследований;
- своевременное составление договоров и полное финансирование работ по обследованию зданий (сооружений);
- полноту и достоверность представленной технической документации;
- своевременное и качественное выполнение рекомендаций, устранение замечаний, указанных при обследовании здания (сооружения) специализированной организацией, обеспечение безаварийной эксплуатации конструкций здания (сооружения).

Специализированная организация, выполняющая обследование зданий (сооружений), несет ответственность за:

- качество и достоверность материалов обследования и оценки технического состояния обследуемых зданий (сооружений);
- обоснованность выводов и рекомендаций.

Страховые организации могут заключать договора по защите имущественных интересов с владельцами (руководителями) предприятий с целью возмещения возможных экономических последствий ущерба, связанных с наступлением страховых событий.

2.7. Практическая оценка технического состояния при паспортизации объектов

В зданиях, режим эксплуатации которых характеризуется высокой интенсивностью технологических воздействий, основной причиной снижения показателей надежности и долговечности является несоблюдение регламентированных нормативными документами требований по обеспечению качества при реконструкции несущих и ограждающих конструкций.

Характеристика объекта, подлежащего экспертизе. Целью оценки состояния ограждающих металлических конструкций покрытия литейного цеха являлась экспертиза и выявление причин преждевременного коррозионного разрушения тонкостенных обшивок панелей.

Экспертиза эксплуатационного состояния конструкций покрытия проведена специалистами Донбасского центра технологической безопасности ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» на объекте в связи с заменой кровельного ограждения литейного цеха в период с мая по август 2004 г. на трехслойные бескаркасные панели полной заводской готовности из двух слоев профилированных оцинкованных листов с легким плитным минераловатным утеплителем.

Ограждающие конструкции были изготовлены и поступили для реконструкции кровли литейного цеха от предприятий поставщиков со следующими данными производителей:

- холоднокатанная оцинкованная рулонная сталь (ГОСТ 14918-92), Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича, сертификат качества № 301;
- профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства по ДСТУ Б.В.2.6-9-95, сертификат качества № 301/1 по заказу 153/38.

Проектная документация на замену кровли, содержащая обоснование конструктивных и технологических решений в процессе реконструкции с учетом технологических требований функционирования объекта отсутствовала.

При проведении экспертизы были определены следующие основные задачи:

- сбор и систематизация требований технической документации по противокоррозионной защите панелей покрытия при изготовлении и монтаже;
- оценка соответствия проектных решений замены кровли требованиям нормативных документов;
- аудит состояния ограждающих конструкций покрытия цеха и выявление закономерностей, которые отражают причины снижения эксплуатационных свойств покрытия цеха.

При экспертизе технических решений и качества выполнения работ по защите от коррозии приняты во внимание следующие нормативные требования, представленные в табл. 2.6.

Технические требования нормативных документов,
учтенные при экспертизе

Таблица 2.6

Шифр нормативного документа	Название нормативного документа
СНиП 2.03.11-85	«Защита строительных конструкций от коррозии».
СНиП 3.04.03-85	«Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии».
ГОСТ 9.302-88 ЕСЗКС	Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля.
ГОСТ 9.304-84	ЕСЗКС. Покрытия металлизационные. Обозначения, технические требования и методы контроля.
ИСО 1462-73(А)	Покрытия металлические (кроме анодных). Метод оценки результатов испытаний на ускоренную коррозию.
ГОСТ 9.308-85	ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний.
ГОСТ 9.908-85	ЕСЗКС. Металлы и сплавы. Метод определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.
Пособие к СНиП 2.03.11-85	Пособие по контролю состояния строительных металлических конструкций зданий и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектированию восстановления защиты конструкций от коррозии.
ДСТУ Б.В.2.6-9-95	Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства Технические условия.

Требования СНиП 2.03.11-85 к оценке внешних агрессивных воздействий на стальную поверхность конструкций устанавливались в соответствии с условиями Приложений 1, 2 СНиП 2.03.11-85.

Степень агрессивности воздействий по требованиям СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» (см. табл. 24, 25 в СНиП) определена для следующих однородных зон эксплуатации литейного цеха:

- зона «А» – внутри неотапливаемого здания с повышенными тепловыделениями технологических процессов литейного производства – среднеагрессивная;

- зона «В» – на открытом воздухе в условиях общезаводской среды металлургического предприятия – среднеагрессивная.

Контроль показателей коррозионной стойкости стальных обшивок и долговечности защитных покрытий панелей производился по требованиям ГОСТ 9.308-85 ЕСЗКС. Измерения толщины защитного слоя цинкового покрытия выполнялись с помощью толщиномера ЦНК-30. Оценка остаточной толщины стального профилированного листа осуществлялась ультразвуковым толщиномером типа УТ-93П.

Характеристика коррозионного состояния кровельных панелей по результатам представлена в табл. 2.7 с учетом расположения зон разрушения (рис. 2.7).

Расчетные характеристики коррозионного состояния оцинкованных стальных обшивок панелей кровли литейного цеха

Таблица 2.7

Обозначение зон объекта	Характеристическое значение годовых коррозионных потерь, A_n , г/м ²	Степень разрушения цинкового покрытия	Коррозионные потери стального листа, мм	Количество элементов с признаками предельных состояний после 1 года эксплуатации, шт	Уровень поврежденности в результате коррозионных воздействий, %
«А»	1200–1500	0,2–0,7	0,15–0,35	38	15%
«В»	2100–2300	0–0,3	0,25–0,55	12	5%



а



б

Рис. 2.7. Коррозионное состояние ограждающих конструкций литейного цеха:
 а – технологические выделения, формирующие условия среднеагрессивной среды;
 б – щелевая коррозия нахлесточных соединений вызывает образование сквозных повреждений наружных обшивок панелей

Для ограждающих конструкций обшивок панелей основным видом предельного состояния является сквозное коррозионное разрушение, характерное для участков нахлесточных соединений профилированных листов, где наблюдается интенсивная щелевая коррозия (см. рис. 2.7, б).

Оценка конструктивных решений по замене ограждающих конструкций покрытия. Степень агрессивности воздействий для строительных конструкций зданий и сооружений предприятий определяется физико-химической сущностью и параметрами технологических процессов. Состав и концентрация коррозионных сред зависят от расположения, конструктивных особенностей и режима работы промышленных установок и оборудования, характера исходного сырья и выпускаемой продукции. Происхождение агрессивных веществ, выбрасываемых в атмосферу с уходящими газами, связано с наличием в твердом и жидком топливе балластных частиц, сернистых соединений, химически связанного азота и других элементов, переходящих в продукты сгорания. Технологические выделения при литейном производстве включают тепловые, химические (паровоздушные) и пылевые воздействия.

Степень агрессивного воздействия сред для конструкций литейного цеха по требованиям СНиП 2.03.11-85 определена как «среднеагрессивная». Применение ограждающих конструкций из оцинкованной стали в таких условиях допускается при условии окрашивания битумом или лакокрасочными материалами поверхности, контактирующей с утеплителем.

Требования к защите от коррозии профилированного оцинкованного листа по ДСТУ Б.В.2.6-9-95 представлены в табл. 2.8.

Основные лакокрасочные материалы для покрытия
профилированных листов

Таблица 2.8

Системы лакокрасочных покрытий			Степень агрессивного воздействия среды при материале покрытия заготовки		
наименование и обозначение материала покрывного слоя	обозначение грунтовок	толщина покрытия, мкм	цинковое	алюмо-цинковое	алюминиевое
1	2	3	4	5	6
Без покрытия	—	—	A	B*	B*
Эмаль ГФ-2107	—	10–12	A	B*	B*
Полиэфирсиликоновые эмали МЛ-1202	ЭП-0200	25–34	B	B	B
Акрилсиликоновые эмали АС-1171, АС-5122	ЭП-0200	25–30	B	B	B
Органодисперсные краски ОД-ХВ-221	АК-0138	40–50	B	B	B

Продолжение табл. 2.8

1	2	3	4	5	6
Эпоксидная грунтовка ЭП-0140	–	70–80	В	В	В
Полихлорвиниловые пластики ПЛ-ХВ-122	АК-0138	180–220	В	С*	С*

* Применяется с ограничениями при строго определенном сочетании факторов, определяющих коррозионную агрессивность среды, в соответствии с рекомендациями компетентных организаций.

Обозначения степеней агрессивного воздействия среды по СНиП 2.03.11, принятые в таблице:

- неагрессивная – А;
- слабоагрессивная – В;
- среднеагрессивная – С.

Заключение. Качество и срок службы ограждающих конструкций с использованием оцинкованных стальных профилированных листов зависит от конструктивных решений и степени агрессивности режима эксплуатации производственных объектов.

Аудит коррозионного состояния ограждающих конструкций панелей кровли литейного произведен на основе требований «Нормативные документы по обследованию, паспортизации, безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений»; ДБН 362-92 «Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных зданий и сооружений».

На основании анализа основных технологических выделений и контроля состава газо-воздушной среды выполнено зонирование интенсивности коррозионных воздействий с учетом режима эксплуатации технологического оборудования литейного цеха установлено, что нормативные характеристики степени агрессивности среды для однородных зон эксплуатации СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» составляют:

- зона «А» внутри цехового помещения: среднеагрессивные воздействия – 1200–1500 г/м²год.
- зона «Б» на открытом воздухе производственной площадки ОАО «МЛЗ»: среднеагрессивные воздействия – 2100–2300 г/м²год.

Оценка технического состояния обшивок панелей кровельного ограждения позволила установить степень коррозионного разрушения оцинкованных покрытий профнастила по результатам первого года эксплуатации:

- зона «А» степень разрушения 0,2–0,7;

- зона «Б» степень разрушения 0,0–0,3,

что соответствует неудовлетворительному состоянию защитных свойств.

Произведенный визуальный осмотр и инструментальный контроль характера и интенсивности коррозионных повреждений конструктивных элементов стальных обшивок панелей выявил наличие сквозных поражений, характерных для предельных состояний по несущей способности и непригодности к нормальной эксплуатации.

Процессы коррозионного разрушения наиболее интенсивно протекают в зоне «В» расположения наружных обшивок панелей и на участках нахлесточных соединений конструктивных элементов зоны «А» в виде щелевой коррозии. Интенсивность коррозионного износа составляет 0,15–0,45 мм/год.

По показателям несущей способности и эксплуатационным свойствам ограждающие конструкции покрытия литейного цеха находятся в техническом состоянии III – непригодном к нормальной эксплуатации.

Увеличению скорости коррозионного разрушения способствуют технологические выделения пыли и оставшийся после ремонтных работ строительный мусор, влагонасыщение утеплителя в местах нарушения сплошности наружной обшивки панелей.

Анализ характера и интенсивности развития коррозионных поражений ограждающих конструкций кровли определяют необходимость и следующую очередность проведения ремонтно-восстановительных работ:

- техническое обслуживание конструкций, связанное с удалением пыли, грязи, строительного мусора с поверхности кровли;
- усиление, замена и противокоррозионная защита аварийно-опасных участков ограждающих конструкций, имеющих сквозные коррозионные поражения;
- предотвращение возможности обрушения панелей в результате развития коррозионных процессов путем выполнения противокоррозионной защиты ограждающих конструкций в соответствии с рекомендациями ДСТУ Б.В.2.6-9-95 и требованиями СНиП 2.03.11-85.

Раздел 3

МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

3.1. Менеджмент качества и стандартизация в области надежности строительных конструкций

Развитие многоукладной экономики в Украине, мощный взаимообмен технологиями и материалами строительных рынков разных стран, ориентация Украины на европейские принципы стандартизации, в частности добровольность к выполнению требований стандартов, необходимость развития строительства как инвестиционно привлекательной отрасли в том числе – инновационно пригодной, на фоне продолжительного периода стагнации экономики государства требуют установления новых подходов к формированию нормативно-правовой базы в строительстве.

Создание Концепции Системы нормативно-правового обеспечения строительства в Украине имеет целью обеспечение реализации единой государственной политики в сфере нормирования и стандартизации в строительстве:

- разработать организационно-правовые и методологические основы формирования Системы нормативно-правового обеспечения строительства Украины, в том числе с учетом требований законодательства Европейского Союза;
- определить приоритетные направления работ по нормированию и стандартизации в строительстве;
- создать благоприятные условия для привлечения инвестиций в строительный комплекс Украины;
- создать условия для повышения конкурентоспособности предприятий и организаций строительного комплекса государства на внутреннем и внешнем рынках;
- ввести систему единого планирования нормативно-правовых актов в строительстве.

Активизация строительной деятельности, внедрения новых технологий остро проявляют недостатки существующей нормативно-правовой базы в строительстве, которые характеризуются:

- определенными разногласиями в законодательстве, решениях Правительства, действующих строительных нормах, стандартах и других регламентирующих документах;
- торможением привлечения инвестиций как в экономику в целом, так и в строительство;
- отсутствием четкой научно обоснованной методологии определения нормативных ограничений, которые регламентируют разные аспекты создания среды жизнедеятельности человека.

Для достижения указанной цели необходимо решить такие основные задачи:

- разработать организационно-правовые и методологические основы формирования Системы нормативно-правового обеспечения строительства Украины, в том числе с учетом требований законодательства Европейского Союза;
- определить приоритетные направления работ по нормированию и стандартизации в строительстве;
- создать благоприятные условия для привлечения инвестиций в строительный комплекс Украины;
- создать условия для повышения конкурентоспособности предприятий и организаций строительного комплекса государства на внутреннем и внешнем рынках;
- ввести систему единого планирования нормативно-правовых актов в строительстве.

Основы реформирования существующей нормативно-правовой базы и создание Системы нормативно-правового обеспечения строительства в Украине:

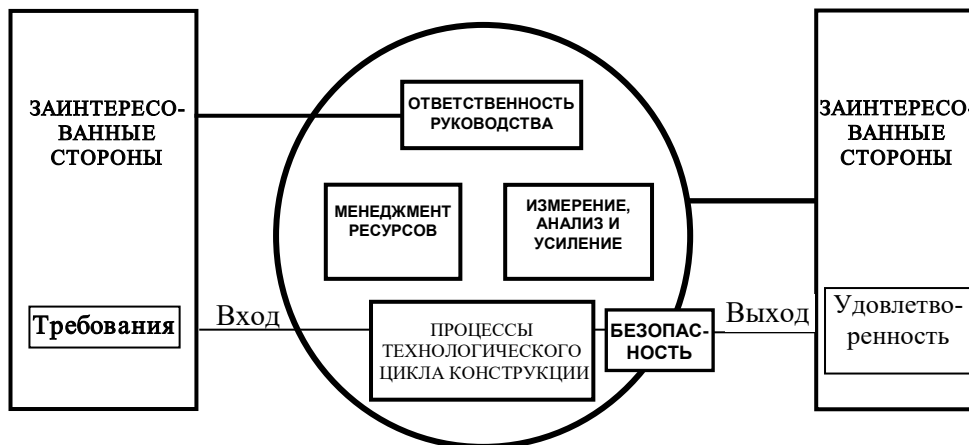
- усовершенствование законодательного урегулирования деятельности субъектов хозяйствования в строительстве;
- приоритетность механизмов технического регулирования при реализации единой государственной политики в сфере строительства;
- обеспечение соответствия назначению и безопасности объектов строительства;
- прозрачность и понимание деятельности системы для инвесторов и строителей;
- использование накопленного международного опыта с учетом особенностей и специфики области;
- обеспечение плановости и постепенности;
- обеспечение источников самосовершенствования;
- четкое структурирование Системы нормативно-правового обеспечения строительства Украины.

Достижение высокого качества может быть обеспечено за счет создания и внедрения систем качества на базе стандартов ИСО серии 9000, которые получают все большее распространение в строительстве. До недавнего времени предприятия в основном ориентировались на сертификацию продукции. К настоящему времени в мировой экономике сформулированы единые унифицированные требования к системам обеспечения качества на предприятиях, предлагающих свою продукцию и услуги на рынке. Основное среди этих требований – сертификация систем качества, соответствующих стандартам ИСО серии 9000.

Международные стандарты серии 9000 регламентируют применение принципа «процессного подхода» при разработке, внедрении и улучшении результативности и эффективности системы менеджмента качества с целью

повышения удовлетворенности заинтересованной стороны посредством выполнения ее требований.

Для результативного и эффективного функционирования организация должна определить и управлять многочисленными взаимосвязанными видами деятельности. Действие по использованию и управлению ресурсами для преобразования входов в выходы рассматривается как процесс. Часто выход одного процесса образует непосредственно вход следующего (рис. 3.1).



Условные обозначения:

Деятельность, добавляющая ценность; Поток информации

Рис. 3.1. Система менеджмента надежности и безопасности, основанная на процессном подходе

Применение в организации системы процессов (наряду с определением и взаимодействием этих процессов), а также их менеджмент могут считаться «процессным подходом».

Преимущество процессного подхода состоит в наличии управления, которое предусматривается на стыке между отдельными процессами в рамках системы процессов, а также при их комбинации и взаимодействии.

При применении внутри системы менеджмента качества такой подход подчеркивает важность:

- понимания и выполнения требований;
- необходимости рассмотрения процессов с точки зрения добавления ценности;
- достижения результатов в рабочих характеристиках процессов и эффективности;
- постоянного улучшения процессов, основанного на объективном измерении.

Модель системы менеджмента качества, основанная на процессном подходе, которая приведена на рис. 3.1, иллюстрирует понятие увязки процессов предупреждения аварийных ситуаций. Эта иллюстрация показывает, что заинтересованные стороны играют существенную роль при определении входных данных. Контролирование удовлетворенности заинтересованных сторон требует оценки информации, касающейся восприятия заинтересованными сторонами выполнения организацией их требований. Модель, приведенная на рис. 3.1, не показывает процессы управления безопасностью на детальном уровне.

3.2. Анализ развития методов технического диагностирования конструкций

Развитие теоретических и экспериментальных исследований в области диагностики и оценки остаточного ресурса стальных конструкций раскрывает новые направления обеспечения несущей способности, сформулированные академиком НАН Украины Б.Е. Патеном:

- разработка научно-технических подходов к оценке и продлению ресурса сварных конструкций;
- разработка алгоритмов и программ, связанных с определением технического состояния конструкции (диагностированием) и принятием решения о возможности дальнейшей эксплуатации конструкции;
- разработка и совершенствование информационно-измерительных систем, предназначенных для сбора и анализа информации о текущем состоянии конструкции.

Требования процедуры диагностирования металлических конструкций зданий и сооружений. основываются на общих положениях и подходах, установленных системой управления и обеспечения качества (ДСТУ ISO 9001-9004), и включают указания по порядку предоставления услуг, направленных на разработку программы обеспечения надежности (ПОН). Техническое освидетельствование металлических конструкций должно выполняться регулярно, с периодичностью, которая устанавливается в ведомственных правилах (инструкциях) по эксплуатации зданий и сооружений.

Периодичность технического освидетельствования конструкций назначается проектной организацией (автором проекта) с последующим уточнением при выполнении паспортизации. Срок последующего технического освидетельствования назначается специализированной организацией, которая выполняла первое обследование с целью паспортизации.

Внеочередное техническое освидетельствование состояния конструкций выполняется специализированными организациями при выявлении отклонений от режима нормальной эксплуатации службами технического надзора предприятий и органов Госнадзорохрантруда.

Оценка технического состояния конструкции (техническое диагностирование) с учетом режима эксплуатации выполняется для определения срока службы конструктивных элементов, в течение которого не проявляются признаки предельных состояний.

ПОН, включает результаты экспертного диагностирования для определения мероприятий, связанных с поддержанием работоспособного состояния объектов, организацией технического надзора за безаварийной эксплуатацией металлических конструкций зданий и сооружений.

Диагностика технического состояния конструктивных элементов объектов различного назначения производится на основе вероятностно-

физического метода анализа надежности, включающего количественную оценку показателей надежности на основе статистической информации об отказах и статистическую информацию о физических процессах, приводящих к отказам.

При выполнении экспертного обследования строительных металлоконструкций, как правило, используются следующие методы и средства технической диагностики:

- механические – для определения механических свойств материалов конструкций;
- инженерно-геологические – для выяснения гидрогеологической обстановки и определения свойств грунтового основания;
- физические – для определения физических и динамических свойств материалов и конструкций;
- натурных испытаний – для определения интегральных характеристик конструкций зданий.

По данным экспертного обследования (динамические, физико-механические, акустические характеристики) проводится расчетно-аналитическая оценка несущей способности (сейсмостойкости) зданий и конструкций.

При определении остаточного ресурса и требований безопасной эксплуатации металлоконструкций основными задачами технического диагностирования являются:

- выявление внутренних и внешних дефектов и повреждений с использованием методов неразрушающего контроля;
- определение фактических геометрических параметров расположения и толщин элементов с учетом эксплуатационного состояния;
- анализ характера и интенсивности деградиационных процессов конструкций, т.е. установление закономерностей снижения основных расчетных характеристик материала;
- зонирование конструктивных элементов по параметрам напряженно-деформированного состояния с учетом вида и степени развития дефектов и повреждений;
- оценка степени опасности выявленных несовершенств конструктивной формы по результатам расчета коэффициента концентрации напряжений.

При рассмотрении этапов технической диагностики как информационного процесса и абстрагировании от физической сущности методов неразрушающего контроля, можно выделить следующие составляющие задачи оценки технического состояния объектов:

- получение первичной измерительной информации с помощью преобразователей и приведение ее в форму удобную для дальнейшей обработки;
- обработка информации и представление результатов обработки в форме пригодной для анализа и дальнейшей интерпретации;

- проведение анализа полученной информации и формирование решения о состоянии контролируемого объекта, возможности его нормального функционирования или прогнозирование его остаточного ресурса.

Под преобразователями могут подразумеваться любые устройства как активного, так и пассивного принципа действия, которые обеспечивают взаимосвязь контролируемого физического параметра (или нескольких параметров) с поддающимся регистрации выходным параметром преобразователя (откликом). В ряде методов неразрушающего контроля отклик может регистрироваться в форме образа, который может непосредственно подвергаться анализу (капиллярные, оптические методы). В других методах используется отклик в форме электрического сигнала, который наиболее удобен для регистрации и дальнейшей обработки. Первичная информация, как правило, регистрируется в виде пространственно-временного распределения откликов. Дальнейшая обработка информации может осуществляться как в аналоговом виде, так и цифровом видах в зависимости от сложности алгоритма и ценовой целесообразности. В настоящее время преобладает тенденция использования цифровой обработки информации, что обеспечивает ряд преимуществ.

В зависимости от используемого метода контроля алгоритмы обработки первичной информации могут отличаться, но конечным результатом технического диагностирования является характеристика распределения контролируемой физической величины (например, зонирование дефектов и повреждений, их физических параметров) строительных конструкций объекта (в плане, схематически или уровнем безопасности). Предполагается, что значения диагностических параметров достаточно точно реконструируются на основании полученной первичной информации. Кроме визуально-оптического выявления дефектов и повреждений фиксируются количественные значения параметров, которые необходимы для формализации задачи дефектометрии при дальнейших прочностных и ресурсных расчетах.

При всем разнообразии используемых методов контроля, типов контролируемых параметров и дефектов, количество алгоритмов получения конечного результата не так велико. Оно сводится в основном к различным типам комплексных преобразований, решений систем уравнений и методам обратной реконструкции (типа преобразование Радона, метод SAFT-C и т.п.). Следует отметить, что комплексная оценка технического состояния конструкций достигается при использовании нескольких методов неразрушающего контроля и сопоставлении полученных результатов технического диагностирования.

Современные подходы к решению диагностических задач базируются на применении эффективных методов и систем неразрушающего контроля:

- визуально-оптического (VT);
- радиационного (RT);

- ультразвукового (УТ);
- вихретокового (ЕТ);
- магнитного(МТ);
- капиллярного (РТ);
- контроля герметичности (LT).

Акустическая диагностика развивается в направлении разработки методов и создания технических средств, включающих использование:

- эхо-импульсных толщиномеров;
- приборов ультразвуковой дефектоскопии;
- ультразвуковых томографов для контроля строительных конструкций из бетона и железобетона;
- акустических течеискателей;
- импедансных дефектоскопов для контроля сотовых и многослойных клееных композитных материалов;
- акустических дефектоскопов для контроля композиционных материалов методом свободных колебаний.

Магнитная и вихретоковая диагностика относится к методам, наиболее разработанным и освоенным, включающим применение аппаратных средств и комплексов:

- снарядов-дефектоскопов и снарядов-профилемеров для действующих газо- и нефтепроводов;
- дефектоскопов и установок поточного контроля труб и проката на заводах-изготовителях и потребителях труб;
- портативных вихретоковых дефектоскопов для обнаружения и оценки степени опасности поверхностных дефектов, портативных вихретоковых структуроскопов с локальными преобразователями для экспресс-контроля физико-механических свойств узлов и деталей из магнитных и немагнитных металлов и сплавов;
- портативных магнитных и вихретоковых толщиномеров для измерения толщины лакокрасочных, фотолаковых, теплозащитных, изоляционных, противокоррозионных и других видов покрытий на ферромагнитных сталях и немагнитных металлах;
- установок для контроля физико-технических параметров деталей машиностроения, толщины покрытия, нарушений сплошности материала деталей;
- приборов для контроля параметров железнодорожных путей.

Развитие капиллярных методов контроля идет в направлении создания:

- источников ультрафиолетового излучения для люминесцентной дефектоскопии;
- установок для цветной дефектоскопии;
- методов технологических процессов капиллярной дефектоскопии.

Для решения задач, связанных с оптической и тепловой диагностикой, разработаны и внедряются:

- лазерные и телевизионные средства контроля макро- и микрогеометрии;
- металлографические микроскопы для анализа структуры материалов;
- оптические профилометры;
- микротелевизионные измерительные дефектоскопические системы;
- средства технической оптоволоконной и телевизионной эндоскопии;
- негатоскопы и денситометры для расшифровки рентгенограмм, в том числе компьютерные;
- приборы для измерения световых характеристик (яркомеры, колориметры, люксметры и т.п.);
- неохлаждаемые тепловизионные аппаратурные средства и комплексы для визуализации и анализа температурных полей;
- дистанционные измерители температуры (пирометры);
- системы активной тепловой дефектоскопии;
- волоконно-оптические датчики температур и термоиндикаторы.

Существующие методики термографической инспекции строительных сооружений в естественных условиях ориентированы главным образом на качественный характер получаемых результатов и не претендуют на количественные оценки. Они не регламентируют жесткую технологию, а дают более широкое описание необходимых действий, не ограничивая исполнителей в том, как их следует выполнять. Эти методики не являются догмами, ежегодно обсуждаются и пересматриваются, совершенствуются применительно к конкретным объектам.

Радиационная (рентгеновская) диагностика имеет широкий спектр рентгентелевизионных установок от портативных и мобильных, работающих в диапазоне рентгеновского излучения до 120 кВ, до стационарных систем с высокоэффективным преобразованием и энергией излучения до 300 кВ. Помимо этого, получили распространение высокоэффективные частотно-импульсные мобильные рентгеновские аппараты и весь спектр аксессуаров для радиографического контроля, а также рентгеновские комплексы, предназначенные для измерения толщины листового проката в процессе прокатки.

Рост опасности международного терроризма создал потребность в использовании широкого спектра технических средств, предназначенных для решения задач антитеррористической и криминалистической диагностики:

- поисково-досмотровых средств;
- аппаратуры наблюдения и контроля;
- криминалистического оборудования;
- идентификационных средств.

В основе указанных средств лежат методы контроля, основанные на рентгеновском, оптическом (в том числе инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах) и тепловом, акустическом.

Развитие комплексной диагностики осуществляется на основе поиска оптимального соотношения физических методов для решения сложных диагностических задач и создания комплексов технических средств, в состав которых могут входить:

- портативные средства радиационной интроскопии;
- оптические и тепловизионные системы контроля;
- акустические средства контроля и визуализации внутренней структуры (томографы);
- средства сбора данных, их обработки, архивирования, представления и передачи по каналам связи, в т.ч. и Интернету.

Проблемы техногенной безопасности актуальны по многим причинам и, в первую очередь, из-за большого количества опасных производств, в том числе ядерных, химических и биологических, а также громадной протяженности магистральных газо-, нефте- и продуктопроводов, большая часть из которых имеет длительные сроки эксплуатации.

В настоящее время реализация практически любых алгоритмов может быть осуществлена с помощью современных средств вычислительной и микропроцессорной техники, как на базе стандартных вычислительных средств, так и в виде специализированных автономных малогабаритных устройств с требуемой производительностью работы. Выбор варианта реализации определяется имеющимися материальными ресурсами для решения задачи неразрушающего контроля и категориями целесообразности.

Конечной целью экспертного диагностирования является не только получение информации о наличии дефектов и повреждениях, их физических параметрах, но и формирование решения о состоянии контролируемого объекта, возможности его нормального функционирования или прогнозирование его остаточного ресурса. Для однотипных объектов (котлы, грузоподъемные механизмы, сварные металлоконструкции) выработаны методические рекомендации, формализующие процесс принятия решения. В других случаях требуется эвристический подход или использование ассоциативных решений, принимаемых на основании выборочных тестовых разрушающих испытаний.

В перспективе для этой цели предполагается использовать самообучающиеся структуры на основе нейронных процессоров, которые при наличии обратной связи, подтверждающей или опровергающей правильность принятого решения (на основании дальнейших разрушающих испытаний замененных конструкций), что повышает достоверность принятия решений на окончательном этапе экспертного диагностирования. Причем, при пространственном разнесении мест получения первичной информации, ее обработка и принятие решений возможна с использованием сетей Internet.

При рассмотрении проблемы обеспечения безопасной эксплуатации конструкций большое внимание уделяется созданию аппаратного и программного обеспечения, основанного на методе акустико-эмиссионного контроля, что позволяет выполнять 100% диагностирование

крупногабаритных объектов в процессе эксплуатации без их разборки и предварительной подготовки. Традиционные методы диагностирования не всегда и не в полной мере решают проблему безопасной эксплуатации конструкции, что связано с большими объемами работ, а в ряде случаев и практическом отсутствии доступа к объекту контроля. Анализ работ по применению метода АЭ показывает, что метод имеет высокие потенциальные возможности при диагностировании различных видов конструкций, работающих под различными видами нагрузок, а главное – позволяет контролировать практически всю поверхность объекта, включая труднодоступные места. Развитие средств и методов контроля материалов на базе метода акустической эмиссии обеспечивает возможность использования в настоящее время систем диагностики, позволяющих прогнозировать разрушающую нагрузку конструкций на ранних стадиях разрушения при оценке ресурса. Технологии идентификации вектора состояния материала (ВСМ) включают использование сложного математического аппарата теории распознавания образов, разработанного в Институте электросварки им. Е.О. Патона, что позволяет формализовать процедуру контроля напряженно-деформированного состояния сварных конструкций с помощью диагностической аппаратуры ЕМА-3.

3.3. Расчетная оценка показателей надежности

В зависимости от наличия исходной информации, стадии разработки и степени сложности объекта возможны такие схемы расчета надежности:

- расчет показателей надежности по известным функциям распределения наработок к отказу (ресурса, срока службы, срока сохранности и продолжительности восстановления);
- расчет показателей надежности на основе анализа физических процессов деградации объекта;
- расчет показателей надежности на основе прочностных характеристик материала, деталей и условий их нагрузки во время эксплуатации;
- расчет показателей надежности объектов по известным значениям показателей надежности их составных частей.

Порядок расчета надежности в общем случае состоит из:

- идентификации объекта, которая состоит в установлении состава, структурной схемы надежности, условий эксплуатации, нагрузок, характеристик прочности, критериев отказов (критических и предельных состояний) объекта и его элементов, стратегии технического обслуживания и ремонта;
- установления (определения) показателей надежности элементов (составных частей) объекта с использованием справочных данных (банков данных) или установленных в этом стандарте методов;
- расчет показателей надежности объекта в целом на основе установленных в этом стандарте методов.

Результаты расчета надежности оформляют в виде раздела объяснительной записки (технического описания) или самостоятельного отчета, который допускает возможность независимой проверки расчетов при экспертизе проекта и контроля выполнения.

Программа обеспечения надежности (ПОН) содержит:

- идентификацию объекта;
- цель и методику;
- расчетные значения показателей надежности;
- вывод о соответствии рассчитанных показателей надежности установленным требованиям;
- рекомендации относительно обеспечения заданного уровня надежности.

3.3.1. Расчет при известных функциях распределения наработки до отказа

Этот подход к расчету надежности применяется, когда экспериментально, методами прогнозирования или экспертной оценки,

установлены параметры функции распределения наработок до отказа (ресурс, срок службы, срок сохранности и продолжительности восстановления).

Исходными данными для расчета показателей надежности являются установленные вид и значения параметров закона распределения (например, в виде распределения вероятностей).

Этот метод используется на начальных этапах проектирования для ориентировочной (приблизительной) оценки показателей надежности.

В общем случае при произвольном законе распределения и известном выражении для плотности распределения вероятности $f(t)$ проводят дальнейшие расчеты показателей надежности невосстанавливаемого объекта.

Функцию распределения наработки объекта до отказа $F(t)$ (ресурс, срок службы, срок сохранности) определяют интегрированием ее плотности по формуле:

$$F(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau. \quad (3.1)$$

Средняя наработка до отказа T_{cp} (средний ресурс T_p , средний срок службы $T_{сл}$, средний срок сохранности T_c) определяется по формуле:

$$T_{\bar{n}\delta} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt. \quad (3.2)$$

Гамма-процентная наработка до отказа T_γ (гамма-процентный ресурс $T_{p\gamma}$, гамма-процентный срок службы $T_{сл\gamma}$, гамма-процентный срок сохранности $T_{c\gamma}$) имеет вид:

$$1 - F(T_\gamma) = 1 - \int_0^{T_\gamma} f(t) dt = \gamma/100. \quad (3.3)$$

Вероятность безотказной работы объектов $P(t_0)$ в интервале времени $(0, t_0)$ определяют по формуле:

$$P(t_0) = \int_0^{\infty} f(t) dt = 1 - F(t_0). \quad (3.4)$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ представляется зависимостью:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{\left(1 - \int_0^t f(t) dt\right)}. \quad (3.5)$$

Для основных законов распределения расчет показателей надежности, приведенных в (3.2)–(3.5), следует проводить в соответствии с соответствующим выражением, приведенным в табл. 3.1.

Формулы для расчета показателей надежности невосстанавливаемого объекта
по известным функциям распределения

Таблица 3.1

Закон распределения с густотой $f(t)$	Средний показатель $(T_{cp}, T_p, T_{cl}, T_c, T_\theta)$	Гамма-процентный показатель $(T_\gamma, T_{p\gamma}, T_{cl\gamma}, T_{c\gamma})$	Вероятность безотказной работы $P(t)$	Интенсивность отказов $\lambda(t)$
1	2	3	4	5
Экспоненциальный $\lambda e^{-\lambda t}$ λ – параметр масштаба распределения; $\lambda > 0$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda} \left(-\ln \frac{\lambda}{100} \right)$	$e^{-\lambda t}$	λ
ДМ-распределение (диффузионное монотонное распределение) $\frac{(t + \mu) \exp \left[-\frac{(t - \mu)^2}{2v^2 \mu t} \right]}{2vt \sqrt{2\pi \mu t}}$ μ – параметр масштаба; v – параметр формы; $\mu > 0; v > 0$	$\mu \left(1 + \frac{v^2}{2} \right)$	$\mu \left[1 + \frac{U_\lambda^2 v^2}{2} - \right. \\ \left. - U_\lambda v \left(1 + \frac{U_\lambda^2 v^2}{4} \right)^{1/2} \right]$	$\Phi \left(\frac{\mu - t}{v \sqrt{\mu t}} \right)$	$\frac{(t + \mu) \exp \left[-\frac{(t - \mu)^2}{2v^2 \mu t} \right]}{2vt \sqrt{2\pi \mu t} \Phi \left(\frac{\mu - t}{v \sqrt{\mu t}} \right)}$

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5
DN-распределение (диффузионное немонотонное распределение) $\frac{\sqrt{\mu} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2v^2\mu t}\right]}{vt\sqrt{2\pi t}}$ μ – параметр масштаба v – параметр формы; $\mu > 0; v > 0$	μ	$\mu x\left(1-\frac{\gamma}{100}; v\right)$	$\Phi\left(\frac{\mu-t}{v\sqrt{\mu t}}\right) -$ $-e^{2v^{-2}}\Phi\left(-\frac{\mu+t}{v\sqrt{\mu t}}\right)$	$\frac{(vt\sqrt{2\pi t})^{-1} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2v^2\mu t}\right]}{\Phi\left(\frac{\mu-t}{v\sqrt{\mu t}}\right) - e^{\frac{2}{v^2}}\Phi\left(-\frac{\mu+t}{v\sqrt{\mu t}}\right)} \sqrt{\mu}$
Логарифмически нормальный $\frac{\exp\left[-\frac{(\ln t - a)^2}{2\sigma^2}\right]}{\sigma t\sqrt{2\pi}}$ a – параметр масштаба σ – параметр формы; $a > 0; \sigma > 0$	$\exp\left(a + \frac{\sigma^2}{2}\right)$	$\exp\left[a\left(1 - u_{\gamma} \frac{\sigma}{a}\right)\right]$	$\Phi\left(\frac{a - \ln t}{\sigma}\right)$	$\frac{\exp\left[-\frac{(\ln t - a)^2}{2\sigma^2}\right]}{\sigma t\sqrt{2\pi}\Phi\left(\frac{a - \ln t}{\sigma}\right)}$

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5
Вейбулла $\frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right]$ a – параметр масштаба; b – параметр формы; $a > 0; b > 0$	$a \Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right)$	$a \left(- \ln \frac{\gamma}{100} \right)^{\frac{1}{b}}$	$\exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right]$	$\frac{b}{a^b} t^{b-1}$

Примечание 1. U_γ – квантиль нормированного нормального распределения уровня γ .

Примечание 2. $\Phi(\cdot)$ – нормальное распределение.

Примечание 3. $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция.

Примечание 4. $x(1 - \gamma/100; \nu)$ – определяют по таблицам К.1 – К.3 (ДСТУ 2862-94) по значениям $F = 1 - \gamma/100$ или из решения уравнения

$$\Phi \left(\frac{x-1}{\nu \sqrt{x}} \right) + e^{\frac{2}{\nu^2}} \Phi \left(- \frac{x+1}{\nu \sqrt{x}} \right) = 1 - \frac{\gamma}{100}$$

Примечание 5. Значения функций $\Phi(\cdot)$ и $\Gamma(\cdot)$ приведены в табл. Л.6, Л.7 (ДСТУ 2862-94).

Показатели ремонтпригодности, при известном законе распределения продолжительности восстановления (плотности $f_b(t)$) определяют в следующем порядке:

– средняя продолжительность восстановления T_s по формуле:

$$T_{\bar{a}} = \int_0^{\infty} t \cdot f_{\bar{a}}(t) dt; \quad (3.6)$$

– вероятность восстановления работоспособного состояния $P_s(t_0)$ за заданное время t_0 по формуле:

$$P_{\bar{a}}(t_0) = \int_0^{t_0} f_{\bar{a}}(t) dt; \quad (3.7)$$

– интенсивность восстановления $\lambda_s(t)$ определяют по формуле:

$$\lambda_{\bar{a}}(t) = \frac{f_{\bar{a}}(t)}{\left(1 - \int_0^t f_{\bar{a}}(t) dt\right)}; \quad (3.8)$$

Для произвольного закона распределения при известной плотности распределения вероятностей $f_b(t)$ выполняют расчеты показателей надежности восстанавливаемого объекта.

Среднюю наработку объекта между отказами в произвольный момент времени t (суммарная наработка) определяют по формуле:

$$T_0(t) = \frac{t_2 - t_1}{[\Omega(t_2) - \Omega(t_1)]} = \frac{t_2 - t_1}{\Omega\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) - \Omega\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)}, \quad (3.9)$$

где $t_1 = t - \Delta t/2$; $t_2 = t + \Delta t/2$; $\Delta t = t_2 - t_1$; $\Omega(t_i)$ – математическое ожидание числа отказов (функция восстановления) объекта в момент суммарной наработки t_i :

$$\Omega(t) = \sum_{m=1}^{\infty} F^m(t);$$

$$F^m(t) = \int_0^t F^{m-1}(t - \tau) dF(\tau),$$

$F^m(t)$ – функция распределения суммарной наработки до m -го отказа.

Значение Δt принимают приблизительно таким, что равняется ожидаемому значению $T_0(t)$.

Параметр потока отказов в произвольный момент времени (суммарная наработка) определяют по формуле:

$$\omega(t) = \sum_{m=1}^{\infty} f^m(t), \quad (3.10)$$

где

$$f^m(t) = \frac{dF^m(t)}{dt},$$

или по формуле

$$\omega(t) = \frac{1}{T_0(t)},$$

где $T_0(t)$ определяют по формуле (3.9).

Коэффициент готовности объекта в произвольный момент времени определяют по формуле:

$$K_r(t) = 1 - F(t) + \int_0^t [1 - F(t - \tau)] \omega(\tau) d\tau, \quad (3.11)$$

или по приближенной формуле:

$$K_r(t) = \frac{T_0(t)}{[T_0(t) + T_a(t)]},$$

где $T_0(t)$ определяют по формуле (3.9), а $T_a(t) \approx T_a$ по формуле (3.6).

Коэффициент технического использования $K_{ТИ}(t)$ в произвольный момент времени определяют по формуле:

$$K_{\dot{O}\dot{E}} = \frac{K_r(t) t_A}{t_{ин}}, \quad (3.12)$$

где $t_{ном}$ – номинальный фонд времени, на протяжении которого объект может использоваться по назначению; t_d – действительный фонд времени работы объекта, который равняется номинальному фонду, за исключением простоев, связанных с проведением планового технического обслуживания и ремонта.

Для основных законов, распределения расчет показателей надежности, указанных выше, а также коэффициента оперативной готовности $K_{OT}(t)$ следует проводить по соответствующим формулам табл. 3.2.

В табл. 3.2 приведены формулы только для экспоненциального и DN-распределения. Для других распределений (DM-распределения, логарифмически нормального, Вейбулла) вследствие того, что эти распределения не имеют способности к свертыванию, аналитические выражения для указанных показателей не получены.

Формулы для расчета надежности восстанавливаемого объекта
по известным функциям распределения

Таблица 3.2

Показатель надежности	Экспоненциальное распределение	DN- распределение
1	2	3
Параметр потока отказов в произвольный момент времени (суммарной наработки), $\omega(t)$	λ	$\sum_{m=1}^M \frac{m\sqrt{T_1}}{\nu_1 t \sqrt{2\pi t}} \times \exp\left[-\frac{(t - mT_1)^2}{2\nu_1^2 t T_1}\right],$ $3 \leq M \leq 6$
Функция восстановления (математическое число отказов), $\Omega(t)$	λt	$\sum_{m=1}^M \left\{ \Phi \frac{t - mT_1}{\nu_1 \sqrt{t T_1}} + \exp\left(\frac{2m}{\nu_1^2}\right) \Phi \frac{t + mT_1}{\nu_1 \sqrt{t T_1}} \right\}$
Средняя наработка до отказа, $T_0(t)$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1/\omega(t) \text{ или } \Delta t}{\Omega\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) - \left[\Omega\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)\right]}$
Вероятность безотказной работы объекта в интервале $(t, t+\tau)$, когда t совпадает с моментом начала функционирования после очередного отказа (восстановления), $P(\tau)$	$e^{-\lambda t}$	$\Phi \left[\frac{T_0(t) - \tau}{\nu_1 \sqrt{\tau T_0(t)}} \right] - e^{-\left(\frac{2m}{\nu_1^2}\right)} \Phi \left[-\frac{T_0(t) + \tau}{\nu_1 \sqrt{\tau T_0(t)}} \right]$
Коэффициент готовности объекта, $K_r(t)$	$\frac{T_1}{T_1 + T_B} + \frac{T_B}{T_1 + T_B} e^{-t\left(\lambda + \frac{1}{T_B}\right)}$	$\frac{T_0(t)}{T_0(t) + T_B}$
Коэффициент оперативной готовности, $K_{op}(t)$	$K_r(t) e^{-\lambda x}$	$K_r(t) \cdot P(\tau)$
Коэффициент технического использования, $K_{mu}(t)$	$\frac{K_r(t) t_{\bar{A}}}{t_{iii}}$	$\frac{K_r(t) t_{\bar{A}}}{t_{iii}}$

3.3.2. Расчет на основе анализа физических процессов деградации объекта

Эту схему расчета надежности используют для расчета показателей безотказности, долговечности и сохранности объектов, для которых известны физические процессы деградации, которые приводят к отказам (предельному состоянию) во время эксплуатации (сохранения), и установленные определяющие параметры технического состояния объекта.

Метод может быть использован как для приближенных, так и для уточненных расчетов в зависимости от полноты исходных данных.

Исходные данные:

- критерием отказа элемента (объекта) является выход определяющего параметра за одну из границ допуска;
- известно (или определяется экспериментально) предельное значение определяющего параметра P , его начальное значение P_0 и средняя скорость смены изменения параметра в условиях эксплуатации a .

На основании анализа механизма (физических и химических процессов), которые предопределяют изменение определяющего параметра (износа, электросопротивления, емкости и т.п.), устанавливают преобладающий процесс деградации (монотонный или немонотонный ход изменения определяющего параметра) и выбирают вид распределения.

Если есть экспериментальные данные по измерениям прироста (изменения) определяющего параметра, известным способом определяют среднюю скорость изменения определяющего параметра a и коэффициент вариации этой скорости v . При отсутствии достаточных статистических данных для оценки коэффициента вариации скорости v используют рекомендации, приведенные в ДСТУ 2862-94.

В зависимости от типа процесса (монотонный, немонотонный) и параметров P_0 , P , a , v , определяют показатели надежности в соответствии с установленными зависимостями

3.3.3. Расчет по характеристикам прочности материала и условиям нагружения конструкций при эксплуатации

Эту схему расчета надежности используют при расчете показателей долговечности деталей машин, для которых известны характеристики прочности (граница выносливости, показатель степени кривой усталости) и характеристики нагруженности детали (средняя амплитуда напряжений и коэффициент вариации этой амплитуды).

Метод может использоваться для приближенных или уточненных расчетов в зависимости от полноты исходных данных.

Порядок расчета долговечности, которая обусловленная усталостью, такой:

- составляют структурную схему надежности (ССН) детали в виде возможного числа компонентов, способных вследствие циклических нагрузок достигать предельного состояния;
- выбирают одну из возможных схем нагрузки и разрушения по каждому предельному состоянию (усталости при изгибе или контактной усталости);
- определяют расчетную нагрузку для каждого из компонентов (среднее значение и коэффициент вариации);
- определяют предельное значение несущей способности (границы выносливости) детали с учетом свойств материала, геометрии, концентраторов напряжений в соответствии с ГОСТ 25.504;
- рассчитывают с учетом характеристик кривой усталости материала детали и режима нагружения медианное значение ресурса (долговечности);
- определяют расчетным методом или путем использования информации об аналогах, коэффициент вариации распределения ресурса детали;
- рассчитывают показатели надежности относительно принятого конкретного предельного состояния, используя закон распределения долговечности, в соответствии с методами, представленными выше.

3.3.4. Расчет с учетом известных показателей надежности составных частей

Расчет показателей надежности объекта по показателям надежности составных частей проводят на стадии проектирования при:

- определении приближенных показателей надежности;
- сравнении различных вариантов конструктивных решений объекта;
- определении окончательных (уточненных) значений показателей надежности.

При проведении расчетов как исходные данные используют:

- принципиальные, функциональные и структурные схемы объектов;
- результаты испытаний, справочные или нормативные данные о надежности составных частей;
- данные о системе технического обслуживания и ремонта объектов-аналогов;
- критерии отказов и предельных состояний объекта и его составных частей.

Для уточненных расчетов показателей надежности объектов необходима более полная информация о показателях надежности составных элементов. Полной характеристикой надежности элемента является закон распределения наработки до отказа (ресурс). Для методов расчета, регламентированных ДСТУ 2862-94, необходимыми показателями

надежности элементов является средняя наработка до отказа (ресурс) элемента $T_в$, и коэффициент вариации наработки до отказа v_3 .

Исходными данными для определения необходимых показателей надежности конструкций являются данные об аналогах, характеристиках прочности материала элементов, условиях их нагружения во время эксплуатации или результаты анализа изменения определяющего параметра.

При определении приближенных значений показателей надежности объект разделяют на функциональные системы и подсистемы, отказы которых независимы, и составляют ССН объекта в виде последовательного соединения блоков и подсистем.

Для расчета как исходную информацию допускается использовать значения показателей надежности систем и подсистем, установленные в нормативной документации, а также запланированные значения или данные, полученные расчетными методами.

При построении структурных схем надежности допускается исключать из рассмотрения элементы, которые не оказывают заметного влияния на значение искомого показателя надежности объекта в целом.

При сравнении различных вариантов объекта решение принимается по альтернативному признаку (надежность «высшая» или «низшая»).

В случае, когда варианты объекта имеют конструктивное сходство различаются только схемой нагружения составных частей, сравнительная оценка сводится к оценке показателей надежности этих частей.

Если варианты объекта различаются конструкцией нескольких составных частей, сравнения показателей надежности проводят по этим частями.

При невозможности или нецелесообразности проведения сравнительных расчетов допускается проводить сравнительную оценку показателей надежности экспертным методом.

Структурную схему объекта разрабатывают с целью размещения элементов по уровням их подчиненности, уточнения связей между ними, установления критериев отказов и предельных состояний.

Выбор ССН, которые характеризуют состояние объекта, производится в зависимости от работоспособного и неработоспособного состояния элементов.

Методы расчета надежности, регламентированные для ССН, распространяются на объекты, структура которых может быть представлена последовательным, параллельным и возможными комбинациями последовательного и параллельного соединения элементов.

Характеристика наиболее типичных ССН приведенная в табл. 3.3.

Характеристика типовых ССН

Таблица 3.3

Название ССН	Обозначения	Характеристика
1	2	3
Последовательная из разнотипных элементов	ССН-1	Объект состоит из последовательно соединенных разнотипных элементов. Отказ объекта наступает при отказе любого элемента.
Структура типа « k из n »	ССН-2	Объект состоит из параллельно соединенных однотипных элементов. Отказ объекта наступает при отказе $(r+1)$ элементов ($r = n-k$).

Примечание 1. k – минимальное количество работоспособных элементов, необходимое для функционирования объекта.

Примечание 2. При $k = 1$ ССН-2 является параллельной структурой с n однотипных элементов.

В зависимости от номенклатуры элементов (составных частей) объекта устанавливаются их показатели надежности (средняя наработка T_i и коэффициент вариации наработки v_i к отказу элементов, средняя продолжительность восстановления T_{ei} элементов).

На основе полученных значений показателей надежности элементов и деталей проводят расчет показателей надежности составных частей и объекта в целом в соответствии с изложенным выше.

3.4. Оценка показателей надежности по экспериментальным данным

Под оценкой показателей надежности по экспериментальным данным понимают точечную или интервальную (границы доверительного интервала, в котором с заданной вероятностью находится действительное значение показателя) оценку показателя.

Оценка показателей надежности выполняется для количественного анализа надежности и (или) контроля показателей надежности с помощью доверительных граничных условий

Для определения показателей надежности используют два метода:

- непараметрический – при неизвестном виде закона распределения случайной величины (наработки до отказа, ресурса, срока службы, термина сохранности, продолжительности восстановления), что содержит в себе непосредственную оценку показателей надежности по выборочным данным;
- параметрический – при известном виде закона распределения случайной величины, содержащий в себе оценку параметров закона распределения, которые входят в расчетную формулу определяемого показателя надежности, и оценку показателя надежности по рассчитанным оценкам параметров закона распределения.

Для расчета показателей надежности выполняют такие работы:

- выбор плана испытаний на надежность;
- планирования испытаний;
- сбора необходимой информации;
- статистическую обработку информации.

В технически обоснованных случаях допускается не проводить планирование испытаний.

Выбор плана испытаний на надежность. План испытаний на надежность устанавливает число объектов испытаний, порядок проведения испытаний (с восстановлением работоспособного состояния объекта после отказа, замены объекта, который отказал, или без восстановления и замены) и критерий их прекращения.

Объектами испытаний являются изделия одного типа, не имеющие конструктивных или других отличий, изготовленные по единой технологии и испытанные при идентичных условиях.

Выбор планов испытаний зависит от типа объекта испытаний, цели испытаний, показателей надежности, которые оцениваются, условий испытаний и других технико-экономических факторов.

Планирование испытаний на надежность. Планирование испытаний на надежность предусматривает определения нужного объема испытаний для расчета оценок показателей надежности с заданными точностью (относительной погрешностью ε в оценке показателя надежности) и достоверностью (доверительной вероятностью q).

Под объемом испытаний понимают для планов:

- [NUN] – число объектов испытаний N или число восстановления работоспособного состояния (во время испытаний с целью показателя «средняя продолжительность восстановления»);

- {NUR, {NMR J, [NRr] – число объектов N и число отказов (предельных состояний) испытанных объектов;

- [NUT J, [NMT J, [NRT J – число объектов N и продолжительность испытаний T .

Исходными данными для расчета объема испытаний являются:

- доверительная вероятность q интервальной оценки соответствующего показателя надежности;

- предельная относительная погрешность ξ оценки соответствующего показателя надежности:

$$\xi = \max \left\{ \frac{\hat{R} - R}{\hat{R}}; \frac{\bar{R} - \hat{R}}{\hat{R}} \right\}; \quad (3.13)$$

- коэффициент вариации v распределения случайной величины (наработки, ресурса, срока службы, времени восстановления, срока сохранности);

- вид закона распределения случайной величины (наработки, ресурса, срока службы, продолжительности восстановления, срока сохранности).

Доверительную вероятность q рекомендуется выбирать из ряда: 0,80; 0,90; 0,95; 0,99.

Предельную относительную погрешность (относительную погрешность) ξ рекомендуется выбирать из ряда: 0,05; 0,10; 0,15–0,20.

Определение объема испытаний. Определение объема испытаний по неизвестному виду закона распределения случайной величины для оценки средних показателей надежности (средней наработки до отказа, на отказ, среднего ресурса, срока службы, срока сохранности, продолжительности восстановления) производится исходя из максимальных значений.

Объем выборки (N) для оценки гамма-процентных показателей надежности или вероятности безотказной работы во время использования плана NUR определяют по табличным данным ГОСТ 27.410-89.

Исходные данные для расчета:

- доверительная вероятность δ ;
- нормированная вероятность $\gamma/100$ или предвиденное значение $P(t)$;
- установленное число отказов (предельных состояний) r .

Число отказов (предельных состояний) r для оценки гамма-процентных показателей надежности или вероятности безотказной работы определяют, предполагая, что число испытанных объектов N задано.

Объем выборки N для оценки гамма-процентных показателей надежности во время использования плана [NUT} определяют, предполагая известным значение r для исходных данных.

Исходные данные для расчета:

- принятая схема биномиальных испытаний (без фиксирования наработки до отказа);
- нижняя доверительная граница вероятности безотказной работы $P(T)$ по наработке T (ожидаемое значение);
- доверительная вероятность, q ;
- допустимое число отказов d .

По известному значению N находят допустимое число отказов d .

Необходимое число отказов r для оценки коэффициента готовности K_f во время использования плана $[NMr]$ определяют по формуле:

$$r = \left(\frac{U_2}{\xi} \right)^2 \left[v_0^2 + (1 + \xi)v^2 \right]. \quad (3.14)$$

Исходные данные для расчета:

- доверительная вероятность q ;
- относительная погрешность ξ ;
- ожидаемый коэффициент вариации распределения наработки между отказами v ;
- ожидаемый коэффициент вариации распределения продолжительности восстановления v_0 .

Определение объема испытаний по известному виду закона распределения случайной величины для плана $[NUN]$.

Исходные данные для расчета объема испытаний во время оценки средних показателей надежности (средней наработки к отказу, среднего ресурса, срока службы, срока сохранности, продолжительности восстановления):

- доверительная вероятность q ;
- относительная погрешность ξ ;
- коэффициент вариации v (наработки к отказу, ресурса, срока службы, срока восстановления);
- вид закона распределения случайной величины (наработки к отказу, ресурса, срока службы, продолжительности восстановления).

Число объектов испытаний N или число восстановлений работоспособного состояния во время оценивания средних показателей надежности определяют по формулам:

- для экспоненциального распределения

$$N = \frac{\xi + 1}{2} \chi_{1-q}^2(2N); \quad (3.15)$$

- для диффузных DM-распределения и DN-распределения

$$N = \left(\frac{v_d v}{\xi} \right)^2 \frac{(1 + \sqrt{1 + \xi^2})^2}{2}; \quad (3.16)$$

- для логарифмически нормального распределения

$$N = \left(\frac{\nu_q}{\xi} \right)^2 \ln(\nu^2 + 1) \left[1 + \frac{\ln(\nu^2 + 1)}{2} \right]; \quad (3.17)$$

- для распределения Вейбулла

$$N = \frac{(1 + \xi)^2}{2} \chi_{1-q}^2(2N). \quad (3.18)$$

Число объектов испытаний N или число восстановлений работоспособного состояния во время оценивания гамма-процентных показателей надежности для регламентированной вероятности $\gamma/100$ определяют по формулам:

- для экспоненциального распределения

$$N = \left(\frac{n_q K_r}{\xi} \right)^2; \quad K_r = \frac{\sqrt{\frac{100}{\gamma} - 1}}{\ln\left(\frac{100}{\gamma}\right)}; \quad (3.19)$$

- для DN-распределения

$$N = \left(\frac{\nu_q n}{\xi} \right)^{\nu^2} \frac{(1 + \sqrt{1 + \xi^2}) K_{DM}}{2 \left(1 - \frac{\gamma}{100} \right)}, \quad (3.20)$$

где $K_{DN} = DN$ (T_{cp} , μ , ν) – вероятность, соответствующая наработке для DN-распределения;

- для DM-распределения

$$N = \left(\frac{\nu_q n}{\xi} \right)^2 \frac{(1 + \sqrt{1 + \xi^2}) K_{DM}}{2 \left(1 - \frac{\gamma}{100} \right)}, \quad (3.21)$$

где вероятность, которая отвечает наработке T_{cp} ;

- для логарифмически нормального распределения

$$N = \left(\frac{\nu_q K_r}{\xi} \right)^2 \ln(\nu^2 + 1); \quad K_r = \frac{1}{f_0(u_\gamma)} \sqrt{(1 - \gamma/100) \gamma/100}, \quad (3.22)$$

где $f_0(u_\gamma)$ – плотность нормированного нормального распределения, которое отвечает (u_γ);

- для распределения Вейбулла:

$$N = \left(\frac{\nu_q K_r}{\xi} \right)^2;$$

$$K_r = \frac{\sqrt{100/\gamma - 1}}{\ln(100/\gamma)}. \quad (3.23)$$

Если по результатам испытаний получен коэффициент вариации больший чем заданный, то объем испытаний пересчитывают для найденного коэффициента вариации и испытания продолжают.

Определение объема испытаний по известному виду закона распределения случайной величины для плана [NUr].

Объем выборки $N > r$ для оценки средних показателей надежности определяется возможным числом изделий, выделенных для проведения испытаний, если нет ограничений на продолжительность испытаний.

Объем выборки N для оценки средних показателей надежности, предполагая, что задана относительная продолжительность испытаний, определяют по формулам:

- для экспоненциального распределения

$$N = \frac{e^x(r - 0,5) + 0,5}{e^x - 1}; \quad (3.24)$$

- для DM-распределения

$$N = r / \hat{O} \left[\frac{\mathfrak{x}(1 + \nu^2 / 2) - 1}{\nu \sqrt{\mathfrak{x}(1 + \nu^2 / 2)}} \right]; \quad (3.25)$$

- для DN-распределения

$$N = r / \left[\hat{O} \left(\frac{\mathfrak{x} - 1}{\nu \sqrt{\mathfrak{x}}} \right) + e^{2\nu^2} \hat{O} \left(1 - \frac{\mathfrak{x} - 1}{\nu \sqrt{\mathfrak{x}}} \right) \right]; \quad (3.26)$$

- для логарифмически нормального распределения

$$N = r / \hat{O} \left[\ln \mathfrak{x} \sqrt{\ln(\nu^2 + 1)} \right]; \quad (3.27)$$

- для распределения Вейбулла

$$N = \left\{ \frac{\exp \left[\mathfrak{x} \tilde{A} \left(1 + \frac{1}{b} \right) \right]^b (r - 0,5) + 0,5}{\exp \left[\mathfrak{x} \tilde{A} \left(1 + \frac{1}{b} \right) \right]^b - 1} \right\}. \quad (3.28)$$

Число отказов (предельных состояний) r для оценки гамма-процентных показателей надежности при регламентированной вероятности $\gamma/100$ определяют, принимая вместо N значения r .

Объем выборки N для оценки гамма-процентных показателей, если нет ограничений на продолжительность испытаний, определяется условием

$$r < N \leq r/(1 - \gamma/100).$$

Если по результатам испытаний получен коэффициент вариации v больший за заданный, то объем испытаний пересчитывают для найденного коэффициента вариации и испытания продолжают.

Определение объема испытаний по известному виду закона распределения случайной величины для плана (NUT).

Для оценки средних показателей надежности по исходным данным определяют прогнозируемое число отказов (предельных состояний).

Если объем выборки N задан, значения α определяют по формулам:

- для экспоненциального распределения

$$\alpha = \ln \frac{N + 0,5}{N - r + 0,5}; \quad (3.29)$$

- для ДМ-распределения

$$\alpha = \frac{1 + \frac{v^2 u_{r/N}^2}{2} - v u_{r/N} \left(1 + \frac{v^2 u_{r/N}^2}{4} \right)^{1/2}}{1 + \frac{v^2}{2}}; \quad (3.30)$$

- для ДН-распределения

$$\alpha = \left[1 + \frac{v^2 u_{r/N}^2}{2} - v u_{r/N} \left(1 + \frac{v^2 u_{r/N}^2}{4} \right)^{1/2} \right]; \quad (3.31)$$

- для логарифмически нормального распределения

$$\alpha = \exp \left[u_{r/N} \sqrt{\ln(v^2 + 1)} \right], \quad (3.32)$$

где $u_{r/N}$ – квантиль нормального распределения уровня r/N ;

- для распределения Вейбулла

$$\alpha = \left[\ln \left(\frac{N + 0,5}{N + 0,5 - r} \right) \right]^{1/2} / \tilde{A} \left(1 + \frac{1}{b} \right). \quad (3.33)$$

Продолжительность испытаний T определяют по формуле:

$$T = \alpha T_{cp},$$

где T_{cp} – ожидаемое значение среднего показателя оцениваемой надежности.

Для оценки гамма-процентных показателей надежности для регламентированной вероятности $\gamma/100$ определяют прогнозируемое число отказов (предельных состояний) r , принимая вместо N значения r .

Если задан объем выборки N , то продолжительность испытаний определяют по формуле:

$$T = \approx T_{cp}.$$

Если по результатам испытаний N объектов за время T получено число отказов (предельных состояний) меньше чем прогнозируемое, то испытания следует продолжить до возникновения r отказов (предельных состояний) или снизить требования к точности и (или) достоверности оценки показателя.

Определение объема испытаний по известному виду закона распределения случайной величины для планов [NMr], [NRr].

Для оценки средних показателей надежности (средней наработки к отказу, на отказ, средней продолжительности восстановления) определяют число отказов (восстановлений работоспособного состояния) r , принимая вместо N значение r .

Объем выборки N в этом случае не регламентируют.

Для оценки коэффициента готовности K_r по плану [NMr] и ожидаемого коэффициента вариации продолжительности восстановления v_0 , предполагают диффузные распределения наработки (продолжительности восстановления), число отказов r определяют по формуле:

$$r = \left(\frac{u_q}{\xi} \right)^2 (v^2 + v_0^2) (1 + \sqrt{1 + \xi^2}) / 2. \quad (3.34)$$

Объем выборки N регламентируют. Предполагают, что числа отказов и восстановлений совпадают.

Если по результатам испытаний получен коэффициент вариаций v и (или) v_0 больше заданного, то число отказов пересчитывают для найденного коэффициента вариации и испытания продолжают.

Определение объема испытаний по известному виду закона распределения случайной величины для планов [NMT] и [NRT].

Для оценки средних показателей надежности определяют прогнозируемое число отказов, принимая вместо N значение r .

Объем выборки N или относительную продолжительность испытаний A рассчитывают по формуле:

$$H = r/N.$$

Если по результатам испытаний N объектов за время T получено число отказов меньше прогнозируемого, то испытания следует продолжить до возникновения r отказов или снизить требования к точности и (или) достоверности оценки показателя.

3.5. Диагностика стальных конструкций при коррозионно-механическом разрушении

В соответствии с современными взглядами на проблему надежности строительных объектов определение основных расчетных параметров осуществляется путем описания физических явлений на основе системного подхода. Основной задачей при моделировании параметров строительных конструкций зданий и сооружений является определение условий надежности взаимодействия подсистем «Нагрузка – Конструкция – Среда» (*H-K-C*).

Коррозионное разрушение строительных металлоконструкций является одним из основных факторов, влияющих на безопасность эксплуатации конструкций, показатели надежности и долговечности. Сложный механизм и многообразные эффекты протекания коррозионных процессов создают трудности для разработки аналитического описания физических и химических воздействий при разработке методов расчета надежности деформируемых систем.

Сущность системного подхода при расчете стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность заключается в количественной оценке влияния внешних $A(L, G, S)$ факторов и внутренних $A(f)$ параметров на изменение коэффициента надежности противокоррозионной защиты $\gamma_{zk}(t)$ во времени для выявления критериев предельного состояния конструкций в соответствии со схемой, представленной на рис 3.2.



Рис. 3.2. Схема обоснования мероприятий первичной и вторичной защиты стальных конструкций с гарантированными показателями долговечности

Создание достоверных математических моделей для формализации режима эксплуатации стальных конструкций связано с определением характера влияния факторов коррозионной среды и конструктивных параметров (статическое моделирование) и исследованием динамики развития коррозионных процессов (динамическое моделирование). В соответствии с установленным подходом формализованное описание коэффициента $\gamma_{\text{зк}}(t)$ выполняется на основе детерминированно-стохастических моделей, выражающих взаимосвязи между подсистемами H - K - C . Нормирование коэффициента $\gamma_{\text{зк}}(t)$ осуществляется на основе разработки программы обеспечения надежности (ПОН) с учетом результатов технической диагностики и неразрушающего контроля объектов, находящихся в эксплуатации.

Целью рассмотрения взаимодействия факторов коррозионной среды и параметров агрессивности режима эксплуатации является разработка аналитических методов оценки напряженно-деформированного состояния с учетом дополнительных фиктивных нагрузок, отражающих природу коррозионно-механического разрушения конструкции.

Реализация задачи расчета на коррозионную стойкость и долговечность с учетом ограничений, вызванных дополнительными фиктивными

нагрузками, перемещениями и усилиями, осуществляется на основе методов экспертных систем.

Математическая модель расчета стальных конструкций на коррозионные воздействия. Теоретическое обоснование выбора расчетных моделей и расчетных ситуаций для оценки напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов в коррозионных средах на основе методов строительной механики и теории надежности. Рассмотрены основные разрешающие уравнения строительной механики для расчета статически неопределимой системы с учетом коррозионных воздействий.

Оценка влияния коррозионных поражений на напряженно-деформированное состояние элементов произведена с помощью метода конечных элементов (МКЭ).

Определяющее уравнение МКЭ – уравнение равновесия узлов:

$$[K]\{\delta\} = \{P\}, \quad (3.35)$$

где $[K] = \sum_{i=1}^N [A]_i^T [K] [A]_i$ – матрица жесткости рассматриваемой конструкции;

$[K]_i$ – матрица жесткости i -го конечного элемента в глобальной системе координат; $\{\delta\}$ – вектор перемещений узлов конечно-элементной модели конструкции; $\{P\}$ – вектор обобщенных внешних узловых сил, действующих на конструкцию; $[A]_i$ – булева сборочная матрица i -го элемента; N – количество конечных элементов в рассматриваемой дискретной модели конструкции.

Изменение локальной матрицы жесткости стержневого конечного элемента при наличии коррозионных дефектов

$$[\Delta K_i^0] = (1 - \gamma_{zi}) [K_i^0], \quad (3.36)$$

где γ_{zi} – коэффициент надежности противокоррозионной защиты стержня.

При проведении проверочного расчета конструкции с учетом ее коррозионного износа коэффициенты надежности противокоррозионной защиты считаются заданными для всех элементов конструкции. Поэтому глобальная матрица жесткости

$$[K] = \sum_{i=1}^N \gamma_{zi} [A]_i^T [K] [A]_i \quad (1.37)$$

однозначно определена, и, следовательно, в результате расчета мы получаем перемещения узлов конструкции с учетом ее коррозионного износа.

Имея значения перемещений узлов конструкции и используя соотношение

$$[K^L]_i \{U^L\}_i = \{N\}_i, \quad (3.38)$$

где $\{U^L\}_i$ – перемещения узлов i -го элемента в локальной системе координат; $\{N\}_i$ – вектор внутренних усилий i -го элемента усилия в ее элементах определяются известными методами расчета.

При выполнении расчетов в рамках линейной модели учет коррозионных повреждений элементов конструкции не влияет на получаемые значения усилий в ее элементах. Для получения действительных значений усилий в элементах конструкции необходимо проводить ее расчет с учетом геометрической нелинейности поведения конструкции.

Для определения срока службы конструкции (T_{np}) с учетом ее коррозионного износа перепишем уравнение (3.35) в виде:

$$[K_0(\{u\}) + \delta K(\{u\}, t)] \cdot \{u\} = \{F\} \quad (3.39)$$

и

$$[K_0(\{u\})] \cdot \{u\} = \{F\} - [\delta K(\{u\}, t)] \cdot \{u\}. \quad (3.40)$$

Здесь $[K_0(\{u\})]$ – матрица жесткости конструкции, вычисленная с учетом перемещения ее узлов, но без учета коррозионного износа; $\{u\}$ – вектор перемещений узлов конструкции, вычисленных с учетом геометрической нелинейности и ее коррозионного износа; $\{F\}$ – вектор внешних воздействий, для которых производится расчет;

$$[\delta K(\{u\}, t)] = \sum_{i=1}^N (1 - \gamma_{zi}(t)) [A]_i^T [T]_i^T [K^L(\{u\})]_i [T]_i [A]_i \quad (3.41)$$

– изменение матрицы жесткости, обусловленное наличием коррозионного износа элементов конструкции; $\gamma_{zi}(t)$ – коэффициент надежности противокоррозионной защиты i -го элемента конструкции, зависящий от времени t .

Таким образом, задача определения срока службы конструкции с коррозионными повреждениями сводится к решению уравнения вида:

$$\det([K_0(\{u\}) + \delta K(\{u\}, t)]) = 0, \quad (3.42)$$

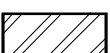
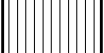
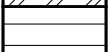
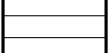
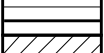
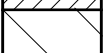
где вектор перемещений узлов конструкции определяется из уравнения (3.40), а изменение матрицы жесткости, обусловленное наличием коррозионного износа элементов конструкции $[\delta K(\{u\}, t)]$ – из уравнения (3.41).

В соответствии с подходом, представленным на рис. 3.2, разработаны условия определения расчетных ситуаций в расчетах на коррозионную стойкость и долговечность на основе логических моделей, отражающих причинно-следственные связи расчетных параметров подсистем H - K - C . Необходимость использования современных методов диагностики показателей долговечности противокоррозионной защиты обусловливается жесткостью режима эксплуатации, снижением запаса прочности, возможными следствиями предельных состояний даже при незначительных показателях коррозионного разрушения конструктивной формы.

Классификационные признаки критериев предельных состояний ПН защитных покрытий приведены в табл. 3.3.

Классификационные признаки состояния

Таблица 3.3

Защитные показатели по обобщенному показателю A_z			Коррозионные среды по степени агрессивности, k (мм/год)		
Качественная оценка	Код состояния	Интервальная оценка	Качественная оценка	Код состояния	Количественная оценка
Отличный	СЗП1	 1,0	Сильноагрессивная	СКС6	 0,5
Хороший	СЗП2	 0,9	Высокоагрессивная	СКС5	 0,3
Удовлетворительный	СЗП3	 0,55	Среднеагрессивная	СКС4	 0,15
		 0,35	Низкоагрессивная	СКС3	 0,05
Неудовлетворительный	СЗП4	 0,35	Слабоагрессивная	СКС2	 0,01
		 0,00	Неагрессивная	СКС1	 0,00

На основе методов квалиметрической оценки состояния защитных покрытий в агрессивных средах обоснована расчетная схема обобщенных влияний для системы «НАГРУЗКА–КОНСТРУКЦИЯ–СРЕДА» («Н-К-С») при сертификационных испытаниях (рис. 3.3).

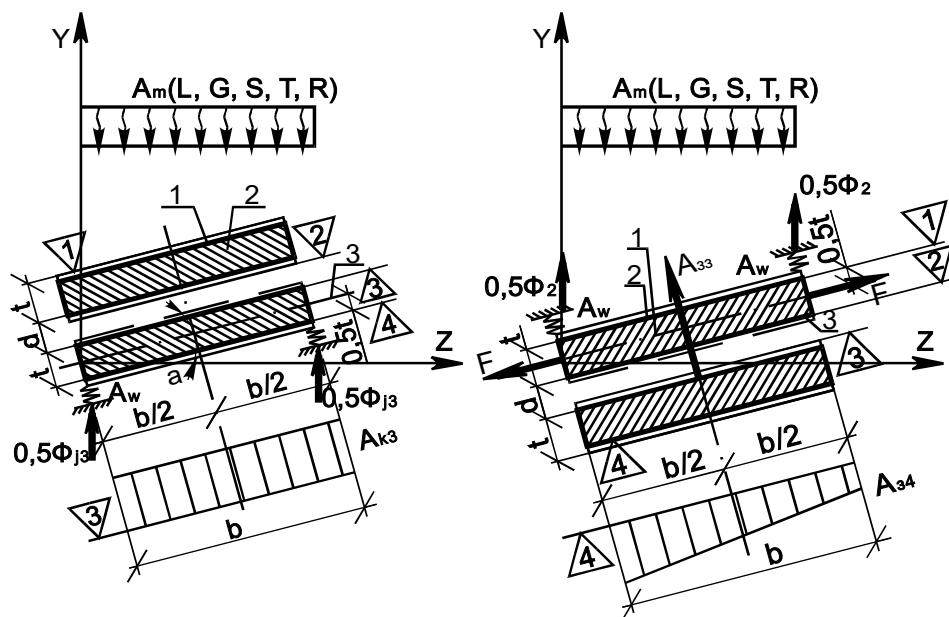


Рис. 3.3. Расчетная схема обобщенных влияний системы «НАГРУЗКА–КОНСТРУКЦИЯ–СРЕДА» при сертификационных испытаниях

В качестве основных расчетных характеристик при моделировании физико-химических процессов взаимодействия защитных покрытий конструктивных параметров и компонентов агрессивной среды установлены:

Φ_j – реакция поверхности однородного КЭ на обобщенные влияния, $г/м^2$;

A_z – обобщенный показатель защитных свойств при влияниях $A_m(L, G, S, T, R)$, где L – жидкая фаза, G – газообразные компоненты, S – твердые среды, T – температура, R – солнечная радиация.

В качестве относительных значений изменения характера взаимодействия конструктивной формы и внешних влияний $A_m(L, G, S, T, R)$ приняты:

A_{ki} – единичная эпюра коррозионного сноса i -й поверхности j -го однородного конструктивного элемента;

A_{zi} – эпюра относительной оценки изменения защитных свойств A_z при старении и разрушении противокоррозионных покрытий i -й поверхности j -го однородного конструктивного элемента.

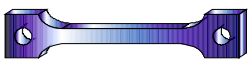
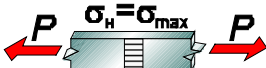
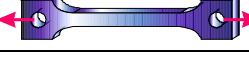
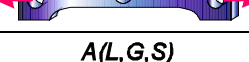
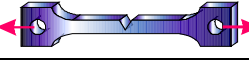
Оценка значений коэффициента γ_{zk} при физико-механических испытаниях строительных сталей. Проблема коррозионно-механической стойкости связана с увеличением степени агрессивности воздействий и разнообразием конструктивных параметров режима эксплуатации промышленных объектов различного назначения.

Для определения количественных показателей коррозионного разрушения сталей марок ВСтЗпс, 09Г2С, 10ХСНД и 10ХНДП и расчетной оценки коэффициента надежности противокоррозионной защиты были проведены ускоренные коррозионно-механические испытания плоских фигурных образцов при моделировании агрессивных воздействий твердых (S), жидких (L) и газообразных сред (G).

Схема образцов для испытания, а также условия нагружения образцов с концентраторами и без концентраторов напряжений приведены в табл. 3.4.

Условия моделирования коррозионного разрушения плоских фигурных образцов

Таблица 3.4

№ схемы испы- таний	Условное обозначение режима испытаний	Схема условий нагружения	Характеристики внешних нагрузок и воздействий
I	$A(L, G, S)$ 		Образцы без предвари- тельного напряжения, без концентраторов напряже- ний при воздействиях $A(L, G, S)$
II	$A(L, G, S)$ 		Образцы с предвари- тельным напряжением, без концентраторов напряже- ний при воздействиях $A(L, G, S)$
III	$A(L, G, S)$ 		Образцы с предвари- тельным напряжением, с U- образным концентратором напряжений при воздействиях $A(L, G, S)$
IV	$A(L, G, S)$ 		Образцы с предвари- тельным напряжением, с V- образным концентратором напряжений при воздействиях $A(L, G, S)$

Программа испытаний предусматривала выдержку образцов в коррозионных камерах в течение 60 суток при воздействии агрессивной среды $A(L, G, S)$. Моделирование физико-химических воздействий осуществлялось в соответствии с параметрами, описанными в табл. 33.4. Контроль установленных значений предварительного напряжения выполнялся электромеханическими тензометрами Аистова, после растяжения образцов в кассетах для механических испытаний.

Очистка образцов от продуктов коррозии после коррозионных испытаний проводилась в травильных ингибированных растворах в

соответствии с требованиями ГОСТ 9.402-80. Контроль показателей равномерной коррозии осуществлялся гравиметрическим методом.

Анализ результатов гравиметрического контроля позволяет заключить, что максимальные потери массы G металла и соответствующие им максимальные значения показателя коррозионной стойкости поверхности P , [г/м²] наблюдаются для образцов из малоуглеродистой стали ВСт3пс при всех режимах испытания. Соответственно наименьшие потери массы соответствующие им минимальные значения P , [г/м²] имеют место для образцов из атмосферостойкой стали 10ХНДП также при всех режимах испытания. Убыль массы металла для образцов из сталей марок 09Г2С и 10ХСНД занимает промежуточное положение.

Механические испытания образцов выполнены на установке «АЛА-ТОО» типа ИМАШ-20-75. Нагружение образцов после коррозионных испытаний осуществлялось активными захватами при деформации образца с постоянной скоростью в условиях, когда груз на подвеске превышал расчетный (рис. 3.5). Измерение нагрузки и перемещений активных захватов выполнялось с помощью тензорезисторов упругих элементов установки нагружения и регистрировалось на планшетном двухкоординатном графопостроителе.

Обработка полученных результатов коррозионно-механических испытаний выполнена с использованием следующих операций преобразования экспериментальных данных для описания коэффициента надежности противокоррозионной защиты.

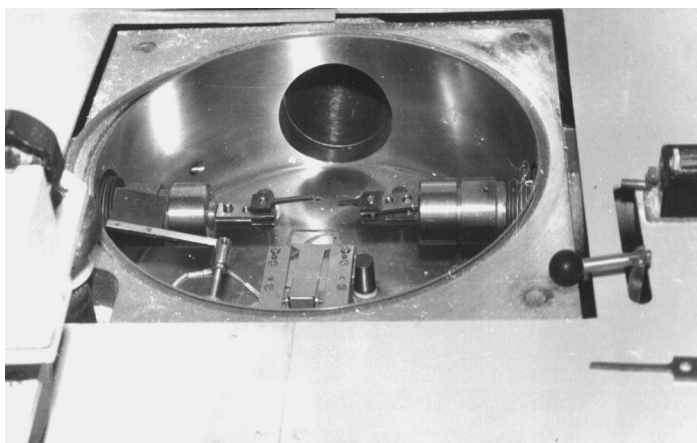


Рис. 3.5. Коррозионно-механические испытания плоских фигурных образцов на установке «АЛА-ТОО»: нагружение образцов с помощью активных захватов

Показатель коррозионной стойкости поверхности P_i , [г/м²], оценивался по формуле:

$$\ddot{I}_i = \frac{\Delta \dot{I}_i}{\ddot{A}_i} \cdot 10^4, \quad (3.43)$$

где ΔM_i – коррозионные потери i -го образца, определенные гравиметрическим методом, D_i – рабочая поверхность образца, подверженная воздействию коррозионных сред, см².

Коррозионная стойкость K_i , [мм], за период испытания определялась согласно зависимости:

$$K_i = \ddot{I}_i \cdot m = 1,27 \cdot \frac{\Delta \dot{I}_i}{\ddot{A}_i}, \quad (3.44)$$

где $m = \frac{1}{\rho} 10^{-3} = 1,27 \cdot 10^{-4}$ – переводной коэффициент.

Определение коэффициента α_{pi} , характеризующего локальные коррозионные повреждения, для условий испытаний плоских фигурных образцов проводилось по формуле:

$$\alpha_{p,i} = 1 - 4 \cdot \gamma_p \cdot \frac{P_i}{(h_i - 2R_i) \cdot 10^3} = 1 - \frac{\gamma_p \cdot P_i}{250 \cdot (h_i - 2K_i)}. \quad (3.45)$$

Коэффициент равномерной коррозии устанавливался согласно зависимости:

$$\alpha_{k,i} = \frac{\dot{I}_{k,i}}{\alpha_{p,i} \cdot \dot{I}_{i,i}}, \quad (3.46)$$

где $M_{n,i}$, $M_{k,i}$ – масса i -го образца соответственно до и после испытания.

Коэффициент γ_k устанавливался отдельно для характеристик предела текучести $\sigma_{tm,k}$ и временного сопротивления $\sigma_{\sigma,k}$ после коррозионных испытаний. Расчетная площадь поперечных сечений образцов без концентраторов напряжений оценивалась по формуле (3.47), при наличии концентраторов напряжений – по формуле (3.48).

$$A_{k,i} = \frac{A_{i,i} \cdot M_{k,i}}{M_{i,i}}; \quad (3.47)$$

$$A_{k,v,i} = \frac{A_{i,i} \cdot M_{k,i} \cdot (h_i - 2K_i - v_i)}{M_{i,i} \cdot (h_i - 2K_i)}, \quad (3.48)$$

где v_i – глубина концентратора напряжений, мм.

Определение коэффициента γ_k выполнялось в виде:

$$\gamma_{k,n}^i = \frac{\sigma_{\dot{a},k}^i}{\sigma_{\dot{a},k}^{i,0}}; \quad \gamma_{k,f}^i = \frac{\sigma_{\dot{\sigma},k}^i}{\sigma_{\dot{\sigma},k}^{i,0}}, \quad (3.49)$$

где $\sigma_{\dot{\sigma},k}^{i,0}$, $\sigma_{\dot{a},k}^{i,0}$ – соответственно средние значения предела текучести и временного сопротивления по контрольным выборкам механических испытаний образцов.

На основании анализа расчетных данных установлено, что определение коэффициента γ_{zn} необходимо производить с учетом значений $\gamma_{k,f}$, характеризующих более жесткие условия режима испытаний:

$$\gamma_{zn}^i = \alpha_{k,i} \cdot \alpha_{p,i} \cdot \gamma_{k,f}^i, \quad (3.50)$$

Коэффициент концентрации напряжений $\alpha_{v,i}$ устанавливается на основе соотношения:

$$\alpha_{v,i} = \frac{\gamma_{k,f}^i(\text{III,IV})}{\gamma_{k,f}^i(\text{II})}, \quad (3.51)$$

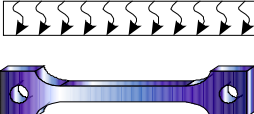
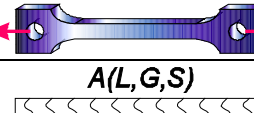
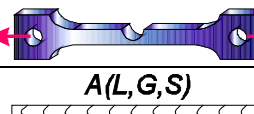
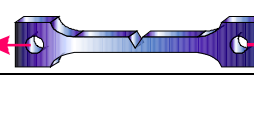
где $\gamma_{k,f}$ (III, IV) – значение коэффициента при III и IV схеме испытания (см. табл. 3.4); $\gamma_{k,f}$ (II) – значение коэффициента при II схеме испытания.

Статистический контроль результатов эксперимента показал, что относительная ошибка $\delta \leq 0,10$ при установленных значениях выборки, заданной доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ и расчетных значениях коэффициента вариации.

Результаты расчетно-экспериментальной оценки коэффициента γ_{zn} для рассмотренных сталей приведены в табл. 3.5.

Сравнительная оценка коэффициентов γ_{zn} по данным
коррозионно-механических испытаний

Таблица 3.5

Режим испытания	Материал образцов	Характеристики коррозионного разрушения				
		α_k	α_p	$\gamma_{k,n}$	α_v	γ_{zn}
A(L,G,S) 	ВСт3пс	0,95	0,98	0,92	---	0,77
	09Г2С	0,96	0,98	0,94	---	0,80
	10ХСНД	0,97	0,98	0,83	---	0,70
	10ХНДП	0,96	0,99	0,91	---	0,77
A(L,G,S) 	ВСт3пс	0,96	0,98	0,99	---	0,83
	09Г2С	0,97	0,98	0,99	---	0,85
	10ХСНД	0,96	0,98	0,84	---	0,71
	10ХНДП	0,97	0,98	0,89	---	0,76
A(L,G,S) 	ВСт3пс	0,95	0,98	1,07	1,08	0,82
	09Г2С	0,96	0,98	1,08	1,09	0,84
	10ХСНД	0,97	0,97	1,07	1,28	0,71
	10ХНДП	0,97	0,99	0,98	1,10	0,76
A(L,G,S) 	ВСт3пс	0,96	0,98	1,12	1,13	0,83
	09Г2С	0,97	0,98	1,41	1,43	0,84
	10ХСНД	0,98	0,97	1,08	1,30	0,71
	10ХНДП	0,97	0,98	0,37	0,42	0,32

Анализ материалов исследования, представленных в табл. 3.5, позволяет выделить следующие закономерности, установленные по данным коррозионно-механических испытаний:

- коррозионные потери стальных образцов характеризуют коррозионные воздействия $A (L, G, S)$ за период испытаний как среднеагрессивные, что соответствует условиям эксплуатации 50-60% строительных металлоконструкций зданий и сооружений;

- установленные показатели равномерной (α_k) и местной (α_p) коррозии в целом отражают особенности коррозионного разрушения для сталей марок ВСтЗпс, 09Г2С, 10ХСНД, 10ХНДП при стендовых испытаниях;

- имеет место снижение расчетных значений коэффициента $\gamma_{k,n}$ при I схеме испытаний. Рост величин $\gamma_{k,n}$ для II–IV схем объясняется влиянием предварительного напряжения и концентрации напряжений в зонах расположения $\cup$ - и $\vee$ -образных надрезов;

- увеличение значений $\gamma_{k,n}$ связано с различным влиянием коэффициента концентрации напряжений α_v , который зависит от формы надреза и материала образцов. При значениях $\alpha_{v,i} \geq 1,0$ реализуется механизм вязко-пластичного разрушения. Характеристика $\alpha_{v,i} < 1,0$ свидетельствует об отсутствии макропластичной деформации и хрупком разрушении образцов. В случае оценки коэффициента γ_{zn} с учетом наличия концентрации напряжений расчет в упруго-пластической стадии производится по формуле:

$$\gamma_{zn} = \alpha_k \cdot \alpha_p \cdot \gamma_{k,n} \cdot (1 - \delta) / \alpha_v, \quad (3.52)$$

Результаты коррозионно-механических испытаний обеспечивают возможность нормирования показателей коррозионной стойкости строительных сталей с учетом характера коррозионного разрушения.

3.6. Подтверждение соответствия при сертификационных испытаниях

Разработка методики нормирования коэффициента надежности противокоррозионной защиты γ_{zn} по данным расчетно-экспериментального обоснования показателей гарантированной долговечности и экспертной оценки технологической рациональности защиты от коррозии является важной составляющей подтверждения соответствия строительных металлоконструкций. Последовательность обоснования показателей надежности и гарантированной долговечности противокоррозионной защиты строительных металлоконструкций включает решение таких задач (рис. 3.6):

□ разработка и обоснование аналитических зависимостей для определения нормативного и расчетного срока службы защитных покрытий;

□ выполнения расчетной оценки коэффициента надежности противокоррозионной защиты на основе моделирования процессов физико-химического разрушения систем противокоррозионной защиты и коррозионного износа элементов стальных конструкций;

□ расчетная оценка показателей технологической рациональности с учетом жизненного цикла конструкций на основе моделей коррозионных элементов и расчетных ситуаций;

□ создания алгоритмического описания функционально-стоимостного анализа затрат при гарантированных показателях долговечности с учетом критериев сертификационных испытаний, паспортизации и диагностики технического состояния объектов.

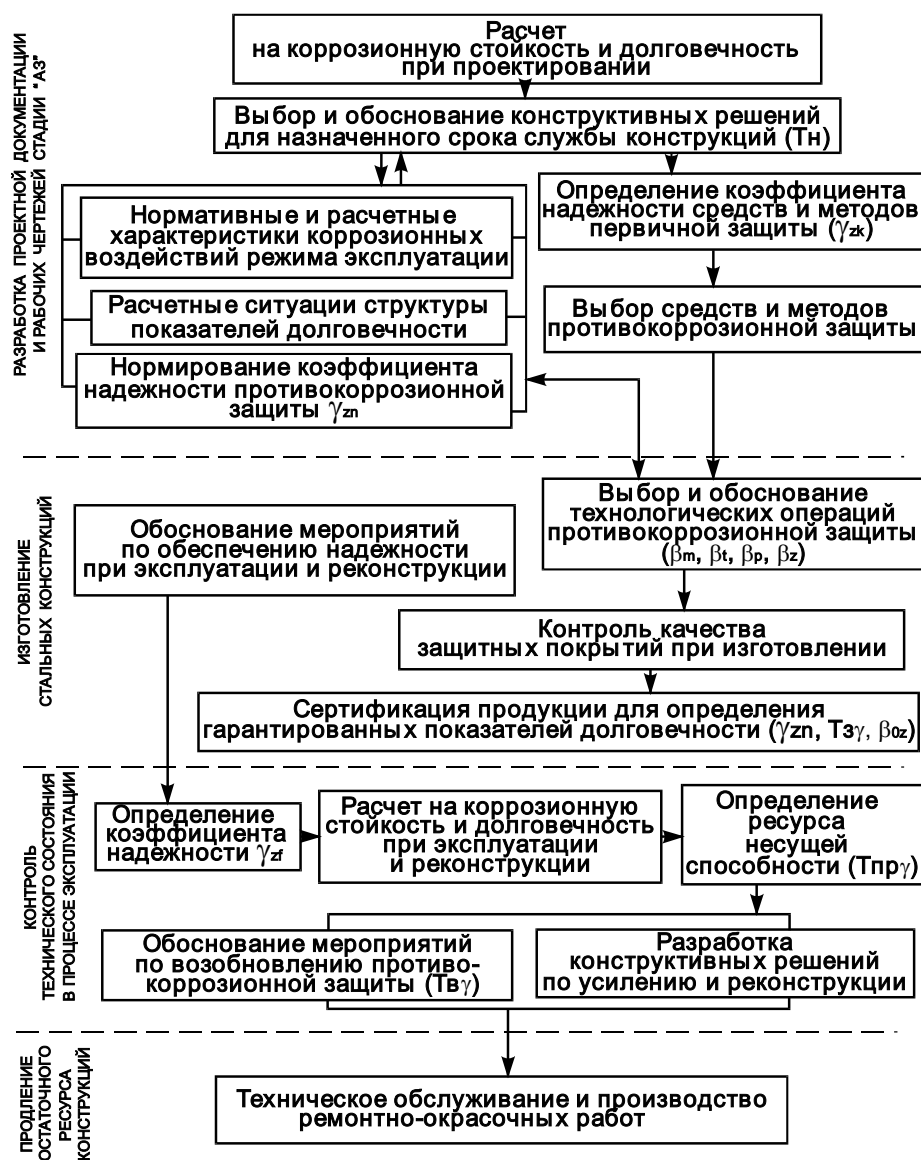


Рис. 3.6. Последовательность обоснования показателей надежности и гарантированной долговечности противокоррозионной защиты строительных металлоконструкций

Целью математического описания показателей надежности при сертификационных испытаниях является разработка методики расчетной оценки коэффициента надежности противокоррозионной защиты (γ_{zn}). Коэффициент надежности (γ_{zn}) устанавливает предельный уровень коррозионных потерь для заданной расчетной схемы обобщенных влияний «Н-К-С» при типовой (расчетной) модели режима эксплуатации с учетом назначенного срока службы (T_n)

конструкции или объекта. Последовательность основных этапов определения (γ_{zn}) представлена на рис. 3.7.

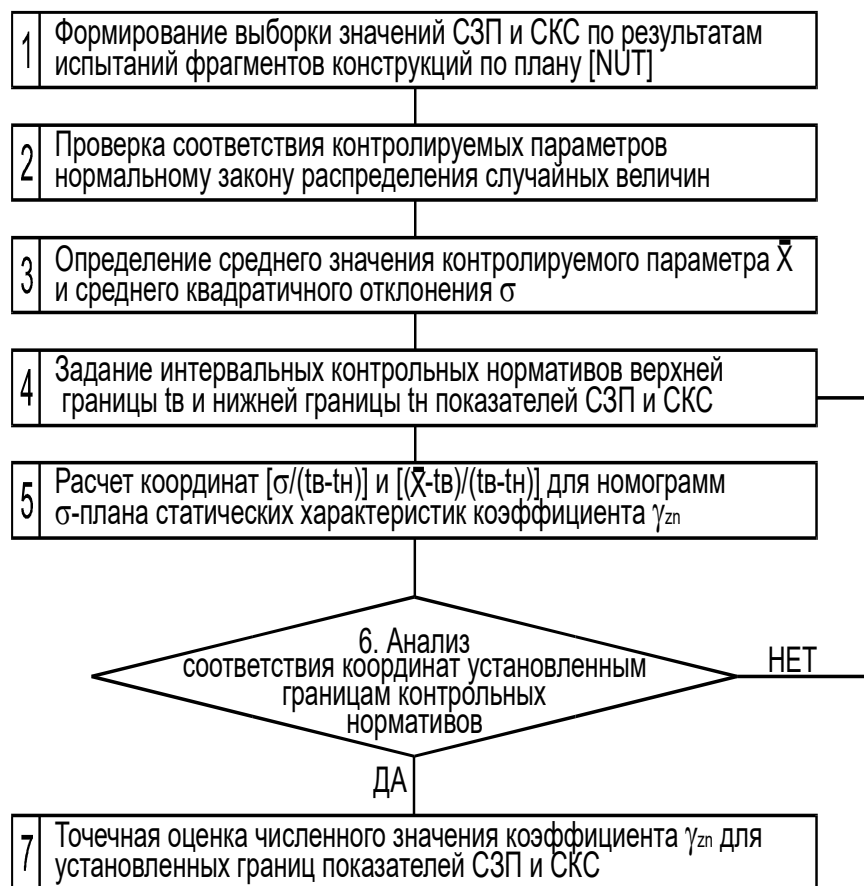


Рис. 3.7. Последовательность этапов обоснования γ_{zn}

Разработанный методический подход использован для статистической оценки коэффициента надежности γ_{zn} по данным ускоренных испытаний образцов (фрагментов) конструктивных элементов с защитными покрытиями при переменной температуре, повышенной влажности, воздействиях сернистого газа и солнечного излучения.

Оценка результатов испытаний содержала: статистический анализ отказов (предельных состояний); проверку контролируемых параметров для установленной области интервальной оценки γ_{zn} ; анализ соответствия расчетной ситуации требованиям обеспечения надежности с учетом экономических факторов.

Решение о соответствии расчетного значения γ_{zn} заданным границам (верхний и нижний) интервальной оценки принимается после

определения координат $(\sigma/(t_a - t_i); (\bar{X} - t_a)/(t_a - t_i))$ и с помощью номограммы, приведенной на рис. 3.8.

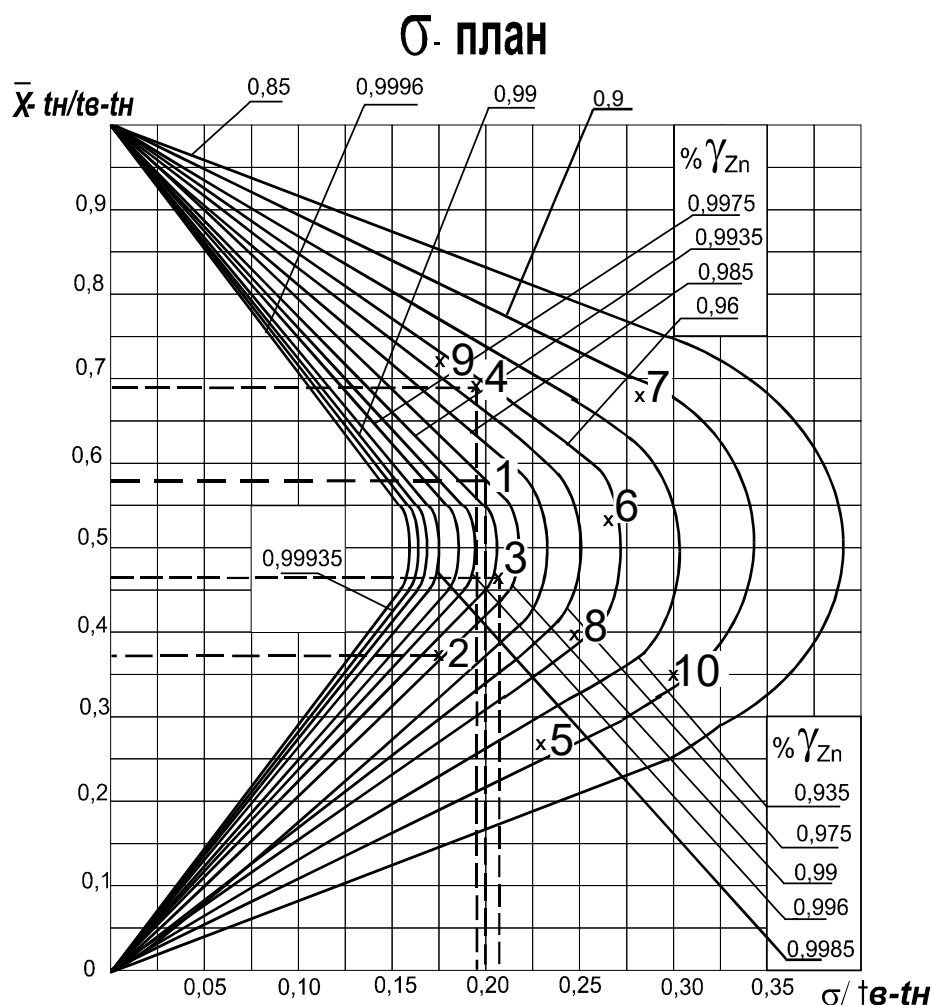


Рис. 3.8. Численные значения коэффициента γ_{zn} по результатам сертификационных испытаний на коррозионную стойкость и долговечность

Методика расчета коэффициента надежности γ_{zn} по результатам экспертной оценки содержит анализ показателей технологической рациональности противокоррозионной защиты при проектировании, изготовлении, эксплуатации и реконструкции. Технологическая рациональность противокоррозионной защиты объединяет требования к выбору средств и методов защиты с учетом целесообразности и технологической наследственности, технических решений на всех стадиях жизненного цикла строительных металлоконструкций.

Сущность разработанной и экспериментально обоснованной методики состоит в возможности определения коэффициента надежности γ_{zn} по результатам экспертной оценки комплекса показателей технологической рациональности при проведении нормоконтроля (аудита) требований обеспечения качества заводского изготовления металлоконструкций. При этом технологический аудит противокоррозионной защиты включает формализованную процедуру оценки потенциальных возможностей повышения эффективности средств и методов защиты.

Предложена карта анализа обобщенного показателя технологической рациональности и получены экспериментальные результаты технологического аудита при изготовлении металлических конструкций в условиях Днепропетровского, Краматорского, Макеевского ЗМК, ОАО «Конструкция», АОЗТ «ГАЯ» (г. Донецк).

Статистическая оценка обобщенного показателя технологической рациональности B_{0z} выполняется на основе математической модели вида

$$B_{0z} = \sum_{i=1}^{i=N} B_i = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1}^{j=p} m_i b_{ij} \left(\sum_{c=1}^{c=a} q_{ij} / 100 \cdot Q \right), \quad (3.53)$$

где B_i – комплексные показатели проектных требований относительно долговечности, технологичности, сохранности, ремонтоспособности; m_i – коэффициент значимости комплексного показателя; q_{ij} – весовая характеристика j -го признака i -го комплексного показателя; Q – количество экспертов в группе при аудите.

Последовательность этапов обоснования коэффициента надежности γ_{zn} по данным технологического аудита приведена на рис. 3.9.

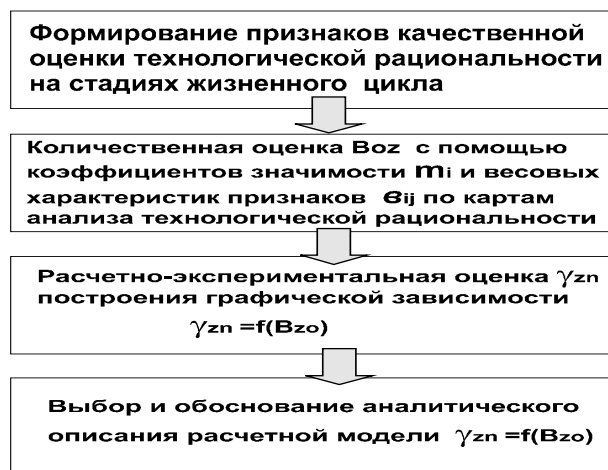


Рис. 3.9. Последовательность этапов определения γ_{zn} по данным технологического аудита

Обработка результатов нормоконтроля технологической рациональности сделана при выполнении сертификационных испытаний и диагностики коррозионного состояния промышленных и гражданских объектов различного назначения. Сравнимые результаты контроля обобщенного показателя B_{0z} и коэффициента надежности γ_{zn} приведены в табл. 3.6.

Расчетно-экспериментальные данные $\gamma_{zn} = f(B_{0z})$

Таблица 3.6

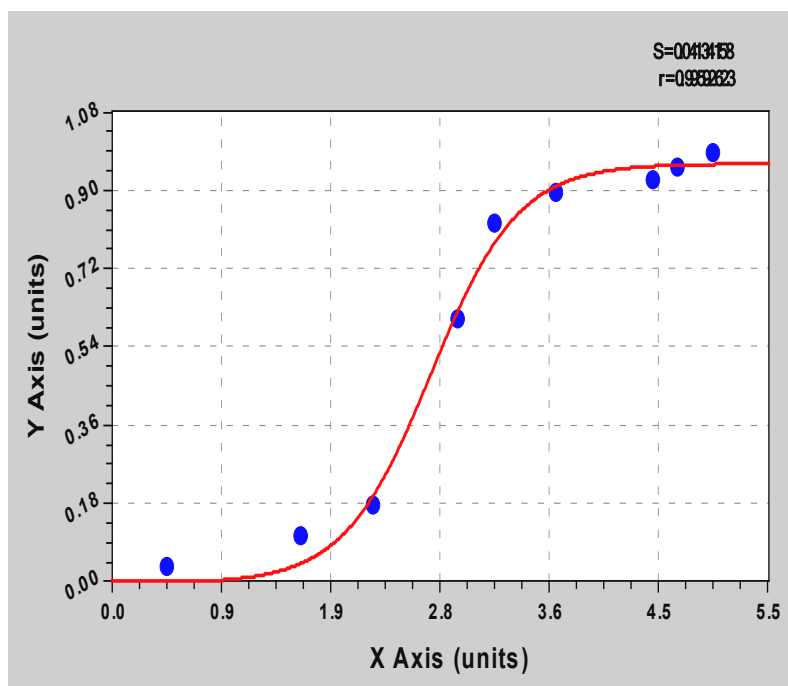
№	Объекты исследования	Координаты значений и оценок	
		γ_{zn}	B_{0z}
1	Опоры трубопроводов, г. Макеевка	0,04	0,5
2	Транспортная галерея. Прирельсовый склад минеральных удобрений, пгт. Тельманово	0,11	1,6
3	Конструкции покрытия, бронзо-латунный цех	0,18	2,2
4	Металлическая кровля. Сталеплавильный цех СПЦ-2	0,61	2,9
5	Структурные блоки покрытия типа ЦНИИСК, г. Коломыя	0,83	3,2
6	Металлоконструкции каркаса 10-ти этажного здания, г. Донецк	0,9	3,7
7	Конвейерная галерея, г. Донецк	0,93	4,5
8	Мембранно-панельные блоки покрытия ангара, г. Киев	0,96	4,7
9	Покрытия бензозаправочной станции. г. Оборники, Польша	0,99	5,0

Результаты регрессионного анализа, выполненного для аналитического описания зависимости $\gamma_{zn} = f(B_{0z})$, позволили получить математическую модель коэффициента надежности γ_{zn} по данным экспертной оценки обобщенного показателя B_{0z} в виде:

$$\gamma_{zn} = \frac{a}{1 + b \exp(-cB_{0z})}, \quad (3.54)$$

где $a=0,97$; $b=1740$; $c=2,79$.

Полученная на основании экспериментальных исследований графическая зависимость $\gamma_{zn} = f(B_{0z})$ (рис. 3.10), предлагается для оценки коэффициента γ_{zn} по данным технологического аудита.

Рис. 3.10. График зависимости $\gamma_{zn} = f(B_{0z})$

Сравнительная оценка технико-экономических показателей ведется по данным нормоконтроля и сравнения с базовыми данными:

- удельной массы конструкции, G_k ;
- индекса снижения затрат на материалы при противокоррозионной защите β_m :

$$\beta_m = S_m(P) \cdot S_m(I) \cdot S_m(E), \quad (3.55)$$

где $S_m = G_{mb}/G_{mr}$ – индекс изменения затрат противокоррозионного материала при сравнении базового варианта (G_{mb}) с разрабатываемым (G_{mr}) на стадии проектирования (P), изготовления (I) и эксплуатации (E);

- индекса снижения трудоемкости противокоррозионной защиты и ремонтно-окрасочных работ $\beta_{\dot{o}}$:

$$\beta_{\dot{o}} = S_{\dot{o}}(P) \cdot S_{\dot{o}}(I) \cdot S_{\dot{o}}(E), \quad (3.56)$$

где $S_m = T_b/T_r$ – индекс снижения трудоемкости окрасочных работ при сравнении базового варианта (T_b) с разрабатываемым (T_r) на стадии проектирования (P), изготовления (I) и эксплуатации (E);

- индексу снижения эксплуатационных затрат β_p :

$$\beta_p = S_p(P) \cdot S_p(I) \cdot S_p(E), \quad (3.57)$$

где $S_p = P_b/P_r$ – индекс снижения затрат на поддержку качества и долговечности конструкций базового (P_b) и разрабатываемого (P_r) варианта при проектировании (P), изготовлении (I) и эксплуатации (E);

– индекса надежности противокоррозионной защиты β_z :

$$\beta_z = S_z(P) \cdot S_z(I) \cdot S_z(E), \quad (3.58)$$

где $S_z = \gamma_{zb}/\gamma_r$ – индекс повышения коэффициента надежности противокоррозионной защиты базового (γ_{zb}) и разрабатываемого (γ_r) вариантов при проектировании (P), изготовлении (I) и эксплуатации (E).

Задача определения показателей технологической рациональности приведена в виде блок-схемы алгоритма, который позволяет моделировать параметры конструктивной формы, факторы режима эксплуатации, производить выбор расчетной ситуации с учетом назначенного срока службы конструкции при установленных показателях надежности и гарантированной долговечности. Показатели (β_m , β_n , β_p , β_z) обоснованы при анализе эффективности использования полимерно-пластической мастики ППК для противокоррозионной защиты металлоконструкций каркаса градостроительного комплекса «АСКА», г. Донецк.

3.6.1. Контроль показателей несущей способности и деформативности

Характеристика испытываемой продукции.

Сертификационные испытания на соответствие требованиям Системы УкрСЕПРО произведены для следующей продукции: затяжки шахтные металлические многоразового использования ЗШМ-1, ЗШМ-2 (код ДКПП 28.11.23.130). Металлоконструкции затяжек изготовлены согласно требованиям ТУ У 28.1-02403506-001-2002 «Затяжки шахтные металлические многоразового использования ЗШМ-1, ЗШМ-2».

Основанием для проведения работы является решение ГОСПОТРЕБСТАНДАРТА Украины о проведении сертификации продукции на соответствие требованиям ГОСТ 10922-90 «Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматурных и закладных изделий железобетонных конструкций. ОТУ», ГОСТ 26433.1-89 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Элементы заводского изготовления», ДСТУ Б В.2.6.7-95 (ГОСТ 8829-94) «Конструкции зданий и сооружений. Изделия строительные бетонные и железобетонные. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости», ТУ У 28.1-02403506-001-2002 «Затяжки шахтные металлические многоразового использования ЗШМ-1, ЗШМ-2».

Испытания на соответствие требованиям Системы УкрСЕПРО проведены в соответствии с «Программой испытаний». Испытательное оборудование и измерительные приборы

стандартные, результаты измерений зафиксированы в журнале испытаний.

Для проведения испытаний отобраны образцы затяжек шахтных металлических многоразового использования ЗШМ-1 (рис. 3.11) , ЗШМ-2 (рис. 3.12) в количестве 8 шт., которые идентифицированы по внешним признакам.

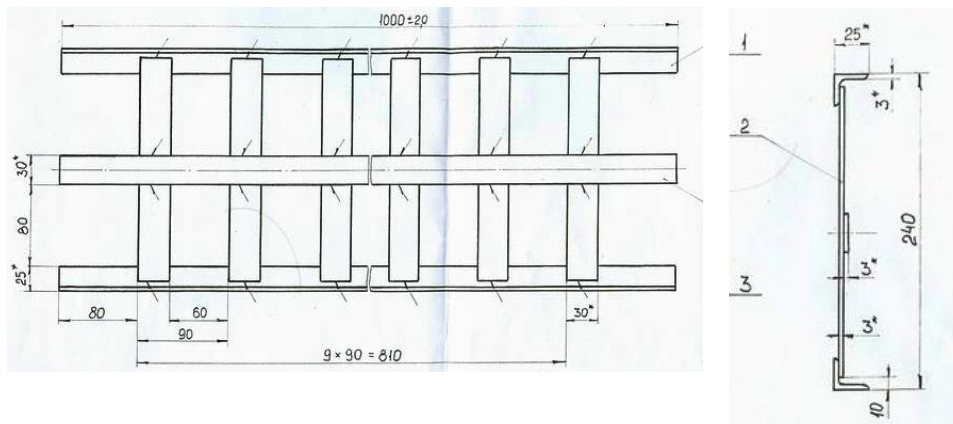


Рис. 3.11. Образец ЗШМ-1

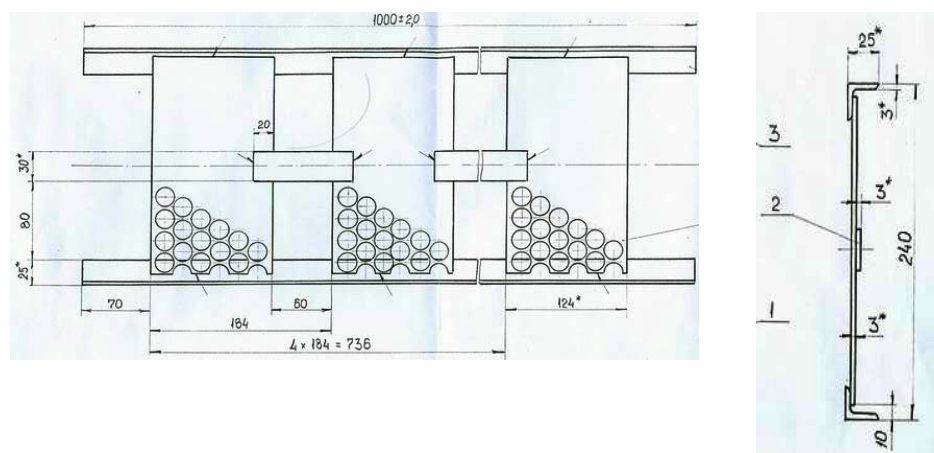


Рис. 3.12. Образец ЗШМ-2

Все образцы на момент передачи в лабораторию соответствовали внешним данным описи технической документации и не имели внешних дефектов и повреждений.

Цель работы. Программа сертификационных испытаний образцов продукции включала:

- ☐ контроль качества исходного металлопроката;

- ☐ визуальный контроль элементов конструкций;
- ☐ контроль геометрических параметров;
- ☐ визуальный контроль качества сварных соединений;
- ☐ контроль требований по стреле прогиба при приложении испытательной нагрузки.

Контроль выполняется на соответствие требованиям СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» (раздел 10), ТУ У 28.1-02403506-001-2002, ГОСТ 10922-90, ГОСТ 26433.1-89, ДСТУ Б В.2.6.7-95.

Элементы затяжек шахтных металлических многоразового использования ЗШМ-1, ЗШМ-2 отобраны для проведения испытаний 8 апреля 2003 г.

Дата получения образцов – 10 апреля 2003 г.

Сроки проведения испытаний – 10 апреля по 23 апреля 2003 г.

Испытываемые затяжки шахтные металлические многоразового использования ЗШМ-1, ЗШМ-2 изготавливают согласно ТУ У 28.1-02403506-001-2002 «Затяжки шахтные металлические многоразового использования ЗШМ-1, ЗШМ-2».

Методика испытаний. Испытания проводились согласно документам:

☐ ДСТУ Б В.2.6-10-96 «Конструкции стальные строительные. Методы испытаний нагружением»;

☐ СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» (раздел 10).

Условия проведения испытаний. Условия в помещении:

- ☐ температура +10°C;
- ☐ относительная влажность 78%;
- ☐ атмосферное давление 740 мм. рт.ст.

Тип и основные характеристики средств измерительной техники и испытательного оборудования:

☐ штангенциркуль ШЦ 1-125-0,1-2 (зав. № 345967, инв. № 1607) (погрешность измерений – 0,1 мм);

☐ рулетка 10 м. ОПК 3-10 АУТ/1 (инв. № 1645) (погрешность измерений – 1 мм);

☐ линейка стальная (ГОСТ 427-75) (погрешность измерений – 1 мм);

☐ угольник стальной (зав. № 85, инв. № 111) (погрешность измерений – 1 мм);

☐ прибор измерения геометрических параметров многофункциональный УАЛТ.001.000.00МИ (зав. № 528) (погрешность измерений – 0,01 мм).

Для контроля прогибов и перемещений применялись измерительные приборы, обеспечивающие точность измерений по ГОСТ 26433.1-89:

- ☐ прогибомеры механические, с ценой деления 0,01 мм;

□ индикаторы часового типа по ГОСТ 577-68 «Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия».

Используемые марки стали соответствуют требованиям технической документации, что подтверждается сертификатами заводов-изготовителей (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Наименование конструкции	Размер профиля	№ сертификата качества на металл	Дата поставки	Завод-изготовитель
1	2	3	4	5
ЗШМ-1, ЗШМ-2	Уголок Б-25×25×3	2549-С	Заказ № 11418 ГОСТ 380	Донецкий металлургический завод
	Полоса БЗ×30	504106	Наряд 972000-0162, ГОСТ 16523-97	Запорожсталь

Визуальный контроль элементов металлоконструкций ЗШМ-1 и ЗШМ-2 и измерение их геометрических параметров выполнено в соответствии с ТУ У 28.1-02403506-001-2002 «Затяжки шахтные металлические многоразового использования ЗШМ-1, ЗШМ-2». Результаты замеров геометрических параметров ЗШМ-1 и ЗШМ-2 представлены в табл. 3.8.

Результаты замеров геометрических параметров ЗШМ-1 и ЗШМ-2

Таблица 3.8

Габаритные размеры	Ед. изм.	Нормативные значения по ТУ У изготовителя		Фактические замеры	
		ЗШМ-1	ЗШМ-2	ЗШМ-1	ЗШМ-2
Длина	мм	1000±10		997	999
Ширина	мм	240±5		243	242
Высота	мм	25±5		25	26

При статических испытаниях схема опирания и нагружения образцов ЗШМ-1 и ЗШМ-2 соответствовала требованиям, установленным в проектной документации на изделия (рис. 3.13).

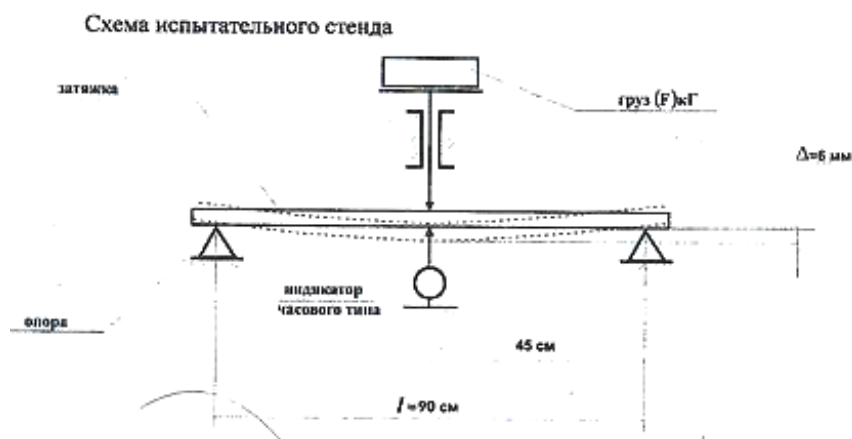


Рис. 3.13. Схема испытательного стенда

Качество сварных швов проверено визуально, а также, с использованием инструментальных замеров геометрических параметров в соответствии с требованиями ГОСТ 3242-79 «Соединения сварные. Методы контроля качества».

Контроль качества сварных соединений для выявления наличия внешних дефектов и повреждений проведен в соответствии с ГОСТ 3242-79 «Соединения сварные. Методы контроля качества», ГОСТ 10922-90.

Результаты испытаний. Результаты измерений приведены в табл. 3.9.

Экспериментальные данные контроля прогиба при нагружении

Таблица 3.9

Маркировка образца	Величина прогиба, мм при сосредоточенной нагрузке, кг							Норма по НД	Вывод
	44	88	132	176	220	264	286		
ЗШМ-1/1	1,46	2,88	4,23	5,6	7,15	7,96	Физическое разрушение	$f/l = 1/150$ по СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» (раздел 10)	Удовлетворяет требованиям ТУ
ЗШМ-1/2	1,40	2,55	3,10	3,82	5,28	6,54			
ЗШМ-1/3	1,43	2,62	3,55	4,12	5,42	6,86			
ЗШМ-1/4	1,41	2,48	3,31	3,95	5,32	6,65			
ЗШМ-2/1	1,45	2,80	4,1	5,40	6,6	7,32			
ЗШМ-2/2	1,55	2,55	3,40	4,80	5,8	6,84			
ЗШМ-2/3	1,49	2,60	3,32	4,51	5,21	6,38			
ЗШМ-2/4	1,42	1,51	2,63	3,51	4,96	5,99			

Результаты контроля требований нормативно-технической документации представлены в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Требования НД к изделиям	Пункты требований и обозначение НД	Маркировка образца	Результат испытаний (измерений, осмотра)	Вывод
Показатели надежности	см. ТУ У изготовителя п.п. 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, 1.4.4, 1.4.6, 1.4.7, 1.4.8, 1.4.10 – 1.4.12.	ЗШМ-1/1		Соответствуют требованиям
Соответствие технической документации		ЗШМ-1/2		
Предельные отклонения от номинальных размеров		ЗШМ-1/3		
Качество сварных швов		ЗШМ-1/4		
		ЗШМ-2/1		
		ЗШМ-2/2		
		ЗШМ-2/3		
		ЗШМ-2/4		

3.6.2. Оценка коррозионной стойкости и долговечности

Характеристика испытываемой продукции. На сертификацию по правилам УКРСЕПРО представлена продукция, которая подлежит обязательной сертификации в Украине, конструкции строительные стальные и их защитные покрытия, а именно фрагменты сборных стальных оцинкованных осветительных опор и мачт типа SEXTANT.P, AURIGA 60P.

Цель испытаний. Целью испытаний является проверка соответствия показателей, предоставленных в технической документации (Aprobata Techniczna IBDiM Nr AT/2003-04-1465), а также контроль коррозионной стойкости и долговечности в соответствии с действующими международными стандартами и нормативными документами в области строительства, которые действуют на территории Украины.

Программа испытаний содержит следующие задачи:

- ☐ контроль толщины конструктивных элементов сопротивления;
- ☐ оценка внешнего вида и прочности сцепления цинковых покрытий с основным металлом;
- ☐ контроль толщины защитных цинковых покрытий;
- ☐ контроль показателей коррозионной стойкости и долговечности защитных цинковых покрытий.

Методика испытаний. Оценка технических характеристик защитных цинковых покрытий при проведении испытаний на коррозионную стойкость и долговечность выполнена с учетом норм РН-89/Н-92125; РН-84/Н-92126; ВН-84/0672-46; РН-93/С-81515; ВН-79/0001-06. на основе следующих методов испытаний:

☐ ГОСТ 9.302-88 ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля;

☐ ГОСТ 9.304-84 ЕСЗКС. Покрытия металлизационные. Обозначения, технические требования и методы контроля;

☐ ИСО 1462-73(А) Покрытия металлические (кроме анодных). Метод оценки результатов испытаний на ускоренную коррозию;

☐ ГОСТ 9.308-85 ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний.

Контроль показателей коррозионной стойкости и долговечности защитных покрытий выполнялся путем определения оценки качества защитного покрытия в соответствии с ГОСТ 9.302-88 «ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля», контроля толщины защитного покрытия с помощью многофункционального толщиномера «КОНСТАНТА К5» (ТУ 74.06.400.000.00, сертификат 95.014.120 от 01.12.95), контроля прочности сцепления покрытия в соответствии с ГОСТ 9.304-84 «ЕСЗКС. Покрытия металлизационные. Обозначения, технические требования и методы контроля», контроля показателей стойкости покрытия в соответствии с методикой ГОСТ 9.408-86 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Метод ускоренных испытаний на стойкость в условиях хранения».

Степень агрессивности влияний атмосферы воздуха по СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» (см. табл. 24, 25) – слабоагрессивная (на открытом воздухе, при наличии газов группы А).

Требования СНиП 2.03.11-85 к средствам противокоррозионной защиты стальной поверхности осветительных опор устанавливают в соответствии с таблицей Приложения 14 СНиП 2.03.11-85.

Для проведения замеров на участках, определенных на рис. 3.14, производилось удаление защитных покрытий в зависимости от используемых методов оценки толщины металла и цинкового защитного покрытия. Контроль показателей коррозионной стойкости стали производился после удаления цинкового покрытия.

Контроль интенсивности коррозионных разрушений после испытаний выполнялся на участках, где проводились замеры толщины стали осветительных опор до испытаний.

Дата получения образцов: 01.07.2003 г.

Дата проведения испытаний: с 08.07.2003 г. до 15.08.2003 г.

Элементы конструкций с противокоррозионным покрытием в количестве 2 шт. для проведения сертификационных испытаний на соответствие требованиям ГОСТ 23118-78 «Конструкции металлические строительные. Общие технические требования» пп. 2.5, 2.7, СНиП III-18-75 «Правила производства и приемки работ. Металлические конструкции» п. 1.2, 1.17–1.19, 1.41, 1.51, 1.59, 1.65, 6.2, СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» отобраны представителем Органа по сертификации.

Испытываемые изделия изготовлены согласно с документами:

☐ СНиП III-18-75 «Правила производства и приёмки работ. Металлические конструкции»;

☐ ГОСТ 23118-78 «Конструкции металлические строительные. Общие технические требования»;

☐ Aprobata Techniczna IBDiM Nr AT/2003-04-1465.

Испытание проводится согласно с документами:

☐ СНиП III-18-75 «Правила производства и приёмки работ. Металлические конструкции»;

☐ СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии»;

☐ СНиП 3.04.03-85 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии»;

☐ Технологическая инструкция. Определение толщины цинкового покрытия, однородности и прочности сцепления с основой. ТИ 0.08-99Т;

☐ ГОСТ 9.307-89 «ЕСЗКС. Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля».

Все образцы покрытия фрагментов в момент передачи исследовательской лаборатории отвечали внешним данным описания технической документации на изготовление и не имели поверхностных дефектов и повреждений.

Тип и основные характеристики испытательного оснащения и средств измерительной техники:

☐ замеры в соответствии с п. 2.1 выполнялись ультразвуковым толщиномером типа УГ-93Г (зав. № 1504);

☐ замеры при оценке показателей п. 2.3 выполнялись электромагнитным толщиномером покрытий и материалов «КОНСТАНТА К5» (ТУ 74.06.400.000.00, сертификат 95.014.120 от 01.12.95);

☐ испытания по п. 2.4 выполняли на протяжении 480 часов для определения показателей коррозионной стойкости на участках образцов в соответствии с рис. 3.14.

Тип и основные характеристики испытательного оснащения:

☐ камера влажности типа Г-4 (№ 12119);

☐ камера сернистого газа АСС-01;

- ☐ эксикатор по ГОСТ 25336-82;
- ☐ камера холода типа Feutron;
- ☐ аппарат искусственной погоды (в дальнейшем – АИП) типа ИП-1-3 зав. № 0576, инв. № 245 (рабочий объем – 150 литров, погрешности измерений $t = \pm 2^\circ$, $W = \pm 2\%$).

Условия проведения исследований отвечали требованиям, изложенным в стандартах: СНиП III-18-75 «Правила производства и приемки работ. Металлические конструкции»; СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии»; СНиП 3.04.03-85 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии».

Испытания образцов фрагментов с нанесенным защитным покрытием для осветительных опор проводились к заданным показателям обобщенной оценки защитных свойств, которое отвечало коррозионным потерям ($\Gamma=0,15$ мм/год) незащищенных стальных образцов (материал стали WO1 S235 JRG2) в слабоагрессивных средах.

Результаты испытаний. Результаты статистической обработки полученных после испытаний экспериментальных данных приведены в табл. 3.11.

Результаты испытаний образцов фрагментов для осветительных опор
типа SEXTANT.P, AURIGA 60P

Таблица 3.11

Образцы сертифицирован- ной продукции		Наименование параметра	Единица измере- ния	Количественная характеристика		
наимено- вание, марки- ровка	схема образца			норма- тивная	допуска- емые от- клонения	фактическая
А1	См. рис. 1	Толщина конструктивного элемента опоры, мм				
		Точка № 1	мм	4,0	±10%	4,10
		Точка № 2				4,15
		Точка № 3				4,15
		Точка № 4				4,10
		Точка № 5				4,15
		Толщина защитного покрытия, мкм				
		Точка № 1	мкм	60-100	±10%	75
		Точка № 2				69
		Точка № 3				71
		Точка № 4				73
		Точка № 5				75
		Прочность сцепления покрытия	–	удовле- твори- тельная	–	прочность сцепления удовлетво- рительная
		Срок службы защитного покрытия	годы	более 50	–	54-62
А2	См. рис. 2	Толщина конструктивного элемента опоры, мм				
		Точка № 1	мм	3,0	±10%	3,10
		Точка № 2				3,15
		Точка № 3				3,10
		Точка № 4				3,15
		Точка № 5				3,10
		Толщина защитного покрытия, мкм				
		Точка № 1	мкм	60-100	±10%	68
		Точка № 2				71
		Точка № 3				75
		Точка № 4				69
		Точка № 5				68
		Прочность сцепления покрытия	–	удовле- твори- тельная		прочность сцепления удовлетво- рительная
			Срок службы защитного покрытия	годы	более 50	

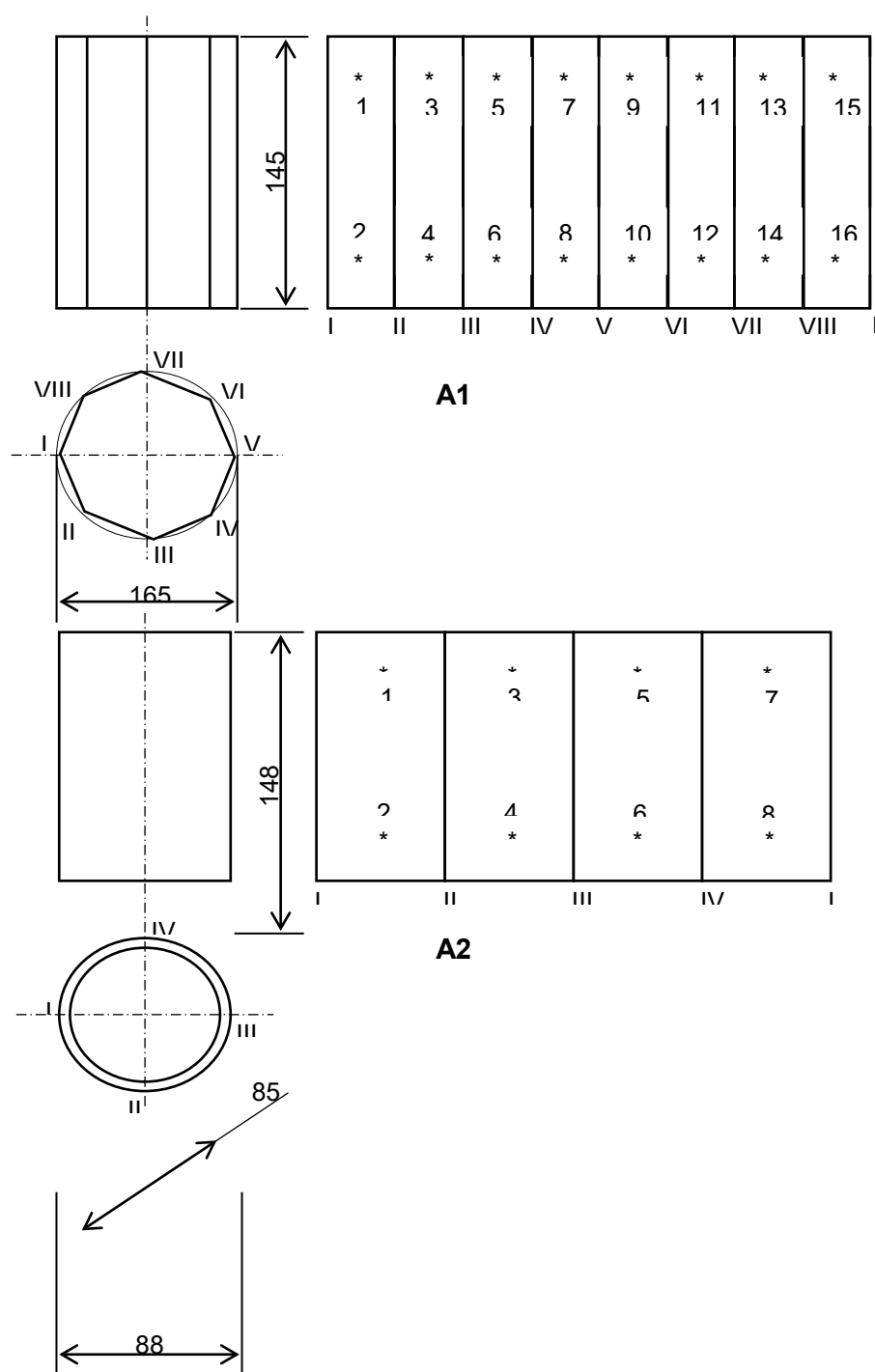


Рис. 3.14. Схемы сечений и развернутой поверхности образцов A1 и A2

3.7. Экспертное обследование при выявлении причин отказа конструктивного элемента

Основные признаки ограничения возможности дальнейшей эксплуатации объектов повышенной опасности связаны с коррозионным износом металлоконструкций, различными локальными коррозионными повреждениями основного металла и сварных соединений, образованием трещин технологического, усталостного или коррозионно-усталостного происхождения в зонах сварных соединений. Истощение ресурса в этих случаях связано с потерей несущей способности металлоконструкций из-за уменьшения сечения элементов или с признаками коррозионно-механического разрушения. Предельные состояния конструкций, вызванные указанными причинами, могут относиться как к первой группе (потеря несущей способности и полная непригодность к эксплуатации), так и ко второй группе (затруднение нормальной эксплуатации сооружений или снижение долговечности).

В качестве практического примера, рассмотрим результаты экспертного обследования характера разрушения сварного шва поперечного связевого элемента проходной галереи рудно-грейферного крана (РГК), (рис. 3.15).



Рис. 3.15. Условия эксплуатации РГК на площадке рудного двора

Исходные данные. При экспертном обследовании приняты во следующие материалы:

- техническая документация – чертеж и паспорт рудно-грейферного крана грузоподъемность 32 т, пролетом – 76,2 м;
- протокол исследования химического состава структуры металла центральной контрольной лаборатории;
- фотоматериалы, отражающие расположение связевого элемента проходной галереи до отбора фрагмента с помощью дуговой резки;
- результаты макро- и микроанализа фрагмента связевого элемента проходной галереи, состоящий из двух образцов: полосы (образец 1) сечением 6×60 мм длиной 550 мм и макрошлифа сварного соединения

(образец 2) участка опирания связевого элемента на продольную балку размером до 40 мм (рис. 3.16–3.19).



Рис. 3.16. Механические повреждения конструкций проходных трапов галерей



Рис. 3.17. Смещение ходового трапа с опорного элемента



Рис. 3.18. Участок соединения опорного элемента и соединительного элемента опорного элемента на участке обрушения секции настила



Рис. 3.19. Ослабление сварочного шва внутренними дефектами (шлаковые включения, поры) и коррозионные поражения

Краткое описание конструктивных и технологических особенностей режима эксплуатации элемента. Конструктивно связевой элемент предназначен для фиксирования габаритных размеров между опорными уголками, на которые уложены секции ходовых площадок крана. Выполнен из полосовой стали толщиной 6 мм и длиной около 800 мм. Основное назначение связевого элемента обеспечение геометрической неизменяемости пролетного расстояния между опорами секций ходовых площадок. По характеру работы является ненагруженным элементом. Связевой элемент располагается в вертикальной плоскости для соединения продольного внутреннего (на мостовой конструкции) и наружного опорных уголков. Соединение элемента с продольными уголками – электросварное (двухсторонний угловой шов – катет шва 5...6 мм).

Для режима эксплуатации конструкции ходовых галерей характерны следующие особенности:

- динамические колебания, вызванные работой кранового оборудования;
- атмосферные и пылевые воздействия общезаводской среды;
- коррозионные воздействия среднеагрессивной среды (со стороны башни мокрого тушения кокса).

Данные контроля участка повреждения конструкций ходовых галерей. По материалам осмотра состояния конструкций выявлены:

- значительные скопления уплотненных пылевых выделений и пластовой коррозии в зазорах между настилами ходовых площадок и продольными опорными элементами (рис. 3.17);
- особенности внешнего вида разрушения сварного шва в месте соединения поперечного элемента и продольного опорного уголка со стороны мостовой балки (рис. 3.18);
- механические повреждения конструкций ходовых галерей (рис. 3.16).

Результаты осмотра повреждения ходовой галереи определили необходимость анализа макро- и микроструктуры сварного соединения поперечного связевого элемента и продольного опорного уголка.

Результаты анализа структуры металла и сварного шва. Металлографические исследования образца связевого элемента проходной площадки выполнены центральной контрольной лабораторией.

По химическому составу показатели образца соответствуют стали 15 по ГОСТу 1050-88 с повышенным содержанием серы. Разрушение соединения произошло по металлу сварного шва, содержащего внутренние дефекты в виде пор и шлаковых включений (рис. 3.19).

Структура основного металла образца состоит из равномерно распределенных зерен феррита (номера 8-7) и перлита. Структура металла шва представлена ферритом и бейнитом.

По коррозионному состоянию фрагмент связевого элемента разделен на три однородные зоны:

- зона 1 включает участок образца 1 размером 300 мм, ориентированный в сторону наружного продольного опорного элемента;
- зона 2 размером до 200 мм является участком образца 1, ориентированным в сторону внутреннего продольного элемента;
- зона 3 относится к конструктивным размерам образца 2.

Результаты инструментального контроля коррозионного износа образцов. Оценка характера и интенсивности коррозионного разрушения по однородным зонам представлена в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Номер зоны	Вид коррозии по ДСТУ 3830-98	Измерительный инструмент для контроля	Показатель коррозионного износа	
			глубина поражения, мм	коэффициент надежности противокоррозионной защиты, γ_{zf}
1	Равномерная коррозия	Штангенциркуль	0,61	0,88
	Язвенная коррозия	Игольчатый индикатор часового типа	0,14	
2	Равномерная коррозия	Штангенциркуль	0,57	0,85
	Язвенная коррозия	Игольчатый индикатор часового типа	0,19	
3 (основной металл)	Равномерная коррозия	Штангенциркуль	5,0	0,82
	Язвенная коррозия	Игольчатый индикатор часового типа	0,20	
3 (металл шва)	Равномерная коррозия	Штангенциркуль	3,8	0,57
	Язвенная коррозия	Игольчатый индикатор часового типа	0,22	

Анализ результатов контроля коррозионного состояния элемента.

Максимальные значения снижения несущей способности связевого элемента установлены для зоны 3.

Уменьшение коэффициента надежности противокоррозионной защиты ($\gamma_{zf}=0,57$) для металла шва (см. рис. 3.19) связано, по всей видимости, с подрезом основного металла при сварке. Для основного металла коррозионная стойкость за период эксплуатации характеризуется более высоким значением коэффициента ($\gamma_{zf}=0,82$). Если допустить, отсутствие технологического дефекта при изготовлении, то значение ($\gamma_{zf}=0,57$) объясняется протеканием структурно-избирательной коррозии, связанной с легирующими добавками металла электрода для сварки. Возможно также частичное проявление признаков разрушения, связанных с подрезом и структурной неоднородностью металла шва.

Внешний вид излома (см. рис. 3.19) сварного соединения (камневидный, кристаллический) свидетельствует о хрупком разрушении сварного шва в результате отрыва связевого элемента. Этому способствовали многочисленные дефекты структуры в виде пор и шлаковых образований, установленные центральной контрольной лабораторией.

Разрушение сварного шва связевого элемента может быть связано с ударным воздействием (растяжение, сжатие), либо с усилиями, вызвавшими появление дополнительных растягивающих напряжений при образовании пластовой ржавчины на участках опирания секций ходовых трапов (см. рис. 3.17). Подтверждением возможных механических воздействий является наличие повреждений, представленных на рис. 3.16. Не исключается механизм комплексного коррозионно-механического разрушения.

Выводы. Значительный коррозионный износ, в наиболее опасных формах его проявления (неравномерной, щелевой и язвенной коррозии) вызвал дополнительную концентрацию напряжений в зоне сварного шва, которая стала основной причиной хрупкого разрушения и обрыва сварного соединения связевого элемента.

Наличие динамических колебаний связевого элемента в значительной степени способствовало протеканию явлений коррозионной усталости.

Результаты анализа макро- и микроструктуры, контрольных замеров характеристик коррозионных поражений подтверждают, что разрушение сварного шва произошло в упругой стадии работы без явных признаков пластической деформации.

Раздел 4

ТРЕБОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

4.1. Общие правила задания требований по надежности

Требования по надежности – совокупность количественных и (или) качественных требований к безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости, выполнение которых обеспечивает эксплуатацию изделий с заданными показателями эффективности, безопасности, экологичности, живучести и других составляющих качества, зависящими от надежности изделия, или возможность применения данного изделия в качестве составной части другого изделия с заданным уровнем надежности.

При задании требований по надежности определяют (выбирают) и согласовывают между заказчиком (потребителем) и разработчиком (изготовителем) изделия:

- типовую модель эксплуатации (или несколько моделей), применительно к которой (которым) задают требования по надежности;
- критерии отказов по каждой модели эксплуатации, применительно к которой задают требования по безотказности;
- критерии предельных состояний изделий, применительно к которым установлены требования по долговечности и сохраняемости;
- понятие «выходной эффект» для изделий, требования по надежности к которым установлены с использованием показателя «коэффициент сохранения эффективности»;
- номенклатуру и значения показателей надежности (ПН), применительно к каждой модели эксплуатации;
- методы контроля соответствия изделий заданным требованиям по надежности (контроля надежности);
- требования и (или) ограничения по конструктивным, технологическим и эксплуатационным способам обеспечения надежности, при необходимости, с учетом экономических ограничений;
- необходимость разработки программы обеспечения надежности.

Типовая модель эксплуатации изделий должна содержать:

- последовательность (циклограмму) этапов (видов, режимов) эксплуатации (хранения, транспортирования, развертывания, ожидания применения по назначению, применения по назначению, технического обслуживания и плановых ремонтов) с указанием их продолжительности;
- характеристику принятой системы технического обслуживания и ремонта, обеспечения запасными частями, инструментом и эксплуатационными материалами;
- уровни внешних воздействующих факторов и нагрузок для каждого этапа (вида, режима) эксплуатации;

- численность и квалификацию обслуживающего и ремонтного персонала.

Номенклатуру задаваемых ПН изделия выбирают в соответствии с положениями настоящего стандарта и согласовывают в установленном порядке между заказчиком (потребителем) и разработчиком (изготовителем). Показатели, как правило, должны выбираться из числа показателей, определения которых приведены в ГОСТ 27.002. Допускается применять показатели, наименования и определения которых конкретизируют соответствующие термины, установленные ГОСТ 27.002, с учетом особенностей изделия и (или) специфики его применения, но не противоречат стандартизованным терминам.

Общее количество задаваемых на изделие показателей должно быть минимальным, но характеризовать все этапы его эксплуатации. Все показатели должны иметь однозначное толкование и для каждого из них должны существовать методы контроля (оценки) на всех стадиях жизненного цикла изделий.

Для изделий, подлежащих перед началом или в процессе эксплуатации хранению (транспортированию), задают показатели сохраняемости. При этом должны быть определены и учтены условия и режимы хранения (транспортирования), применительно к которым задают указанные показатели.

Для восстанавливаемых изделий, как правило, задают комплексный ПН или определяющий его набор единичных показателей безотказности и ремонтпригодности, причем первый вариант задания требований является предпочтительным. По требованию заказчика в дополнение к комплексному показателю может быть задан один из определяющих его показателей безотказности или ремонтпригодности. Не допускается одновременное задание комплексного и всех определяющих его единичных показателей. Для показателей ремонтпригодности должны быть определены и учтены условия и виды восстановления, ремонта и технического обслуживания, применительно к которым задают указанные показатели.

При статистическом методе контроля для выбора плана контроля соответствия изделий заданным требованиям по надежности применительно к каждому ПН устанавливают необходимые исходные данные: приемочный и браковочный уровни, риски заказчика (потребителя) и поставщика (изготовителя) или доверительную вероятность и значение отношения верхней и нижней доверительных границ.

Требования к конструктивным способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования и (или) ограничения по резервированию;
- требования и (или) ограничения по затратам (стоимости) в изготовлении и эксплуатации, массе, габаритам, объему изделия и (или) его отдельных составных частей, комплектов ЗИП, оборудования для технического обслуживания и ремонтов;

- требования к структуре и составу ЗИП;
- требования к системе технического диагностирования (контроля технического состояния);
- требования и (или) ограничения по способам и средств обеспечения ремонтпригодности и сохраняемости;
- ограничения но номенклатуре разрешенных к применению комплектующих изделий и материалов;
- требования по применению стандартизированных или унифицированных комплектующих изделий и др.

Требования к технологическим (производственным) способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования к точностным параметрам технологического оборудования и его аттестации;
- требования к стабильности технологических процессов, свойствам сырья, материалов, комплектующим изделиям;
- требования к необходимости, длительности и режимам технологического прогона (обкатки, электротермотренировки и т.п. изделий в процессе изготовления;
- требования к способам и средствам контроля уровня надежности (дефектности) в ходе производства и др.

Требования к эксплуатационным способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования к системе технического обслуживания и ремонта;
- требования к алгоритму технического диагностирования (контроля технического состояния);
- требования к численности, квалификации, длительности обучения (подготовки) обслуживающего и ремонтного персонала;
- требования к способам устранения отказов и повреждений, порядку использования ЗИП, правилам регулировок и т.п.;
- требования к объему и форме представления информации надежности, собираемой (регистрируемой) в ходе эксплуатации и др.

Требования по надежности включают в:

- тактико-технические задания (ТТЗ), технические задания (ТЗ) на разработку или модернизацию изделий;
- технические условия (ТУ) на изготовление опытной и серийной продукции (если согласованы правила или условия их утверждения);
- стандарты общих технических требований (ОТТ), общих технических условий (ОТУ) и технических условий (ТУ).

В паспортах, формулярах, инструкциях и другой эксплуатационной документации требования по надежности (показатели надежности) указывают по согласованию между заказчиков (потребителем) и разработчиком (изготовителем) в качестве справочных. Требования по надежности могут включаться в договоры на разработку к поставку изделий.

Требования по надежности, включаемые в ТТЗ (ТЗ), первоначально определяют на стадии исследования и обоснования разработки путем выполнения следующих работ:

- анализа требований заказчика (потребителя), назначения и условий эксплуатации изделия (или его аналогов), ограничений по всем видам затрат, в том числе по конструктивному исполнению, технологии изготовления и стоимости эксплуатации;
- выработки и согласования с заказчиком (потребителем) критериев отказов и предельных состояний;
- выбора рациональной номенклатуры задаваемых ПН;
- установления значений (норм) ПН изделия и его составных частей.

На стадии разработки изделия по согласованию между заказчиком (потребителем) и разработчиком допускается уточнять (корректировать) требования по надежности при соответствующем технико-экономическом обосновании путем выполнения следующих работ:

- рассмотрения возможных схемно-конструктивных вариантов построения изделия и расчета для каждого из них ожидаемого уровня надежности, а также показателей, характеризующих виды затрат, включая эксплуатационные, и возможности выполнения других заданных ограничений;
- выбора схемно-конструктивного варианта построения изделия, удовлетворяющего заказчика по совокупности ПН и затрат;
- уточнения значений ПН изделия и его составных частей.

При формировании ТУ на серийные изделия в него включают, как правило, те ПН из заданных в ТТЗ (ТЗ), которые предполагается контролировать на этапе изготовления изделия.

На стадиях серийного производства и эксплуатации допускается по согласованию между заказчиком и разработчиком (изготовителем) корректировать значения отдельных ПН по результатам испытаний или подконтрольной эксплуатации.

Для сложных изделий при их отработке, опытно и серийном производстве допускается поэтапное задание значений ПН (при условии повышения требований к надежности) и параметров планов контроля, исходя из установившейся практики, с учетом накопленных статистических данных по предшествующим изделиям-аналогам, и по согласованию между заказчиком (потребителем) и разработчиком (изготовителем).

Выбор номенклатуры ПН осуществляют на основе классификации изделий по признакам, характеризующим их назначение, последствия отказов и достижения предельного состояния, особенности режимов применения и др.

Определение классификационных признаков изделий осуществляют путем инженерного анализа и согласования его результатов между заказчиком и разработчиком. Основным источником информации для такого анализа является ТТЗ (ТЗ) на разработку изделия в части характеристик его

назначения и условий эксплуатации и данные о надежности изделий—аналогов.

Основными признаками, по которым подразделяют изделия при задании требований по надежности, являются:

- определенность назначения изделия;
- число возможных (учитываемых) состояний изделий по работоспособности в процессе эксплуатации;
- режим применения (функционирования);
- возможные последствия отказов и (или) достижения предельного состояния при применении и (или) последствия отказов при хранении и транспортировании;
- возможность восстановления работоспособного состояния после отказа;
- характер основных процессов, определяющих переход изделия в предельное состояние;
- возможность и способ восстановления технического ресурса, (срока службы);
- возможность и необходимость технического обслуживания;
- возможность и необходимость контроля перед применением;
- наличие в составе изделий средств вычислительной техники.

По определенности назначения изделия подразделяют на:

- изделия конкретного назначения (ИКН), имеющие один основной вариант применения по назначению;
- изделия общего назначения (ИОН), имеющие несколько вариантов применения.

По числу возможных (учитываемых) состояний (по работоспособности) изделия подразделяют на:

- изделия вида I, которые в процессе эксплуатации могут находиться в двух состояниях – работоспособном или неработоспособном;
- изделия вида II, которые, кроме указанных двух состояний, могут находиться в некотором числе частично неработоспособных состояний, в которые они переходят в результате частичного отказа.

Для упрощения процедуры задания (и последующего контроля) по согласованию между заказчиком и разработчиком допускается изделия вида II приводить к изделиям вида I путем условного разделения множества частично неработоспособных состояний на два подмножества состояний, одно из которых относят к работоспособному, а другое – к неработоспособному состоянию. Для подразделения множества состояний на два подмножества рекомендуется общее правило: если в частично неработоспособном состоянии целесообразно продолжать применять изделия по назначению, то это состояние относят к работоспособному, в противном случае – к неработоспособному.

Допускается также разукрупнять изделия вида II на составные части вида I и устанавливать требования по надежности к изделию в целом в виде набора ПН его составных частей.

Для изделий, имеющих каналный принцип построения (системы связи, обработки информации и др.), требования по безотказности и ремонтпригодности допускается задавать в расчете на один канал или на каждый канал при неравноценных по эффективности каналах.

По режимам применения (функционирования) изделия подразделяют на:

- изделия непрерывного длительного применения;
- изделия многократного циклического применения;
- изделия однократного применения (с предшествующим периодом ожидания применения и хранения).

По последствиям отказов или достижения предельного состояния при применении, или последствиям отказов при хранении к транспортированию изделия подразделяют на:

- изделия, отказы или переход в предельное состояние которых приводят к последствиям катастрофического (критического) характера (к угрозе для жизни и здоровья людей, значительным экономическим потерям и т.п.);
- изделия, отказы или переход в предельное состояние которых не приводят к последствиям катастрофического (критического) характера (без угрозы для жизни и здоровья людей, незначительным или «умеренным» экономическим потерям и т.п.).

По возможности восстановления работоспособного состояния после отказа в процессе эксплуатации изделия подразделяют на:

- восстанавливаемые;
- невосстанавливаемые.

По характеру основных процессов, определяющих переход в предельное состояние, изделия подразделяют на:

- стареющие;
- изнашиваемые;
- стареющие и изнашиваемые одновременно.

По возможности и способу восстановления технического ресурса (срока службы) путем проведения плановых ремонтов (средних, капитальных и др.) изделия подразделяют на:

- неремонтируемые;
- ремонтируемые обезличенным способом;
- ремонтируемые необезличенным способом.

По возможности технического обслуживания в процессе эксплуатации изделия подразделяют на:

- обслуживаемые;
- необслуживаемые.

По возможности (необходимости) проведения контроля перед применением изделия подразделяют на:

- контролируемые перед применением;
- неконтролируемые перед применением.

Целью классификации отказов и предельных состояний (ПС) является обеспечение решения любых задач надежности (нормирования, анализа, оценки, прогнозирования и т.д.), требующих применения результатов классификации отказов и ПС.

Для решения задач надежности, требующих классификации информации об отказах (отказавшем изделии), и создания банка данных о надежности изделий разрабатывают (применяют) межотраслевые и отраслевые классификаторы.

При классификации отказов (ПС) должны быть решены следующие задачи:

- определение конкретного вида (класса, группы, подгруппы) изделий, для которого следует производить классификацию отказов (ПС);
- формирование классифицируемого множества отказов на стадиях разработки, производства, эксплуатации и ремонта;
- установление классификационных признаков и метода классификации;
- разделение множества отказов на подмножества на основе установленных признаков и в соответствии с принятыми методами.

При разработке классификатора отказов и ПС (информации об отказах) дополнительно определяют категорию классификатора (межотраслевой, отраслевой и т.д.), выбирают способ кодирования и устанавливают соответствующие коды для каждого элемента, классифицируемого множества.

Результаты классификации отказов и ПС следует использовать для представления информации об отказах и ПС при:

- анализе, оценке и прогнозировании надежности;
- уточнении критериев отказов и ПС;
- нормировании показателей надежности;
- определении влияния на надежность факторов конструирования, изготовления и эксплуатации изделий;
- анализе статистики и причин отказов и ПС, а также при разработке мероприятий по их устранению;
- оценке эффективности мероприятий по обеспечению надежности, выборе системы диагностирования (контроля технического состояния), определении стратегии и тактики технического обслуживания и ремонта, расчета, расхода запасных частей;
- создании информационных фондов по надежности изделий и др.

Глубина классификации отказов и ПС устанавливается в соответствующих отраслевых (межотраслевых) нормативно-технических документах и классификаторах.

В технически обоснованных случаях отдельные признаки классификации, установленные настоящим РД, допускается не применять.

В зависимости от особенностей изделия и решения конкретных задач надежности допускается применять и другие классификационные признаки, не установленные настоящим РД.

Классификацию ПС, основанную на технико-экономических признаках, устанавливают в отраслевых НТД.

Общие правила выбора признаков классификации. Отказы и ПС классифицируют по следующим признакам:

- последствия отказа (достижения ПС);
- способы обнаружения отказа (достижения ПС);
- внешние проявления отказа (достижения ПС);
- механизмы отказов (достижения ПС);
- причины возникновения отказов (ПС); виды отказов (ПС);
- связь с оценкой показателей надежности;
- способы восстановления изделия после отказа (достижения ПС).

По последствиям отказов (ПС) классификационным признаком является критичность отказов (ПС).

Способы обнаружения отказа (ПС) в зависимости от особенностей контроля, диагностирования и применяемых при этом методов и средств подразделяют на обнаруживающие отказ (ПС):

- органолептически;
- с использованием встроенных средств контроля;
- с использованием внешних штатных и встроенных средств технического диагностирования (контроля технического состояния) и т.д.

Внешние проявления отказа (достижения ПС) в зависимости от возможных изменений характеристик и параметров изделий могут подразделяться на:

- нарушение функционирования;
- нарушение внешнего вида изделия (изменение цвета, формы, размеров и т.д.);
- появление следов деградиационных процессов (проявление процессов разрушения, коррозии, электрического пробоя и т.д.);
- появление посторонних шумов и колебаний (стук, взрыв, вибрация и т.д.);
- появление дыма или несвойственных нормальной работе изделия запахов;
- подтекание рабочих жидкостей (газов);
- снижение производительности или КПД;
- увеличение расхода энергии, топлива, смазочных материалов и т.д.;
- срабатывание сигнальных и защитных устройств и т.д.

При описании внешнего проявления отказа следует указывать не только вид, но и степень его проявления (в необходимых случаях).

Механизмы возникновения отказов (ПС) в зависимости от вида основного деградационного процесса, приводящего изделие к отказу (ПС) подразделяют на:

- физический;
- химический;
- комбинированный.

Причины отказов (достижения ПС) делят на причины, связанные с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации (конструктивные, производственные и эксплуатационные), и причины, связанные с естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

Классификация видов отказов, применяемая при решении различных задач надежности (оценке, анализе отказов, прогнозировании и т.д.) приведена в табл. 4.1, классификация, общая для видов отказов и ПС – в табл. 4.2.

Классификация видов отказов

Таблица 4.1

Вид отказа	Классификационный признак
Внезапный	Характер изменения параметров во времени до отказа
Постепенный	
Сбой	Характер существования отказа во времени
Перебегающий	
Устойчивый	
Явный	Возможность обнаружения
Скрытый	
Ресурсный	Наличие предельного состояния после отказа
Нересурсный	

Классификация видов отказов и ПС

Таблица 4.2

Вид отказа (ПС)	Классификационный признак
Зависимый	Обусловленность другими отказами
Независимый	
Одиночный	Повторяемость однотипных отказов (ПС)
Повторяющийся	
Неустраняемый	Возможность восстановления работоспособности изделия после отказа (достижения ПС)
Устранимый на месте эксплуатации	
Устранимый на специализированном ремонтном предприятии	

В зависимости от целей оценки надежности изделий отказы могут быть подразделены на учитываемые и неучитываемые.

Способы восстановления изделия после отказа (ПС) в зависимости от вида возможных работ, проводимых при восстановлении изделия могут подразделяться на:

- замена составной части;
- замена сборочной единицы;
- ремонт сборочной единицы заменой детали (ЭРИ);
- ремонт сборочной единицы восстановлением детали;
- регулировка и т.д.

Для формирования полного множества классифицируемых отказов (по выбранному признаку) при необходимости включают классификационные группировки типа «прочие», «неустановленные» и т.д.

Общие требования к системе классификации отказов (ПС). При классификации отказов (ПС) следует соблюдать следующие общие правила классификации:

- каждый этап классификации должен производиться по одному и тому же классификационному признаку;
- элементы классифицируемого множества должны быть ближайшими видами классификационной группировки;
- элементы классифицируемого множества должны взаимно исключать друг друга;
- объем всех элементов классифицируемого множества должен равняться объему классифицируемого множества.

Система классификации отказов (ПС) должна: обеспечивать решение всего комплекса задач обработки классифицируемой информации;

- обладать определенной гибкостью и избыточностью для возможного расширения и внесения необходимых изменений без нарушения структуры классификации;
- быть сопрягаемой с взаимно-связанными системами классификации;
- быть согласованной с алгоритмами обработки информации и обеспечивать наиболее эффективное использование средств вычислительной техники;
- обеспечивать простоту и возможность автоматизации процесса ведения классификаторов.

Для создания системы классификации данных об отказах (ПС) следует использовать существующие классификации, установленные в ряде действующих государственных стандартов, а также общесоюзные классификаторы промышленной продукции (ОКП) и предприятий и организаций (ОКПО). Для остальных компонентов информации об отказавшем изделии в отраслях должны быть разработаны соответствующие принципы классификации и связанные с ними методы кодирования.

При построении системы классификации отказов (ПС) могут быть применены иерархический и фасетный методы классификации.

Классифицируемая информация в случае использования иерархического метода разбивается по некоторому признаку на группировки (классы, подклассы, группы, подгруппы и т.д.), постепенно ее конкретизирующие.

Иерархический метод классификации используют в основном для классификации номенклатур (например, в ОКП).

Фасетный метод классификации обеспечивает образование соответствующих классификационных группировок путем комбинации значений, взятых из определенных фасетов. Набор фасетов при этом представляет собой группу признаков, по которым многократно и независимо делится классифицируемая информация.

Фасетный метод используют для классификации полной информации об отказах (ПС), а в качестве фасетов рассматривается набор характерных признаков (общих данных об изделии, условиях эксплуатации и т.д.). Последовательность расположения фасетов описывается фасетной формулой, фасеты в классификаторе занимают строго фиксированные места, значения фасетов могут быть расположены либо в классификационном порядке, либо в виде перечисления.

Фасетный метод может быть рекомендован в качестве основного метода классификации информации об отказах (ПС), обладает большой гибкостью, позволяя образовывать новые классификационные группировки, включать новые и исключать старые фасеты, хорошо приспособлен к машинной обработке.

4.2. Анализ видов, последствий и критичности отказов

Цели проведения анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО).

Анализ видов, последствий и критичности отказов проводят с целью обоснования, проверки достаточности, оценки эффективности и контроля за реализацией управляющих решений, направленных на совершенствование конструкции, технологии изготовления, правил эксплуатации, системы технического обслуживания и ремонта объекта и обеспечивающих предупреждение возникновения и/или ослабление тяжести возможных последствий его отказов, достижение требуемых характеристик безопасности, экологичности, эффективности и надежности.

В процессе АВПКО решают следующие задачи:

- выявляют возможные виды отказов составных частей и изделия в целом, изучают их причины, механизмы и условия возникновения и развития;
- определяют возможные неблагоприятные последствия возникновения выявленных отказов, проводят качественный анализ тяжести последствий отказов и/или количественную оценку их критичности;

- составляют и периодически корректируют перечни критичных элементов и технологических процессов;
- оценивают достаточность предусмотренных средств и методов контроля работоспособности и диагностирования изделий для своевременного обнаружения и локализации его отказов, обосновывают необходимость введения дополнительных средств и методов сигнализации, контроля и диагностирования;
- вырабатывают предложения и рекомендации по внесению изменений в конструкцию и/или технологию изготовления изделия и его составных частей, направленные на снижение вероятности и/или тяжести последствий отказов, оценивают эффективность ранее проведенных доработок;
- оценивают достаточность предусмотренных в системе технологического обслуживания контрольно-диагностических и профилактических операций, направленных на предупреждение отказов изделий в эксплуатации, вырабатывают предложения по корректировке методов и периодичности технического обслуживания;
- анализируют правила поведения персонала в аварийных ситуациях, обусловленных возможными отказами изделий, предусмотренные эксплуатационной документацией, вырабатывают предложения по их совершенствованию или внесению соответствующих изменений в эксплуатационную документацию при их отсутствии;
- проводят анализ возможных (наблюдаемых) ошибок персонала при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте изделий, оценивают их возможные последствия, вырабатывают предложения по совершенствованию человеко-машинных интерфейсов и введению дополнительных средств защиты изделий от ошибок персонала, по совершенствованию инструкций по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту изделий.

Взаимосвязь АВПКО с другими элементами и задачами программ обеспечения надежности.

Проведение АВПКО не отменяет необходимости выполнения расчетов надежности объекта в соответствии с общими требованиями ГОСТ 27.301.

Планирование и выполнение расчетов надежности и АВПКО должны осуществляться так, чтобы указанные элементы ПОН дополняли друг друга и взаимно служили источниками исходных данных. При этом по результатам АВПКО уточняют критерии отказов объекта, модели, применяемые при расчете его надежности, задачи и содержание технического обслуживания и ремонта объекта, а методы и результаты расчетов надежности используют для оценки вероятностей отказов объекта, учитываемых при анализе их критичности.

АВПКО должен также обеспечивать получение исходных данных для:

- планирования экспериментальной отработки объектов;
- уточнения распределения требований надежности между составными частями объекта, внесения соответствующих изменений и дополнений в ПОН составных частей;

- установления и уточнения требований по приспособленности объекта к диагностированию (контролепригодности) и его ремонтнопригодности;

- отработки (совершенствования) технологии изготовления объекта, включая планирование программы отбраковочных испытаний объекта и его составных частей в процессе производства;

- планирования системы технического обслуживания и ремонта объекта, отработки эксплуатационной и ремонтной документации;

- составления (совершенствования) программ обучения и тренировки эксплуатационного и ремонтного персонала, правил его поведения в аварийных ситуациях.

Результаты АВПКО учитывают: при принятии решений о завершенности этапов видов работ на стадиях жизненного цикла объектов, включая приемку ОКР по разработке объектов; при сертификации объектов для проверки достаточности принятых при их разработке и изготовлении мер по обеспечению безопасности.

Основные принципы АВПКО. АВПКО в общем случае представляет сочетание качественного анализа видов и последствий отказов объекта с количественными оценками критичности выявляемых при АВПО возможных или наблюдаемых при испытаниях и в эксплуатации отказов.

В процессе АВПО проводят предварительную количественную оценку и ранжирование выявленных возможных (наблюдаемых) отказов объектов по тяжести их последствий с целью определения необходимости дальнейшего углубленного анализа и оценки их критичности и очередности проведения соответствующих доработок объекта, технологии его изготовления, системы технического обслуживания и ремонта.

Для обеспечения объективности и сопоставимости качественных оценок последствий отказов до проведения АВПКО объекта должна быть выработана система классификации отказов по категориям тяжести их возможных последствий. Указанная система может быть выработана применительно к конкретному объекту и приведена в методике его АВПО либо установлена в соответствующем нормативном документе, распространяющемся на группу (вид, тип) объектов.

При категорировании отказов по тяжести их последствий должны учитываться, по крайней мере, следующие факторы в различных сочетаниях:

- опасность отказа (с учетом немедленных и отдаленных последствий) для жизни и здоровья людей (в том числе, не связанных непосредственно с эксплуатацией объекта), для окружающей среды, для целостности и сохранности самого объекта, другого имущества и материальных объектов;

- влияние отказа на качество функционирования объекта и полноту выполнения им назначенных функций, возможный ущерб любого вида (материальный, моральный, политический и др.), обусловленный снижением качества функционирования объекта или невыполнением объектом определенных функций (поставленных задач);

- скорость развития неблагоприятных последствий отказа, определяющая возможность принятия соответствующих мер защиты от них.

При АВПО может проводиться предварительная качественная оценка ожидаемой (наблюдаемой) частоты наступления отказов разных категорий тяжести при эксплуатации объектов. Указанные оценки используют:

- для ранжирования отказов по очередности необходимых доработок объекта с целью их предупреждения с использованием матриц «вероятность отказа – тяжесть последствий»;

- для построения шкал балльных оценок критичности отказов.

Критичность отказов при АВПКО оценивают с использованием показателей, учитывающих для каждого анализируемого отказа объекта:

- вероятность его возникновения за время эксплуатации;
- условные вероятности наступления всех возможных неблагоприятных последствий отказа, если он может сопровождаться несколькими различными по характеру и тяжести последствиями;
- размер возможного ущерба в результате наступления каждого из ожидаемых последствий отказов.

В общем случае показатель критичности отказа представляет произведение его вероятности на средневзвешенный по условным вероятностям проявления последствий отказа размер ущерба от него, хотя возможно применение иных способов измерения критичности отказов.

Значения вероятностей отказов, учитываемые при оценке их критичности, рассчитывают (прогнозируют) принятыми в расчетах надежности методами с учетом структуры объекта, уровней нагруженности и режимов работы его элементов по имеющимся справочным или экспериментальным данным об их надежности. Возможные последствия каждого отказа определяют по результатам АВПО объекта, а соответствующие условные вероятности наступления каждого последствия рассчитывают на основе моделей типа «дерева событий» или прогнозируют экспертными методами.

Для определения возможного ущерба от наступления определенных последствий каждого отказа в АВПКО применяют:

- относительные балльные оценки с использованием соответствующей шкалы, разработанной применительно к конкретному объекту и установленной в методике его АВПКО, либо содержащейся в соответствующем нормативном документе по АВПКО группы (вида, типа) объектов;

- показатели, представляющие числовые характеристики соответствующих функций потерь, например распределения ущерба от отказов в денежном или ином натуральном выражении, и оцениваемые методами прогнозирования по априорным данным или путем моделирования возникающих в результате отказа аварийных ситуаций (пожаров, взрывов, выбросов отравляющих или радиоактивных веществ и др.).

Балльные оценки возможного ущерба от отказов применяют для объектов, абсолютные оценки последствий отказов которых невозможны или нецелесообразны по этическим, техническим или экономическим соображениям. Примері возможной шкалы балльных оценок критичности отказов приведены в табл. 4.3–4.5.

Шкала оценки категории тяжести последствий отказов

Таблица 4.3

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов
I	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или окружающей среды, гибель или тяжелые травмы людей, срыв выполнения поставленной задачи
II	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или для окружающей среды, срыв выполняемой задачи, но создает пренебрежимо малую угрозу жизни и здоровью людей
III	Отказ, который может повлечь задержку выполнения задачи, снижение готовности и эффективности объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей
IV	Отказ, который может повлечь снижение качества функционирования объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей

Матрица «вероятность отказа – тяжесть последствий»
для ранжирования отказов при АВПО

Таблица 4.4

Ожидаемая частота возникновения	Тяжесть последствий			
	Катастрофический отказ (категория IV)	Критический отказ (категория III)	Некритический отказ (категория II)	Отказ с пренебрежимо малыми последствиями (категория I)
Частый отказ	A	A	A	C
Вероятный отказ	A	A	B	C
Возможный отказ	A	B	B	D
Редкий отказ	A	B	C	D
Практически невероятный отказ	B	C	C	D

Ранги отказов:

A – обязателен углубленный количественный анализ критичности;

B – желателен количественный анализ критичности;

C – можно ограничиться качественным анализом;

D – анализ не требуется.

Качественные оценки частоты отказов

Таблица 4.5

Виды отказов по частоте	Качественное описание частоты для:	
	индивидуального изделия	совокупности изделий
Частый отказ	Вероятно частое возникновение	Наблюдается постоянно
Вероятный отказ	Будет наблюдаться несколько раз за срок службы изделия	Вероятно частое возникновение
Возможный отказ	Возможно одно наблюдение данного отказа за срок службы	Наблюдается несколько раз
Редкий отказ	Отказ маловероятен, но возможен хотя бы раз за срок службы	Вполне возможен хотя бы один раз
Практически невероятный отказ	Отказ настолько маловероятен, что вряд ли будет наблюдаться даже один раз за срок службы	Отказ маловероятен, но возможен хотя бы один раз

Шкала балльных оценок критичности отказов. Критичность отказа C рассчитывают как произведение:

$$C = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3,$$

входящие в которое сомножители оценивают в баллах с использованием табл. 4.6–4.8.

Оценки вероятностей отказов в баллах

Таблица 4.6

Виды отказов по вероятности возникновения за время эксплуатации	Ожидаемая вероятность отказов, оцененная расчетом или экспериментальным путем	Оценка вероятности отказа в баллах B_1
1	2	3
Отказ практически невероятен	менее 0,00005	1
Отказ маловероятен	от 0,00005 до 0,001	2
Отказ имеет малую вероятность, обусловленную только точностью расчета	от 0,001 до 0,005	3

Продолжение табл. 4.6

1	2	3
Умеренная вероятность отказа	от 0,005 до 0,001	4
Отказы возможны, но при испытаниях или в эксплуатации аналогичных изделий не наблюдались	от 0,001 до 0,005	5
Отказы возможны, наблюдались при испытаниях и в эксплуатации аналогичных изделий	от 0,001 до 0,005	6
Отказы вполне вероятны	от 0,005 до 0,01	7
Высокая вероятность отказов	от 0,01 до 0,10	8
Вероятны повторные отказы	более 0,11	10

Оценки последствий отказов

Таблица 4.7

Описание последствий отказов	Оценка последствий в баллах B_2
Отказ не приводит к заметным последствиям, потребитель вероятно не обнаружит наличие неисправности	1
Последствия отказа незначительны, но потребитель может выразить неудовольствие его появлением	2–3
Отказ приводит к заметному для потребителя снижению эксплуатационных характеристик и/или к неудобству применения изделия	4–6
Высокая степень недовольства потребителя, изделие не может быть использовано по назначению, но угрозы безопасности отказ не представляет	7–8
Отказ представляет угрозу безопасности людей или окружающей среды	9–10

Таблица 4.8

Виды отказов по вероятности обнаружения до поставки	Вероятность обнаружения отказа, оцененная расчетным или экспертным путем	Оценка вероятности отказа в баллах B_3
Очень высокая вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	более 0,95	1
Высокая вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	от 0,95 до 0,85	2–3
Умеренная вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	от 0,85 до 0,45	4–6
Высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	от 0,45 до 0,25	7–8
Очень высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	менее 0,25	9–10

Систематизация данных анализа вида, последствий и критичности отказов, производится с использованием форм, представленных в табл. 4.9–4.10.

Таблица 4.9

[illegible]

Таблица 4.10

[illegible]

4.3. Порядок разработки программ обеспечения надежности

Программу обеспечения надежности (ПОН) объекта разрабатывают на стадиях жизненного цикла и соответствующих этим стадиям этапах видов работ, установленных программой обеспечения надежности (ПОН) объекта или документами, ее заменяющими.

ПОН должна устанавливать цели расчета на каждом этапе видов работ, применяемые при расчете нормативные документы и методики, сроки выполнения расчета и исполнителей, порядок оформления, представления и контроля результатов расчета.

Цели расчета ПОН. Расчет надежности объекта на определенном этапе видов работ, соответствующем некоторой стадии его жизненного цикла, может иметь своими целями:

- обоснование количественных требований по надежности к объекту или его составным частям;
- проверка выполнимости установленных требований и/или оценка вероятности достижения требуемого уровня надежности объекта в установленные сроки и при выделенных ресурсах, обоснование необходимых корректировок установленных требований;
- сравнительный анализ надежности вариантов схемно-конструктивного построения объекта и обоснование выбора рационального варианта;
- определение достигнутого (ожидаемого) уровня надежности объекта и/или его составных частей, в том числе расчетное определение показателей надежности или параметров распределения характеристик надежности составных частей объекта в качестве исходных данных для расчета надежности объекта в целом; обоснование и проверка эффективности предлагаемых (реализованных) мер по доработкам конструкции, технологии изготовления, системы технического обслуживания и ремонта объекта, направленных на повышение его надежности;
- решение различных оптимизационных задач, в которых показатели надежности выступают в роли целевых функций, управляемых параметров или граничных условий, в том числе таких, как оптимизация структуры объекта, распределение требований по надежности между показателями отдельных составляющих надежности (например безотказности и ремонтпригодности), расчет комплектов ЗИП, оптимизация систем технического обслуживания и ремонта, обоснование гарантийных сроков и назначенных сроков службы (ресурса) объекта и др.;
- проверка соответствия ожидаемого (достигнутого) уровня надежности объекта установленным требованиям (контроль надежности), если прямое экспериментальное подтверждение их уровня надежности невозможно технически или нецелесообразно экономически.

Расчет надежности объектов в общем случае представляет собой процедуру последовательного поэтапного уточнения оценок, показателей надежности по мере отработки конструкции и технологии изготовления

объекта, алгоритмов его функционирования, правил эксплуатации, системы технического обслуживания и ремонта, критериев отказов и предельных состояний, накопления более полной и достоверной информации о всех факторах, определяющих надежность, и применения более адекватных и точных методов расчета и расчетных моделей.

Расчет надежности на любом этапе видов работ, предусмотренном планом ПОН, включает:

- идентификацию объекта, подлежащего расчету;
- определение целей и задач расчета изданном этапе, номенклатуры и требуемых значений рассчитываемых показателей надежности;
- выбор метода(ов) расчета, адекватного(ых) особенностям объекта, целям расчета, наличию необходимой информации об объекте и исходных данных для расчета;
- составление расчетных моделей для каждого показателя надежности;
- получение и предварительную обработку исходных данных для расчета, вычисление значений показателей надежности объекта и, при необходимости, их сопоставление с требуемыми;
- оформление, представление и защиту результатов расчета.

Идентификация объекта. Идентификация объекта для расчета его надежности включает получение и анализ следующей информации об объекте, условиях его эксплуатации и других факторах, определяющих его надежность:

- назначение, области применения и функции объекта;
- критерии качества функционирования, отказов и предельных состояний, возможные последствия отказов (достижения объектом предельного состояния) объекта;
- структура объекта, состав, взаимодействие и уровни нагруженности входящих в него элементов, возможность перестройки структуры и/или алгоритмов функционирования объекта при отказах отдельных его элементов;
- наличие, виды и способы резервирования, используемые в объекте;
- типовая модель эксплуатации объекта, устанавливающая перечень возможных режимов эксплуатации и выполняемых при этом функций, правила и частоту чередования режимов, продолжительность пребывания объекта в каждом режиме и соответствующие наработки, номенклатуру и параметры нагрузок и внешних воздействий на объект в каждом режиме;
- планируемая система технического обслуживания (ТО) и ремонта объекта, характеризуемая видами, периодичностью, организационными уровнями, способами выполнения, техническим оснащением и материально-техническим обеспечением работ по его ТО и ремонту;
- распределение функций между операторами и средствами автоматического диагностирования (контроля) и управления объектом, виды и характеристики человеко-машинных интерфейсов, определяющих параметры работоспособности и надежности работы операторов;

- уровень квалификации персонала;
- качество программных средств, применяемых в объекте;
- планируемые технология и организация производства при изготовлении объекта.

Полнота идентификации объекта на рассматриваемом этапе расчета его надежности определяет выбор соответствующего метода расчета, обеспечивающего приемлемую на данном этапе точность при отсутствии или невозможности получения части информации.

Источниками информации для идентификации объекта служат конструкторская, технологическая, эксплуатационная и ремонтная документация на объект в целом, его составные части и комплектующие изделия в составе и комплектах, соответствующих данному этапу расчета надежности.

Методы расчета. Методы расчета надежности подразделяют: по составу рассчитываемых показателей надежности (ПН); по основным принципам расчета.

По составу рассчитываемых показателей различают методы расчета:

- безотказности;
- ремонтпригодности;
- долговечности;
- сохраняемости;
- комплексных показателей надежности (методы расчета коэффициентов готовности, технического использования, сохранения эффективности и др.).

По основным принципам расчета свойств, составляющих надежность, или комплексных показателей надежности объектов различают:

- методы прогнозирования;
- структурные методы расчета;
- физические методы расчета.

Методы прогнозирования основаны на использовании для оценки ожидаемого уровня надежности объекта данных о достигнутых значениях и выявленных тенденциях изменения ПН объектов, аналогичных или близких к рассматриваемому по назначению, принципам действия, схемно-конструктивному построению и технологии изготовления, элементной базе и применяемым материалам, условиям и режимам эксплуатации, принципам и методам управления надежностью (далее – объектов-аналогов).

Структурные методы расчета основаны на представлении объекта в виде логической (структурно-функциональной) схемы, описывающей зависимость состояний и переходов объекта от состояний и переходов его элементов с учетом их взаимодействия и выполняемых ими функций в объекте с последующими описаниями построенной структурной модели адекватной математической моделью и вычислением ПН объекта по известным характеристикам надежности его элементов.

Физические методы расчета основаны на применении математических моделей, описывающих физические, химические и иные процессы, приводящие к отказам объектов (к достижению объектами предельного состояния), и вычислении ПН по известным параметрам нагруженности объекта, характеристикам примененных в объекте веществ и материалов с учетом особенностей его конструкции и технологии изготовления.

Метод расчета надежности конкретного объекта выбирают в зависимости от:

- целей расчета и требований к точности определения ПН объекта;
- наличия и/или возможности получения исходной информации, необходимой для применения определенного метода расчета;
- уровня отработанности конструкции и технологии изготовления объекта, системы его ТО и ремонта, позволяющего применять соответствующие расчетные модели надежности.

При расчете надежности конкретных объектов возможно одновременное применение различных методов, например методов прогнозирования надежности электронных и электротехнических элементов с последующим использованием полученных результатов в качестве исходных данных для расчета надежности объекта в целом или его составных частей различными структурными методами.

Исходные данные. Исходными данными для расчета надежности объекта могут быть:

- априорные данные о надежности объектов-аналогов, составных частей и комплектующих изделий рассматриваемого объекта по опыту их применения в аналогичных или близких условиях;
- оценки показателей надежности (параметры законов распределения характеристик надежности) составных частей объекта и параметров примененных в объекте материалов, полученные экспериментальным или расчетным способом непосредственно в процессе разработки (изготовления, эксплуатации) рассматриваемого объекта и его составных частей;
- расчетные и/или экспериментальные оценки параметров нагруженности примененных в объекте составных частей и элементов конструкции.

Источниками исходных данных для расчета надежности объекта могут быть:

- стандарты и технические условия на составные части объекта, применяемые в нем комплектующие элементы межотраслевого применения, вещества и материалы;
- справочники по надежности элементов, свойствам веществ и материалов, нормативам продолжительности (трудоемкости, стоимости) типовых операций ТО и ремонта и другие информационные материалы;
- статистические данные (банки данных) о надежности объектов-аналогов, входящих в их состав элементов, свойствах применяемых в них

веществ и материалов, о параметрах операций ТО и ремонта, собранные в процессе их разработки, изготовления, испытаний и эксплуатации;

- результаты прочностных, электрических, тепловых и иных расчетов объекта и его составных частей, включая расчеты показателей надежности составных частей объекта.

При наличии нескольких источников исходных данных для расчета надежности объекта приоритеты в их использовании или методы объединения данных из разных источников должны быть установлены в методике расчета. В расчете надежности, включаемом в комплект рабочей документации на объект, предпочтительным должно быть применение исходных данных из стандартов и технических условий на составные части, элементы и материалы.

Адекватность метода расчета. Адекватность выбранного метода расчета и построенных расчетных моделей целям и задачам расчета надежности объекта характеризуют:

- полнотой использования в расчете всей доступной информации об объекте, условиях его эксплуатации, системе ТО и ремонта, характеристиках надежности составных частей, свойствах применяемых в объекте веществ и материалов;

- обоснованностью принятых при построении моделей допущений и предположений, их влиянием на точность и достоверность оценок ПН;

- степенью соответствия уровня сложности и точности расчетных моделей надежности объекта доступной точности исходных данных для расчета.

Степень адекватности моделей и методов расчета надежности оценивают путем:

- сопоставления результатов расчета и экспериментальной оценки ПН объектов-аналогов, для которых применялись аналогичные модели и методы расчета;

- исследования чувствительности моделей к возможным нарушениям принятых при их построении допущений и предположений, а также к погрешностям исходных данных для расчета;

- экспертизы и апробации применяемых моделей и методов, проводимых в установленном порядке.

Требования к методикам расчета. Для расчета надежности объектов применяют:

- типовые методики расчета, разрабатываемые для группы (вида, типа) однородных по назначению и принципам обеспечения надежности объектов, оформляемые в виде соответствующих нормативных документов (государственных и отраслевых стандартов, стандартов предприятия и др.);

- методики расчета, разрабатываемые для конкретных объектов, особенности конструкции и/или условий применения которых не допускают применения типовых методик расчета надежности. Указанные методики, как правило, включают непосредственно в отчетные документы по расчету

надежности или оформляют в виде отдельных документов, включаемых в комплект документации соответствующего этапа разработки объекта.

Типовая методика расчета надежности должна содержать:

- характеристику объектов, на которые распространяется методика, в соответствии с установленными настоящим стандартом правилами их идентификации;
- перечень рассчитываемых ПН объекта в целом и его составных частей, методы, применяемые для расчета каждого показателя;
- типовые модели для расчета ПН и правила их адаптации для расчета надежности конкретных объектов, соответствующие этим моделям алгоритмы расчета и, при наличии, программные средства;
- методы и соответствующие методики оценки параметров нагруженности составных частей объектов, учитываемых в расчетах надежности;
- требования к исходным данным для расчета надежности (источники, состав, точность, достоверность, форма представления) или непосредственно сами исходные данные, методы объединения разнородных исходных данных для расчета надежности, получаемых из разных источников;
- решающие правила для сопоставления расчетных значений ПН с требуемыми, если результаты расчета применяют для контроля надежности объектов;
- методы оценки погрешностей расчета ПН, вносимые принятыми для используемых моделей и методов расчета допущениями и предположениями;
- методы оценки чувствительности результатов расчета к нарушениям принятых допущений и/или к погрешностям исходных данных;
- требования к форме представления результатов расчета ПН и правила защиты результатов расчета в соответствующих контрольных точках ПОН и при экспертизах проектов объектов.

Методика расчета надежности конкретного объекта должна содержать:

- информацию об объекте, обеспечивающую его идентификацию для расчета надежности в соответствии с требованиями настоящего стандарта;
- номенклатуру рассчитываемых ПН и их требуемые значения;
- модели для расчета каждого ПН, принятые при их построении допущения и предположения, соответствующие алгоритмы вычисления ПН и применяемые программные средства, оценки погрешностей и чувствительности выбранных (построенных) моделей; ГОСТ 27.301-95;
- исходные данные для расчета и источники их получения;
- методики оценки параметров нагруженности объекта и его составных частей или непосредственно оценки указанных параметров со ссылками на соответствующие результаты и методики прочностных, тепловых, электрических и иных расчетов объекта.

Представление результатов расчета. Результаты расчета надежности объекта оформляют в виде раздела пояснительной записки к

соответствующему проекту (эскизному, техническому) или самостоятельного документа (РР по ГОСТ 2.102, отчета и др.), содержащего:

- цели и методику (ссылку на соответствующую типовую методику) расчета;
- расчетные значения всех ПН и заключения о их соответствии установленным требованиям надежности объекта;
- выявленные недостатки конструкции объекта и рекомендации по их устранению с оценками эффективности предлагаемых мер с точки зрения их влияния на уровень надежности;
- перечень составных частей и элементов, лимитирующих надежность объекта или по которым отсутствуют необходимые данные для расчета ПН, предложения по включению в ПОН дополнительных мероприятий по повышению (углубленному исследованию) их надежности или по их замене на более надежные (отработанные и проверенные);
- заключение о возможности перехода к следующему этапу обработки объекта при достигнутом расчетном уровне его надежности.

Содержание отчетного документа по расчету надежности должно допускать возможность независимой проверки результатов расчета при экспертизе проекта и контроле реализации ПОН.

Расчетные оценки ПН, заключения о их соответствии установленным требованиям и возможности перехода к следующему этапу видов работ по разработке (постановке на производство) объекта, рекомендации по доработкам с целью повышения его надежности включают в акт приемочных испытаний, если принято решение о контроле надежности объекта расчетным методом.

Среди основных этапов, создающих благоприятные предпосылки для разработки ПОН является системный анализ режима эксплуатации, определение перечня отказов и предельных состояний, уточнение состава параметров при экспертном диагностировании, разработка математических моделей показателей надежности на основе методов функционально-стоимостного анализа.

Обеспечение безаварийной эксплуатации зданий и сооружений невозможно без выполнения требований научно обоснованных норм и способов содержания, обслуживания, текущего и капитального ремонта несущих и ограждающих конструкций. Проблема рациональной эксплуатации является важной составной частью повышения эксплуатационной надежности на основе улучшения организации обслуживания. Увеличение объемов работ по обследованию, оценке технического состояния, усилению конструкций зданий и сооружений является следствием отсутствия регламентированных требований по поддержанию показателей качества и долговечности основных фондов в процессе функционирования зданий и сооружений. Нормативные документы, в том числе ГОСТ 18322-73 «Система технического обслуживания и ремонта техники» и ДБН А1.1-93 «ССНБ. Основные положения» не определяют

существо термина «эксплуатация». Действующее «Положение о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений», разработанное Госстроем СССР в 1974 году не отражает требований организации обслуживания и, с учетом высокого уровня изношенности строительной части основных фондов, препятствует эффективной работе эксплуатационного персонала по предотвращению деградационных процессов на основе технологий обслуживания по фактическому состоянию.

Предотвращение достижения конструкцией предельного состояния на всем протяжении жизненного цикла возможно посредством комплекса мер по управлению поведением конструкции и ее НДС.

Управление поведением конструкции заключается либо в воздействии на внешнюю среду, вырабатывающую нагрузки и воздействия на конструкцию, либо – на конструктивную форму, под которой в данной работе понимается совокупность размеров, структурной схемы, способов закрепления, характеристик поперечных сечений элементов, физических параметров. НДС является результатом взаимодействия внешней среды и несущей конструкции. Оно определяется как состоянием внешней среды, так и конструктивной формой. Управление подразумевает существование некоторого регулятора, способного выполнять заданные функции, причем регулирование может иметь характер первоначального выбора, осуществляемого в процессе проектирования, одноразового воздействия в процессе эксплуатации, или же иметь более или менее постоянный характер.

4.4. Выявление резервов несущей способности конструкций с дефектами и повреждениями

Расчет эксплуатируемых стальных конструкций, имеющих несовершенства (дефекты или повреждения) выполняется с целью оценки:

- возможности дальнейшей эксплуатации конструкций без каких либо ограничений;
- возможности ограниченной эксплуатации конструкций до плановых ремонтно-восстановительных работ;
- необходимости немедленного прекращения эксплуатации для ликвидации аварийной ситуации.

Под несовершенством, понимается какое-либо неблагоприятное отклонение конструктивной формы, свойств материала, геометрических размеров и т.д., от требований проектной или нормативной документации, появившееся на стадии производства (проектирование, изготовление, транспортировка и монтаж) или эксплуатации. Если замеренная величина отклонения не превышает нормативной величины допуска на изготовление, монтаж, эксплуатацию, расчет конструкции производится по действующим нормам проектирования.

При оценке технического состояния на основе расчета конструкций с дефектами или повреждениями необходимо учесть резервы несущей способности за счет уточнения расчетной схемы свойств материала, нагрузок и т.п. Исходным материалом для выполнения проверочных расчетов конструкций с дефектами или повреждениями и составления заключения о возможности их дальнейшей эксплуатации без специальных технических мероприятий являются результаты нормативных обследований, выполненных в соответствии с «Рекомендациями по проведению обследований стальных конструкций промышленных зданий», разработанных институтом ЦНИИПроектСтальКонструкция им. Н.П. Мельникова и МИСИ им. В.В. Куйбышева.

4.4.1. Проверка прочности элементов стальных конструкций

Расчет на прочность элементов стальных конструкций, имеющих дефекты или повреждения, уменьшающие рабочую площадь сечения (вырез, прожог, истирание и др.), следует выполнять по рекомендациям СНиП II-23-81*, при этом геометрические характеристики должны определяться по ослабленному сечению. Если расчетное сопротивление по пределу текучести R_y меньше отношения R_u / γ_u , расчет следует проводить, пользуясь расчетным сопротивлением стали по временному сопротивлению.

Расчет на прочность растянутых элементов стальных конструкций, ослабленных отверстиями, следует производить по формуле

$$N / (\alpha A) \leq R_y / \gamma_c, \quad (4.1)$$

где γ_c – коэффициент условий работы; $\alpha = A_n / A$ – коэффициент ослабления (здесь A_n – площадь сечения нетто в месте ослабления; A – площадь сечения брутто); N – усиление в элементе.

Коэффициент условий работы γ_c при $0,75 \leq \alpha < 0,85$ следует принимать равным 1,18. При $\alpha \geq 0,85$ расчет производится без учета ослабления, т.е. $\gamma_c = 1/\alpha$.

Для сталей с $R_u / R_y < 1,39$ значения коэффициента условий работы γ_c не должен превышать величины $0,845 R_u / R_y$.

4.4.2. Проверка устойчивости сплошностенчатых стержней

Сжатые сплошностенчатые элементы металлических конструкций в случае их общего искривления следует рассчитывать как внецентренно-сжатые. Отличие работы искривленных стержней от внецентренно-сжатых рекомендуется учитывать умножением приведенного относительного эксцентриситета m_{ef} (вычисленного в предположении равенства эксцентриситета величине максимальной стрелки искривления v_0 в нагруженном состоянии) на поправочный коэффициент k перехода от максимальной стрелки искривления к эквивалентному эксцентриситету, вычисляемый по формуле:

$$k = \frac{0,82 + 0,1\sqrt{m_{ef}}}{\bar{\lambda}}, \quad (4.2)$$

где $\bar{\lambda}$ – условная гибкость стержня в плоскости искривления.

Стрелка искривления стержня в ненагруженном состоянии определяется по формуле:

$$v_0 = \psi_0 v, \quad (4.3)$$

где v – полная стрелка искривления, замеренная под нагрузкой; ψ_0 – поправочный коэффициент ($\psi_0 > 0$), вычисляемый по формуле:

$$\psi_0 = (1 - 0,1\bar{\lambda}^2 \frac{\sigma}{R_y}), \quad (4.4)$$

$\sigma = \frac{N}{A}$ – напряжение в стержне в момент замера стрелки v ; R_y – расчетное сопротивление стали.

Если нагрузка на стержень в момент замера определить невозможно, следует принимать $\psi_0 = 1$.

Расчет на устойчивость сжатых стержней из двух спаренных уголков, имеющих искривление в двух плоскостях, следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{\varphi_{u,v} A} \leq R_y \gamma_c, \quad (4.5)$$

где γ_c – коэффициент условий работы; $\varphi_{u,v}$ – коэффициент снижения несущей способности, определяемый в зависимости от условий гибкости в плоскости симметрии сечения:

$$\bar{\lambda}_u = \frac{l_0}{i_u} \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \quad (4.6)$$

и условных относительных стрелок искривления в двух плоскостях

$$\bar{u} = \frac{u_0}{l_0} \sqrt{\frac{E}{R_y}}; \quad \bar{v} = \frac{v_0}{l_0} \sqrt{\frac{E}{R_y}}. \quad (4.7)$$

Не допускается принимать значения коэффициента $\varphi_{u,v}$ больше коэффициента φ для центрально-сжатых стержней, приведенных в СНиП II-23-81*.

Проверку устойчивости сжатых стержневых элементов, ослабленных местными дефектами или повреждениями типа вырезов, при сохранении симметрии оставшегося сечения (нетто) относительно оси, лежащей в плоскости изгиба, следует выполнить по формуле:

$$\frac{N}{\varphi_e A_n} \leq R_y \gamma_c, \quad (4.8)$$

где A_n – площадь сечения нетто в месте повреждения; φ_e – коэффициент снижения расчетных сопротивлений внецентренно-сжатых элементов, определяемый по СНиП II-23-81* в зависимости приведенного относительного эксцентриситета m_{ef} и условий гибкости $\bar{\lambda}$.

Приведенный относительный эксцентриситет следует определять в зависимости от эксцентриситета приложения внешней сжимающей силы относительно центра тяжести ослабленного сечения (с учетом смещения координат центра тяжести).

Гибкость стержня должна определяться в зависимости от радиуса инерции сечения нетто и расчетной длины, вычисляемой по формуле:

$$l_0 = \mu \mu_1 l, \quad (4.9)$$

где l – геометрическая длина стержня; μ – коэффициент расчетной длины, принимаемый по СНиП II-23-81*; μ_1 – дополнительный коэффициент, учитывающий параметры дефекта.

4.4.3. Проверка устойчивости сквозных стержней

Расчет сквозных стержней с дефектами или повреждениями на устойчивость в плоскости соединительной решетки следует выполнять по общей формуле вида:

$$\frac{N}{\varphi \varphi_b A} \leq R_y \gamma_c, \quad (4.10)$$

где φ – коэффициент, характеризующий устойчивость сквозного стержня в целом; φ_b – коэффициент, учитывающий особенности работы ветвей на участках между узлами соединительной решетки.

Влияние дефектов и повреждений, присущих сквозному стержню в целом, учитывается при определении коэффициента φ , который принимается с учетом требований СНиП II-23-81*:

- при центральном сжатии – в функции от условной приведенной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef} \sqrt{\varphi_b \frac{R_y}{E}}; \quad (4.11)$$

- при внецентренном сжатии – в функции от условной приведенной гибкости $\bar{\lambda}_{ef}$, вычисленной по формуле (4.11) и относительного эксцентриситета:

$$m = e \frac{Aa}{I}, \quad (4.12)$$

где a – расстояние от главной оси сечения, перпендикулярной плоскости изгиба, до оси наиболее сжатой ветви.

Влияние локальных дефектов, и повреждений, изменяющих условия работы отдельных ветвей, учитывается при определении коэффициента φ_b , который следует принимать по СНиП II-23-81* в зависимости от гибкости отдельной ветви, на участке между узлами соединительной решетки в случае, если ветвь работает на центральное сжатие и в функции от условной гибкости λ_b и приведенного эксцентриситета m_{ef} для ветви, работающей на сжатие с изгибом.

Сжатые сквозные элементы стальных конструкций в случае их общего искривления в плоскости соединительной решетки следует рассчитывать по аналогии со сплошностенчатыми. Поправочный коэффициент k к относительному эксцентриситету определяется по формуле:

$$k = 0,8 + 0,25 \sqrt{\frac{m}{\lambda_{ef}}}. \quad (4.13)$$

Проверку устойчивости сквозного стержня, имеющего местное искривление ветви или ее ослабление на участке между узлами соединительной решетки следует выполнять по формуле (4.10). Для сквозных стержней с дефектами, уменьшающими площадь поперечного сечения ветви в расчет следует вводить геометрические характеристики сечения нетто.

Если искривление или ослабление сечения имеется на участке ветви только в пределах одной панели, расчет выполняется по значению расчетного сопротивления в формуле (4.10), умноженному на коэффициент γ_d , учитывающий местный характер повреждения:

$$\gamma_d = 1 + (0,0045 + 0,017k_d^2)\bar{\lambda}_{ef}^2 \sqrt{\frac{\omega}{m}}, \quad (4.14)$$

где k_d – коэффициент, учитывающий расположение поврежденного участка по длине сквозного стержня; ω – относительное снижение несущей способности поверхностного участка ветви:

$$\omega = \frac{N_b}{N_{bd}} - 1, \quad (4.15)$$

где N_b – несущая способность неповрежденного участка ветви, как самостоятельного элемента; N_{bd} – несущая способность поврежденного (дефектного) участка ветви.

Значение относительного эксцентриситета m для определения коэффициента γ_d по формуле (4.14) принимать не менее 0,25.

Несущая способность сквозного стержня с дефектами или повреждениями раскосов оценивается проверкой устойчивости сквозного стержня в целом и дополнительной сверкой несущей способности поврежденного (дефектного) раскоса.

В случае невыполнения условия устойчивости для поврежденного раскоса, следует считать, что он выключается из работы, и поперечная сила

воспринимается ветвями, работающими на изгиб при этом коэффициент φ_b в формуле (4.10) должен определяться, как для сжато-изогнутого элемента. Приведенный относительный эксцентриситет для определения φ_b допускается находить в зависимости от максимального изгибающего момента в ветви M_b , вычисляемого по формуле:

$$M_b = \frac{Ql_b}{4}, \quad (4.16)$$

где Q – величина поперечной силы; l_b – длина ветви, принимаемая равной расстоянию между узлами соединительной решетки.

4.4.4. Особенности учета влияния несовершенств стропильных конструкций

Учет влияния общих искривлений сжатых стержней в плоскости стропильных ферм следует выполнять, принимая коэффициент приведения расчетной длины в соответствии с рекомендациями СНиП II-23-81*. Для пространственно искривленных элементов решетки ферм, кроме раскосов и опорных стоек, следует учитывать их упругое защемление в поясах, принимая коэффициент приведения расчетной длины $\mu=0,8$.

Искривления растянутых стержней поясов и решетки ферм не снижают несущую способность этих стержней. Исключения составляют случаи, когда возможно хрупкое разрушение (например, при использовании кипящих сталей в сооружениях, эксплуатирующихся при низких температурах); несущая способность снижается примерно на 10% при прогибе 1/750 длины стержня и особенно резко при прогибе более 1/400 длины.

При наличии дефектов изготовления (расцентровка раскосов, расцентровка в стыке пояса) расчет на устойчивость сжатых элементов стропильных ферм следует выполнять как расчет внецентренно-сжатых элементов.

Эксцентриситет e приложения нагрузки рекомендуется определять в зависимости от узлового момента M по следующей формуле

$$\dot{a} = \frac{M}{N_1} \cdot \frac{k_1}{\sum k_j}, \quad (4.17)$$

где N_1 – продольное усилие в проверяемом элементе фермы; k_1 – погонная жесткость проверяемого элемента; $\sum k_j$ – суммарная погонная жесткость всех сходящихся в узел элементов фермы, включая проверяемый.

В случае внеузлового опирания конструкций покрытия изгибающий момент и продольную силу для проверки устойчивости сжато-изогнутого верхнего пояса следует определять из расчета фермы как многократно статически неопределимой системы с жесткими узлами и действительными значениями изгибных жесткостей стержней. Кроме того, должны быть

проверены на внецентренное сжатие или растяжение элементы решетки, примыкающие к рассматриваемому узлу.

4.4.5. Учет влияния несовершенств в подкрановых конструкциях

Временная эксплуатация подкрановых балок с горизонтальными установленными трещинами в верхней зоне стенки может быть допущена (на период до ремонта или замены) при условии выполнения требований обеспечения местной устойчивости стенки и полки.

Коэффициент перегрузок и сочетаний при оценке возможности временной эксплуатации назначаются (в запас) по СНиП II-6-74 как и при проектировании на полный срок эксплуатации.

Проверку прочности (статической) необходимо проводить для расчетного сечения, которое проходит через ближайшую к середине балки вершину рассматриваемой трещины.

Напряжение в расчетном сечении (без учета их концентрации) проверяются для характерных точек I–IV, а также в зоне предполагаемой вершины трещины (точка IV).

Расчетные значения изгибающего момента M и поперечной силы Q определяются при наиболее неблагоприятном положении кранов для данного расчетного сечения, при этом одно колесо должно находиться над этим сечением, а другие колеса вне зоны трещины.

Проверка максимальных растягивающих напряжений в нижнем поясе балки выполняется по формуле

$$\sigma_x = \frac{M}{I} y + Ql \left(\frac{y_2}{I_1 + I_2} - \frac{y}{I} \right) \leq R_y \gamma_c, \quad (4.18)$$

где I – момент инерции сечения балки без трещины относительно оси x_0-x_0 ; I_1, I_2 – собственные моменты инерции соответственно верхней (ось x_1-x_1) и нижней (ось x_2-x_2) частей балки, разделенных трещиной; y – расстояние от нейтральной оси балки без трещины (x_0-x_0) до проверяемой точки (рис. 4.1); y_1 – то же от оси x_2-x_2 (см. рис. 4.1); t – толщина стенки; $2l$ – расчетная длина трещины.

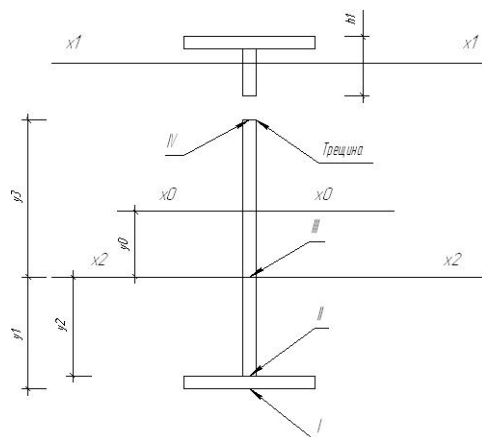


Рис. 4.1

Для стенки балки (точка II, рис. 4.1) следует выполнять проверку по приведенным напряжениям. Нормальные напряжения определяются по формуле (4.18) с заменой y_1 на δ_2^1 (расстояние от оси x_2 – x_2 до точки II). Касательные напряжения определяются по формуле

$$\tau_{xy} = \frac{QS_{i\delta\delta}}{(I_1 + I_2)t}. \quad (4.19)$$

Для стенки балки (точка III, см. рис. 4.1) следует выполнять проверку по касательным напряжениям, значение которых определяется по формуле (4.19). При выполнении этого требования производят проверку по приведенным напряжениям, при чем значения нормальных напряжений σ_δ определяется для балки без трещин.

В сжатой зоне стенки (точка IV, см. рис. 4.1) проверочные расчеты выполняются по п. 13.34 СНиП II-23-81*. Значения нормальных напряжений σ_δ определяются по формуле (4.18) с заменой y_1 на y_3 (расстояние от оси x_2 – x_2 до трещины). Местные напряжения определяются с учетом фактического износа головки кранового рельса путем введения коэффициентов δ_z при определении момента инерции рельсов.

Для трещин, удаленных от верхней полки на расстояние h_1 местные напряжения $\sigma_{y,loc}$ с некоторым запасом допускается определять исходя из условия, что длина l_{ef} распределения нагрузки увеличивается на $1,5 h_1$.

Оценка несущей способности подкрановых балок с горизонтальными трещинами должна производиться с учетом увеличения трещины в процессе эксплуатации. Прогнозирование роста трещины рекомендуется осуществлять путем непосредственных замеров с периодом 1,5–2 месяца.

Ориентировочно скорость распространения усталостных трещин может быть оценена по данным, полученным для подкрановых балок с тяжелым и

весьма тяжелым режимом работы (300–400 тыс. циклов в год), приведенным в табл. 4.11.

Усредненная скорость распределения трещин

Таблица 4.11

Длина трещины в мм	Средняя скорость распространения мм/мес
до 500	10
500–1000	25
1000–1500	40

Допустимая длина трещин в подкрановых балках во всех случаях не должна превышать размера панели.

Расчет на устойчивость стенок балок, укрепленных поперечными ребрами жесткости, при наличии трещин в поясных швах следует выполнять в соответствии с указаниями СНиП II-23-81*, при этом значения критических напряжений уменьшается в зависимости от общей длины трещины в поясных швах расчетной панели. При общей длине трещин в пределах расчетной панели 0,20а и более критические напряжения вместо формул (75), (76) главы СНиП II-23-81 определяются по формуле

$$\sigma_{er} = 21,6 \frac{R_y}{\lambda_w^2}; \quad (4.20)$$

$$\tau_{cr} = 8,24(1,02 + \frac{0,76}{\mu^2}) \frac{R_s}{\lambda_{ef}^2}. \quad (4.21)$$

В формуле (80) СНиП II-23-81 коэффициент c_1 следует принимать по табл. 4.12.

Значение коэффициента c_1 для балок с трещинами

Таблица 4.12

a/h_{ef}	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
c_1	7,23	7,8	9,31	11,32	13,9	17,1	20,5	24,5	28,7

В формуле (81) СНиП II-23-81 коэффициент c_2 следует принимать по табл. 4.13.

Таблица 4.13

a/h_{ef}	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
c_2	21,6	23,2	24,5	28,3	33,0	38,8	45,4	52,9

В стенке балки, укрепленной, кроме поперечных ребер, одним продольным ребром, расчет следует выполнять по формулам СНиП II-23-81*. При общей длине трещин в шве сжатого пояса 0,2а и более для пластинки 3, расположенной между сжатым поясом и продольным ребром, значение критических напряжений следует принимать по формулам:

– вместо формулы (83)

$$\sigma_{er} = \frac{3,62}{1 - h_1 / h_{ef}} \frac{R_y}{\bar{\lambda}_1^2}; \quad (4.22)$$

– вместо формулы (84)

$$\sigma_{er} = \frac{0,92\psi}{1 - h_1 / h_{ef}} \frac{R_y}{\bar{\lambda}_1^2}, \quad (4.23)$$

τ_{er} по формуле (4.21);

– вместо формулы (85):

$$\sigma_{loc,er1} = 1,43\psi \frac{R_y}{\lambda_a^2}. \quad (4.24)$$

В формулах (4.20)–(4.24) критические напряжения определены (в запас) независимо от длины трещины, условно считая ее равной длине панели.

Если длина трещины в поясных швах сжатой зоны в пределах панели меньше $0,2a$, то значение критических напряжений можно принимать по линейной интерполяции между значениями, получаемыми по формулам СНиП II-23-81* и настоящих рекомендаций.

Влияние смещений оси рельса относительно оси подкрановой балки следует учитывать при определении нормальных напряжений в стенке вызванных местным закручиванием верхнего пояса путем введения в расчет фактически замеренного эксцентриситета, вместо рекомендуемой СНиП II-23-81* величины $e=15$ мм и с учетом износа головки кранового рельса.

4.4.6. Особенности учета влияния несовершенств для колонн каркаса

Учет влияния общих искривлений колонн при отсутствии начальных напряжений изгиба следует производить путем увеличения расчетного эксцентриситета на дополнительный эксцентриситет, определяемый в зависимости от величины стрелки искривления.

Для двухветвенных колонн с ветвями двутаврового сечения и швеллерного, работающими на центральное сжатие, значение коэффициента φ_a , вычисленного по СНиП II-23-81*, следует домножать на поправочный коэффициент, принимаемый равным:

$$\begin{aligned} \nu &= 1 + 0,04\bar{\lambda}_a \text{ при } \bar{\lambda}_a \leq 2,5; \\ \nu &= 1,1 \text{ при } \bar{\lambda}_a > 2,5, \end{aligned} \quad (4.25)$$

где $\bar{\lambda}_a$ – условная гибкость ветви на участке между узлами соединительной решетки.

Для решетчатых колонн производственных зданий при отсутствии повреждений элементов решетки допускается принимать $\lambda_{ef} = \lambda$.

Учет влияния местных искривлений или ослаблений сечения ветвей в сквозных колоннах производится при значениях коэффициента k_d :

$$k_d = \frac{n_d - 1}{0,5\mu_1 n}, \quad (4.26)$$

где n – общее число панелей; n_d – порядковый номер панели с искривленной (ослабленной) ветвью, считая от заземленного конца (башмака) колонны; μ_1 – коэффициент приведения расчетной длины нижней части ступенчатой колонны, принимаемый по СНиП II-23-81*, но не менее двух.

Для двухветвенных колонн с ветвями двутаврового сечения при одинаковой величине расцентровки во всех панелях коэффициент φ_a рекомендуется находить в зависимости от условной гибкости ветви $\bar{\lambda}_a$ и относительного эксцентриситета:

$$m_b = \frac{M_b A_b}{N_b W_b}, \quad (4.27)$$

где M_b – изгибающий момент.

Смещение верхнего конца колонны, сопровождающееся появлением дополнительных напряжений изгиба (вследствие температурных деформаций, проседания опор и т.д.) следует учитывать путем суммирования расчетного изгибающего момента, полученного в результате статического расчета, с соответствующими значениями дополнительного изгибающего момента, зависящего от величины смещения (Δ).

Если указанная проверка несущей способности колонны выполняется, то усилие (ремонта) не требуется. При невыполнении условия устойчивости (прочности) колонны с учетом дополнительного изгибающего момента за счет смещения верхнего конца, необходимость усиления (ремонта) следует установить на основании более строгих расчетов с учетом поддерживающего влияния диска покрытия.

4.5. Восстановление работоспособности в процессе усиления и реконструкции объектов

Под усилением понимают повышение несущей способности существующих конструкций в их проектном положении. Многочисленные причины, вызывающие усиление, могут быть разбиты на две группы:

- снижение несущей способности конструкций под воздействием дефектов и повреждений;
- увеличение нагрузок или интенсивности нагрузений при реконструкции.

Первая группа причин определяет необходимость восстановления несущей способности конструкций до проектной величины. Вторая группа

подразумевает повышение несущей способности сверх предусмотренной проектом. Следует отметить, что при реконструкции часто действуют обе группы, т.к. усилению подлежат конструкции, имеющие физический износ.

Под усилением, как крайний случай, может подразумеваться и замена конструкций или их элементов. По существу выбор типа усиления или замены конструкций является вопросом экономическим и определяется комплексом параметров, основным из которых является простой предприятий во время производства работ по усилению. Выбор типа усиления, с учетом простоев, должен осуществляться путем сравнения вариантов, адекватно решающих задачу повышения несущей способности конструкций.

Рекомендации по срокам технического обслуживания стальных и железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений с учетом режима эксплуатации представлены в табл. 4.14, 4.15.

Отраслевые сроки обслуживания стальных конструкций

Таблица 4.14

Конструкции и их элементы, подлежащие обследованию	Срок эксплуатации, лет, после которого рекомендуется проведение обследования			
	в зданиях с режимом работы	в среде		
		неагрес- сивной и слабоаг- рессивной	среднеаг- рессивной	сильноаг- рессивной
Стропильные и подстропильные фермы	легкий и средний	15	12	10
	тяжелый и особо тяжелый	12	10	10
Колонны	легкий и средний	30	25	20
	тяжелый	25	20	18
	особо тяжелый	20	18	15
Подкрановые конструкции	легкий и средний	18	12	12
	тяжелый	12	8	8
	особо тяжелый	8	5	5
Стальная кровля	все режимы	10	5	5
Прочие элементы производственных зданий	все режимы	30	25	20
Транспортные галереи	все режимы	15	10	10

Отраслевые сроки обслуживания железобетонных конструкций

Таблица 4.15

Конструкции, подлежащие обследованию	Тип зданий и режим работы кранов	Срок эксплуатации, лет, после которого рекомендуется проведение обследований		
		в среде		
		неагрессивной и слабоагрессивной	среднеагрессивной	сильноагрессивной
1	2	3	4	5
Фундаменты монолитные	все типы зданий и все режимы	20	10	5
Фундаменты со сборными элементами, сваями; фундаментные балки	все типы зданий и все режимы	15	8	5
Стеновые панели и блоки	все типы зданий и все режимы	7	6	5
Колонны и стойки	бескрановые здания и здания с легким и средним режимом	15	8	5
	тяжелый режим	5	4	3
	особо тяжелый режим	5	4	3

Продолжение табл. 4.15

1	2	3	4	5
Подкрановые конструкции (балки, консоли колонн)	легкий и средний режим	10	8	4
	тяжелый режим	8	6	3
	особо тяжелый режим	5	4	3
Стропильные и подстропильные фермы, балки, ригеля	бескрановые здания и здания с легким и средним режимом	10	6	4
	тяжелый и особо тяжелый режим	5	4	3
Плиты покрытий и перекрытий	все типы зданий и все режимы	7	5	3

4.5.1. Классификация методов усиления металлических конструкций

Многообразие конструктивных форм, эксплуатационного состояния конструкций и задач реконструкции порождает значительное число конструктивных решений при усилении конструкций.

Анализ разработанных и примененных на практике методов усиления позволяет все многообразие конкретных решений свести в следующие группы:

- усиление без изменения конструктивных форм и расчетных схем конструкций;
- усиление с изменением конструктивных и расчетных схем конструкций.

К первой группе относятся многочисленные разновидности увеличения сечений конструкций и их элементов. Следует иметь в виду, что метод увеличения сечений требует частичной или полной разгрузки конструкций, т.к. элементы усиления включаются в работу при приложении нагрузки, превышающей загруженность конструкций на момент усиления. Как правило, материал существующей конструкции воспринимает постоянную нагрузку или часть ее, а эксплуатационные нагрузки воспринимаются совместно существующими и усиливаемыми элементами.

Метод увеличения сечений по конструктивному формообразованию аналогичен проектированию новых конструкций, однако, имеет и существенные отличия. Прежде всего, расположение новых элементов обуславливается возможностью и удобством их поведения в условиях эксплуатации и реконструкции и предусматривает минимум демонтажных работ, т.е. конструктивная форма усиленной конструкции, как правило, не является оптимальной с точки зрения новой конструкции. Другим важным фактором увеличения сечений являются условия прикрепления усиливающих элементов. Так как, положение существующей конструкции не может быть изменено, при конструировании усиления необходимо учитывать положение швов, возможность сверления отверстий и постановку болтов и т.п. Ручная электросварка является основным методом прикрепления элементов и необходимо стремиться к минимальному количеству потолочных и вертикальных швов.

Ко второй группе относятся методы, основанные на регулировании напряжений в элементах существующих конструкций. К этой группе могут быть отнесены следующие методы:

- подведение дополнительных опор;
- изменение расчетной схемы;
- введение предварительно напряженных элементов. Методы подведения опор и изменения расчетной схемы также как и при увеличении сечений требуют частичной разгрузки усиливаемых конструкций.

Данные методы позволяют выравнять эпюры соответствующих усилий, полнее использовать материал существующих конструкций и сосредоточить усиление на отдельных частях конструкций.

Метод предварительного напряжения является наиболее перспективным методом при усилении металлических конструкций. Его преимущества обуславливаются следующими факторами:

- введение в расчетное сечение высокопрочных материалов затяжек;
- использование существующего материала путем регулирования напряжений в элементах и частях конструкций;
- минимум работ по прикреплению конструкций усиления.

Применение на практике того или иного метода усиления зависит, как уже указывалось выше, от экономических факторов и конкретной формы конструктивного элемента. Ниже, в качестве примера, рассмотрены вопросы конструирования и расчета усиления подкрановых балок, процессы нагружения и конструктивная форма которых допускает эффективное применение всех методов усиления.

4.5.2. Методы и способы усиления конструкций

Метод увеличения сечений. Усиление подкрановых балок увеличением сечений (схемы 1–10, рис. 4.2–4.11) всегда выполняется симметричным относительно плоскости действия сил (плоскость U). Расположение элементов усиления относительно оси X может быть симметричным (схемы 1; 2) и несимметричным (схемы 3–10).

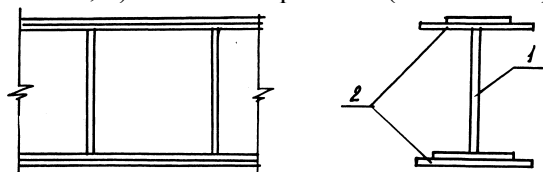


Рис. 4.2. Схема 1 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – элементы усиления

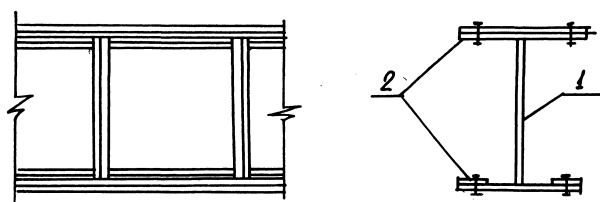


Рис. 4.3. Схема 2 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – элементы усиления

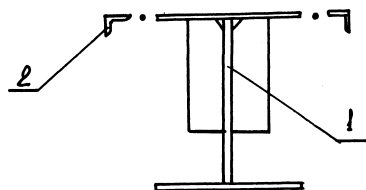


Рис. 4.4. Схема 3 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – элементы усиления

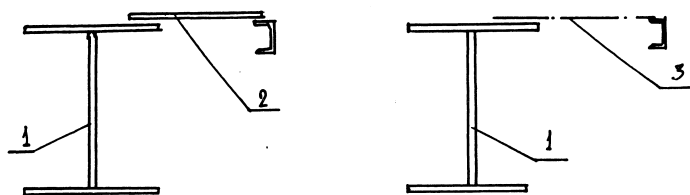


Рис. 4.5. Схема 4 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – тормозная балка; 3 – тормозная ферма

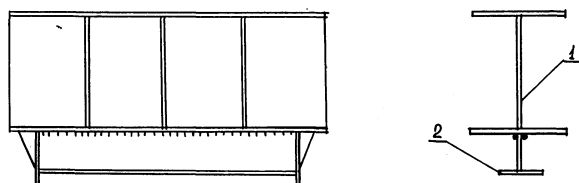


Рис. 4.6. Схема 5 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – элемент усиления

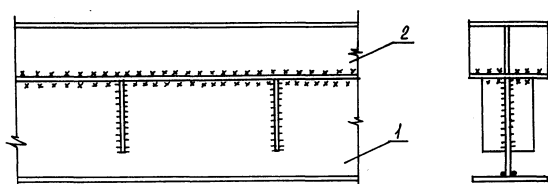


Рис. 4.7. Схема 6 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – элемент усиления

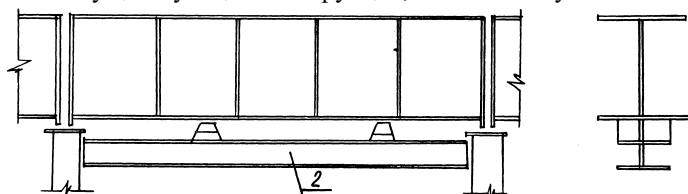


Рис. 4.8. Схема 7 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – элемент усиления

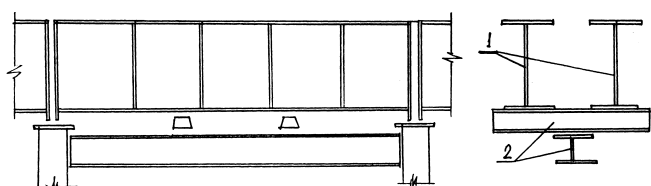


Рис. 4.9. Схема 8 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – элемент усиления

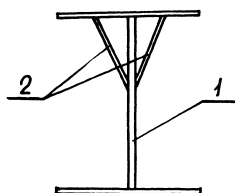


Рис. 4.10. Схема 9 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – ламели

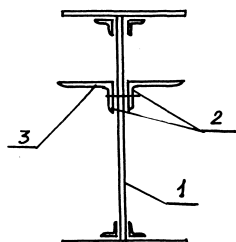


Рис. 4.11. Схема 10 усиления конструкций:

1 – существующая конструкция; 2 – элемент усиления; 3 – высокопрочные болты

С точки зрения эффективности наиболее рационально симметричное усиление (схемы 1; 2). В качестве элементов усиления применяют обычно листовую или полосовую сталь. При применении сварки ширина полос усиления диктуется возможностью положения швов в нижнем положении, что обуславливает большую ширину нижней полосы (при примерном равенстве площадей верхней и нижней полос).

Применение высокопрочных болтов для прикрепления элементов усиления к конструкции (как правило, усиление по схеме 2, применяется для подкрановых балок тяжелого режима работы) значительно увеличивает трудоемкость работ по усилению, так как требует образования отверстий в существующей конструкции.

В случаях, когда усиление по схемам 1 и 2 невозможно, исходя из технологических соображений, используются схемы 3–10. Эти способы (за исключением схемы 6) не требуют демонтажа рельсовых креплений.

Усиление по схемам 3, 7, 8 и 9 применяется только под краны легкого и среднего режимов работы и грузоподъемностью не более 80 т.

Наиболее эффективным является усиление подкрановых балок по схеме 9. Установка ламелей повышает момент сопротивления верхнего пояса балки на кручение, а также разгружает верхний поясной шов. Однако этот способ усиления отличается значительной трудоемкостью работ, так как требуется наложение потолочных сварных швов.

Эффективность усиления подкрановых балок по схеме 10 весьма низкая, так как установка элементов усиления вблизи нейтральной оси незначительно повышает момент сопротивления балок в плоскости действия

внешних сил. Этот способ следует использовать в крайнем случае, когда невозможно применение других методов усиления.

Эффективность усиления по схемам 3–8 занимает промежуточное положение.

В целом, усиление подкрановых балок методом увеличения сечений характеризуется значительным объемом сварочных работ, массой элементов усиления, трудоемкостью работ и т.д.

Метод подведения дополнительных опор. Снижение расчетных усилий в подкрановой балке может быть достигнуто уменьшением пролета путем подведения дополнительных опор (схемы 11–13, рис. 4.12–4.14).

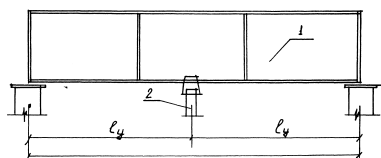


Рис. 4.12. Схема 11 усиления конструкций:

- 1 – пролет балки до усиления; 2 – пролет балки после усиления;
3 – существующая конструкция; 4 – дополнительная колонна

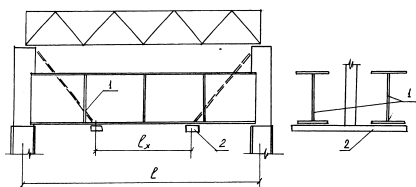


Рис. 4.13. Схема 12 усиления конструкций:

- 1 – существующая конструкция; 2 – опора; 3 – подкос

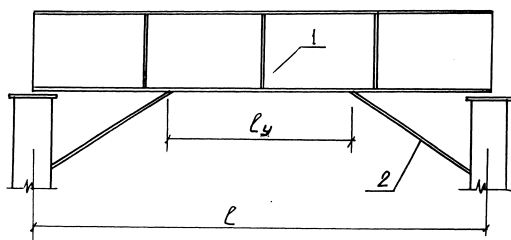


Рис. 4.14. Схема 13 усиления конструкций:

- 1 – существующая конструкция; 2 – подкос

Усиление по схеме II эффективно для любых пролетов подкрановых балок. Однако, необходимость устройства фундамента для дополнительной колонны накладывает ограничения на величину пролета балки, исходя из габаритов существующих и нового фундамента. Кроме того, устройство фундамента значительно повышает трудоемкость работ по усилению подкрановых балок.

Усиление по схемам 12 и 13 эффективно для подкрановых балок пролетом 9–24 м.

Метод изменения расчетной схемы. Изменение расчетной схемы подкрановой балки может быть достигнуто двумя способами:

- введением шпренгелей – схемы 14, 15 и 16 (рис. 4.15–4.17);
- созданием неразрезности в разрезных подкрановых балках путем замыкания шарнира на опорах – схемы 17 и 18 (рис. 4.18, 4.19).

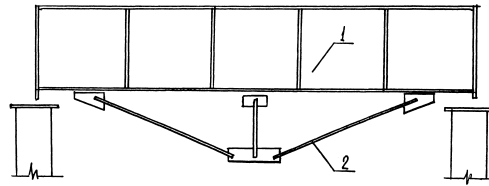


Рис. 4.15. Схема 14 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – шпренгель

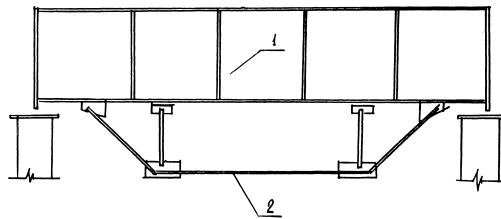


Рис. 4.16. Схема 15 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – шпренгель

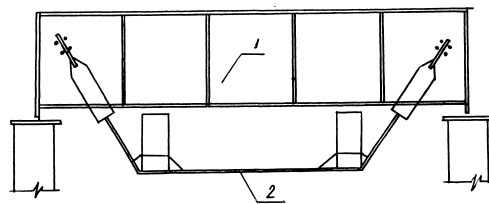


Рис. 4.17. Схема 16 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – предварительно-напряженный шпренгель

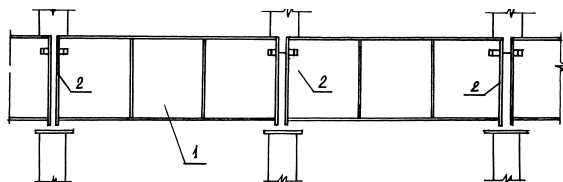


Рис. 4.18. Схема 17 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – замыкающий элемент

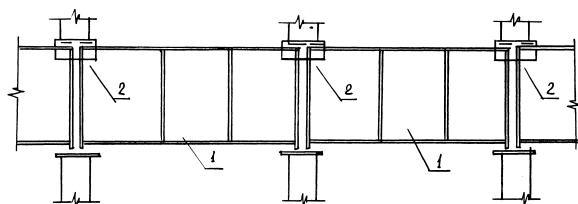


Рис. 4.19. Схема 18 усиления конструкций:
1 — существующая конструкция; 2 — замыкающий элемент

Схемы усиления 14, 15 и 16 примерно равноценны. Усиление по схеме 14 наиболее эффективно для подкрановых балок пролетом 6–18 м, по схемам 15 и 16 — для балок пролетом 12–24 м. При этом указанные способы усиления балок должны применяться при мостовых кранах грузоподъемностью не более 80 т.

Создание неразрезности в разрезных подкрановых балках путем замыкания шарниров на опорах обуславливает перераспределение усилий в балке, что приводит к снижению пролетного изгибающего момента.

Указанные способы усиления весьма эффективны для подкрановых балок пролетом 6–18 м, независимо от режима работы мостовых кранов и их грузоподъемности. Кроме того, они отличаются минимальным расходом металла и трудоемкостью работ по усилению.

Метод введения предварительно напряженных элементов. Введение предварительно напряженного элемента в состав подкрановой балки обеспечивает повышение ее несущей способности и жесткости (схемы 19–23, рис. 4.20–4.24).

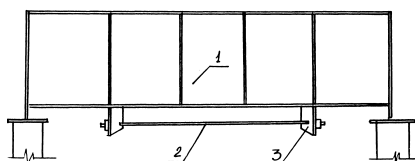


Рис. 4.20. Схема 19 усиления конструкций:
1 — существующая конструкция; 2 — предварительно-напряженная затяжка;
3 — упоры

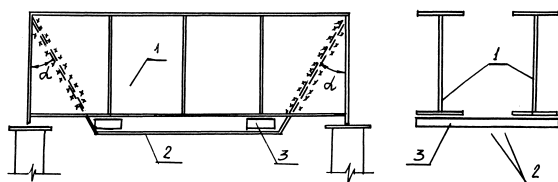


Рис. 4.21. Схема 20 усиления конструкций:
1 — существующая конструкция; 2 — предварительно-напряженная затяжка; 3 — упоры

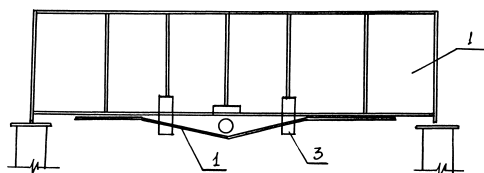


Рис. 4.22. Схема 21 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – листовая затяжка;
3 – промежуточные фиксаторы

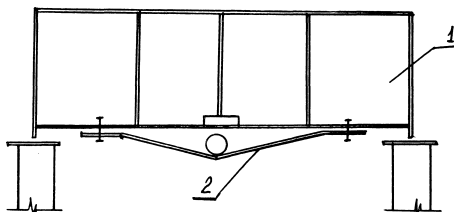


Рис. 4.23. Схема 22 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – листовая затяжка

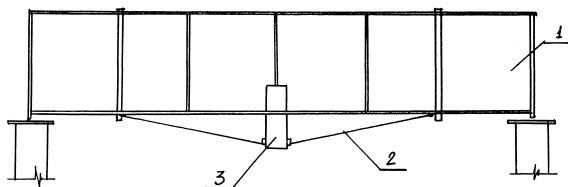


Рис. 4.24. Схема 23 усиления конструкций:
1 – существующая конструкция; 2 – листовая натяжка; 3 – регулируемое натяжное устройство

Усиление подкрановых балок указанными способами весьма эффективно для балок пролетом 6–18 м при кранах легкого и среднего режимов работы.

Повышение жесткости подкрановых балок без увеличения несущей способности может осуществляться по схеме 24 (рис. 4.25).

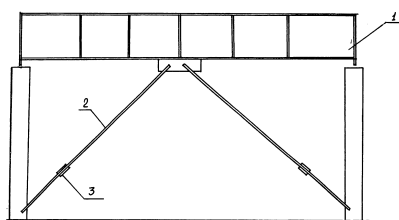


Рис. 4.25. Схема 24 усиления конструкций

Указанные способы усиления отличаются незначительными расходом металла и трудоемкостью работ. Однако, они требуют значительных затрат

на поддержание заданного усилия предварительного напряжения в процессе эксплуатации.

4.5.3. Основные положения расчета усиления конструкций

Расчет элементов усиления и усиленных конструкций ведется по методу предельных состояний и в соответствии с действующими нормами. Цель расчета – обеспечить прочность и устойчивость конструкций, а также ограничить их деформативность. Местная устойчивость, а также общая устойчивость изгибаемых элементов обеспечивается конструктивными мероприятиями.

Расчет по первому предельному состоянию выполняется на силовые воздействия, вызванные обобщенной начальной нагрузкой до усиления q^{oc} и расчетной добавочной нагрузкой Δq , приложенной после усиления ($q=q^{oc}+\Delta q$). Расчет по второму предельному состоянию выполняется на силовые воздействия, вызванные начальной нормативной нагрузкой q_n^{oc} и нормативной добавочной нагрузкой Δq_n ($q_n=q_n^{oc}+\Delta q_n$).

Расчет центрально-растянутых элементов. Расчет усиления центрально-растянутых элементов по упругой стадии производится в предположении, что усиливающие детали воспринимают только приращение усилия в элементе, возникающее от нагрузок, прилагаемых после усиления.

При расчете усиления растянутых стержней исходят из предпосылки, что работа материала подчиняется диаграмме Прандтля. В соответствии с этим работу растянутого стержня, усиленного под нагрузкой можно представить: I стадия – после усиления нагрузка не прикладывается – напряжения в усиливающем элементе равны нулю; II стадия – нагрузка увеличивается – напряжения возрастают, достигая в основном сечении величины предела текучести. Но на этой стадии несущая способность усиленного стержня не исчерпывается; III стадия – при возрастании нагрузки происходит перераспределение напряжений между основным элементом и элементом усиления.

Предельное состояние усиленного под нагрузкой растянутого стержня наступит тогда, когда пластические деформации распространятся по всему усиленному сечению. Условие прочности растянутых элементов имеет вид:

$$\sigma = \frac{N_c}{A_{ni}} + \frac{\Delta N_d}{A_{ni} + \Delta A_{ai}} \leq R_y \times \gamma_c, \quad (4.28)$$

где N_c – расчетное осевое усилие от нагрузок, действующих в момент усиления (с учетом коэффициента надежности по нагрузке); ΔN_d – приращение расчетного осевого усилия от нагрузок, возникающих после усиления; A_{ni} – площадь нетто основного сечения элемента (до усиления); A_{ai} – площадь сечения дополнительных (усиливающих) деталей.

Требуемую площадь сечения усиления можно определить по формуле:

$$\Delta \dot{A}_{\bar{a}\bar{i}} \geq \frac{N_{\bar{n}} + \Delta N_{\bar{a}} - \dot{A}_{\bar{n}\bar{i}} \times \gamma_{\bar{n}} \times R_{\bar{o}}}{\gamma_{\bar{n}} \times R_{\bar{o}} - \frac{N_{\bar{n}}}{\dot{A}_{\bar{n}\bar{i}}}}. \quad (4.29)$$

Крепят усиливающие детали к основному сечению и к узлу электросварными швами, при этом, соединительные швы между узлами рекомендуется делать сплошными высотой 3–6 мм.

Расчет центрально-сжатых элементов. В расчетах усиления центрально-сжатых элементов принимается, что усиливающие детали воспринимают только приращение усилий от нагрузок, прикладываемых после усиления, однако, учитывается, что потеря устойчивости происходит в стержне, имеющем новое сечение, поэтому в расчет вводится гибкость стержня после усиления.

К моменту усиления осевое усилие не должно превышать величины, определенной из выражения:

$$N_c \leq 0.8 \times R_y \times \gamma_c \times \varphi_c \times A_c, \quad (4.30)$$

где φ_c – коэффициент продольного изгиба сечения до усиления; A_c – площадь брутто основного сечения до усиления.

Условие устойчивости сжатых элементов имеет вид:

$$\frac{N_c}{A_{\bar{n}} \times \varphi_{i\bar{a}}} + \frac{\Delta N_{\bar{a}}}{(\dot{A}_{\bar{n}\bar{i}} + \Delta \dot{A}_{\bar{a}\bar{i}}) \times \varphi_{i\bar{a}}} \leq R_y \times \gamma_c, \quad (4.31)$$

где $\varphi_{i\bar{a}}$ – коэффициент продольного изгиба для сечения после усиления (общего).

Требуемую площадь элементов усиления можно определить по формуле:

$$\Delta \dot{A}_{\bar{a}} \geq \frac{N_{\bar{n}} + \Delta N_{\bar{a}} - \varphi_{i\bar{a}} \times \dot{A}_{\bar{n}\bar{i}} \times \gamma_{\bar{n}} \times R_{\bar{o}}}{\varphi_{i\bar{a}} \times (\gamma_{\bar{n}} \times R_{\bar{o}} - \frac{N_{\bar{n}}}{\dot{A}_{\bar{n}\bar{i}}})}. \quad (4.32)$$

В этих расчетах для предварительного подсчета требуемой площади усиливающих деталей приходится принимать приближенное значение коэффициента φ , определенного условно по гибкости элемента до усиления, с последующей корректировкой по действительной гибкости скомпонованного сечения.

Расчет внецентренно-сжатых элементов. Усиление внецентренно-сжатых элементов производится, когда краевые напряжения не превышают величины $0.8 \times R_y \times \gamma_c$.

Усиливающие детали могут быть не заведены и не прикреплены в узлах, если на границах узлов соблюдено условие:

$$\frac{N_c + \Delta N_{\bar{a}}}{\dot{A}_{\bar{n}\bar{i}}} + \frac{\dot{I}_{\bar{n}} + \Delta \dot{I}_{\bar{a}}}{W_{\bar{n}\bar{i}}} \leq R_y \times \gamma_c, \quad (4.33)$$

где M_c – расчетный изгибающий момент от нагрузок, действующих в момент усиления; $\Delta \dot{I}_{\bar{a}}$ – приращение расчетного изгибающего момента от нагрузок, возникающих после усиления; W_{cn} – момент сопротивления брутто основного сечения до усиления.

Усиленное сечение внецентренно-сжатых элементов проверяют на прочность и на устойчивость в двух плоскостях (в плоскости и из плоскости действия момента).

Проверка прочности в крайнем волокне основного сечения с учетом упругой стадии производится по формуле:

$$\frac{N_c}{A_{\bar{n}\bar{i}}} + \frac{\Delta N_{\bar{a}}}{\dot{A}_{\bar{n}\bar{i}} + \Delta \dot{A}_{\bar{a}\bar{i}}} + \frac{\dot{I}_{\bar{o}} \times \dot{o}_{\bar{n}}}{I_{\bar{n}}} + \frac{\Delta \dot{I}_{\bar{a}} \times \dot{o}_{\bar{i}\bar{a}}}{I_{\bar{i}\bar{a}}} \leq R_y \times \gamma_c, \quad (4.34)$$

где $\dot{o}_{\bar{n}}$ – расстояние до нейтральной оси элемента усиления; $\dot{o}_{\bar{i}\bar{a}}$ – расстояние до нейтральной оси после усиления; $I_{\bar{n}}$ – момент инерции элемента до усиления; $I_{\bar{i}\bar{a}}$ – момент инерции (общий) после усиления.

В крайнем волокне усиливающей детали:

$$\frac{\Delta N_{\bar{a}}}{\dot{A}_{\bar{n}\bar{i}} + \Delta \dot{A}_{\bar{a}\bar{i}}} + \frac{\dot{I}_{\bar{a}} \times \dot{o}_{\bar{a}}}{I_{\bar{i}\bar{a}}} \leq R_y \times \gamma_c, \quad (4.35)$$

где $\dot{o}_{\bar{a}}$ – расстояние до нейтральной оси усиливающей детали.

Проверка устойчивости в плоскости действия момента производится по формуле:

$$\frac{N_c}{A_{\bar{n}} \times \varphi_{\bar{a}\bar{i}\bar{a}}} + \frac{\Delta N_{\bar{a}}}{(\dot{A}_{\bar{n}} + \Delta \dot{A}_{\bar{a}}) \times \varphi_{\bar{a}\bar{i}\bar{a}}} \leq R_y \times \gamma_c, \quad (4.36)$$

где $\varphi_{\bar{a}\bar{i}\bar{a}}$ – коэффициент снижения расчетного сопротивления при внецентренном сжатии для сечения после усиления при расчете в плоскости изгиба.

По этому главному условию неразрушимости можно определить необходимую площадь усиления:

$$\Delta \dot{A}_{\bar{a}} \geq \frac{N_{\bar{n}} + \Delta N_{\bar{a}} - \varphi_{\bar{a}\bar{i}\bar{a}} \times \dot{A}_{\bar{n}\bar{i}} \times \gamma_{\bar{n}} \times R_{\bar{o}}}{\varphi_{\bar{a}\bar{i}\bar{a}} \times (\gamma_{\bar{n}} \times R_{\bar{o}} - \frac{N_{\bar{n}}}{\dot{A}_{\bar{n}\bar{i}}})}. \quad (4.37)$$

Проверка устойчивости из плоскости действия момента производится по формуле:

$$\frac{N_c}{\varphi_{\bar{o}\bar{i}\bar{a}} \times \tilde{n}_{\bar{i}\bar{a}} \times A_{\bar{n}}} + \frac{\Delta N_{\bar{a}}}{\varphi_{\bar{o}\bar{i}\bar{a}} \times \tilde{n}_{\bar{i}\bar{a}} \times (\dot{A}_{\bar{n}\bar{i}} + \Delta \dot{A}_{\bar{a}\bar{i}})} \leq R_y \times \gamma_c, \quad (4.38)$$

где $\varphi_{\bar{o}\bar{i}\bar{a}}$ – коэффициент продольного изгиба для сечения после усиления при расчете из плоскости изгиба; $\tilde{n}_{\bar{i}\bar{a}}$ – коэффициент, учитывающий влияние

изгибающего момента при расчете стержня на прочность из плоскости действия момента.

Усиливающие детали крепят к основному сечению внецентренно-сжатого элемента между узлами тонкими сплошными швами малых калибров (3, 4, 5, 6 мм).

Расчет несимметричного усиления балок, усиленных методом увеличения сечений. В общем случае объемы усиления при работе в упругой стадии могут быть определены в следующем порядке:

- определяется приращение к основному моменту $\Delta \dot{I}$ и максимальный изгибающий момент $\dot{I}_{\max}^{\acute{o}\ddot{n}}$:

$$\dot{I}_{\max}^{\acute{o}\ddot{n}} = \dot{I}_{\max}^{\ddot{i}\ddot{n}} + \Delta \dot{I}, \quad (4.39)$$

где $\dot{I}_{\max}^{\ddot{i}\ddot{n}}$ – максимальный момент, на который рассчитана подкрановая балка;

- требуемый момент сопротивления с учетом $\Delta \dot{I}$:

$$W_{i\acute{o}}^{\acute{o}\ddot{n}} = \frac{M_{\max}^{\acute{o}\ddot{n}}}{R_y \times \gamma_c}, \quad (4.40)$$

где γ_c – коэффициент условий работы, принятый для действующего цеха равным 0,9 с учетом эксплуатационного состояния; R_y – для технико-экономической оценки расчетное сопротивление принято одинаковым для основного металла и элементов усиления.

Случай $R_y^{\ddot{i}\ddot{n}} \neq R_y^{\acute{o}\ddot{n}}$ рассмотрен ниже;

- требуемая площадь поперечного сечения с учетом усиления:

$$\dot{A}_{\acute{o}\acute{o}}^{\ddot{i}\ddot{e}} = \frac{\alpha + 1}{h} \times W_{i\acute{o}}^{\acute{o}\ddot{o}} + \frac{(\alpha + 1)^2}{6 \times \alpha} \times h \times t_w, \quad (4.41)$$

где α – коэффициент асимметрии, принимаемый равным 1,1..1,5; h – высота балки; t_w – толщина стенки;

- требуемые площади верхнего и нижнего поясов:

$$\begin{aligned} \dot{A}_{f\acute{o}\acute{o}}^{\acute{a}} &= \frac{\alpha}{\alpha + 1} \times \dot{A}_{\acute{o}\acute{o}}^{\ddot{i}\ddot{e}} - \frac{t_w \times h}{2}; \\ \dot{A}_{f\acute{o}\acute{o}}^i &= \frac{\alpha}{\alpha + 1} \times \dot{A}_{\acute{o}\acute{o}}^{\ddot{i}\ddot{e}} - \frac{t_w \times h}{2}; \end{aligned} \quad (4.42)$$

- требуемые объемы усиления верхнего и нижнего поясов:

$$\begin{aligned} \dot{A}_{f\acute{o}\acute{o}}^{\acute{a}.\acute{o}\ddot{n}} &= \dot{A}_{f\acute{o}\acute{o}}^{\acute{a}} - \dot{A}_f^{\acute{a}.\ddot{i}\ddot{n}}; \\ \dot{A}_{f\acute{o}\acute{o}}^{i.\acute{o}\ddot{n}} &= \dot{A}_{f\acute{o}\acute{o}}^i - \dot{A}_f^{i.\ddot{i}\ddot{n}}, \end{aligned} \quad (4.43)$$

где $\dot{A}_f^{\acute{a}.\ddot{i}\ddot{n}}$ и $\dot{A}_f^{i.\ddot{i}\ddot{n}}$ – соответственно площади нижнего и верхнего поясов основной балки;

• в зависимости от принятого варианта конструируются усиления верхнего и нижнего поясов; проверка и коррекция принятых сечений по формулам:

$$\sigma_{\hat{o}}^{\hat{a}} = \frac{\dot{I}_{\max}^{\hat{o}\hat{n}}}{W_{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}^{\hat{a}}} \leq R_y \times \gamma_c;$$

$$\sigma_{\hat{o}}^i = \frac{\dot{I}_{\max}^{\hat{o}\hat{n}}}{W_{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}^i} \leq R_y \times \gamma_c, \quad (4.44)$$

где $W_{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}^{\hat{a}} = \frac{I_x^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}}{h_{\hat{a}}}$; $W_{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}^i = \frac{I_x^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}}{h_i}$ – соответственно моменты сопротивления

верхнего и нижнего поясов усиленного сечения; $I_x^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}$ – момент инерции усиленного сечения;

$$h_{\hat{a}} = h - h_i; h_i = \frac{\sum A_i \times y_i}{\sum A_i}.$$

При неудовлетворении условий (4.44) по фактическому коэффициенту асимметрии α_{φ} корректируется принятое усиление;

- проверка прочности по приведенным напряжениям:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \times \tau_1^2} \leq 1,15 \times R_y \times \gamma_c, \quad (4.45)$$

где $\sigma_1 = \frac{\dot{I}_1}{I_x^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}} \times \frac{h}{2}$; $\tau_1 = \frac{Q_1}{t_w \times h_w}$ – нормальные и касательные напряжения,

определяемые по геометрическим характеристикам основного сечения; $I_x^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}$ – момент инерции основных сечений; $\dot{I}_1$ и Q_1 – соответственно изгибающий момент и поперечная сила в месте обрыва элементов усиления.

Расчет симметричного усиления балок, усиленных методом увеличения сечений. В упругой стадии расчет может быть проведен в следующей последовательности:

- требуемая площадь усиления каждого пояса:

$$\dot{A}_{f\hat{o}\hat{o}} = \frac{\Delta M}{h \times (R_y^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}} - \sigma_{\max}^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}) \times \gamma_c} - \frac{W_{x\hat{i}}^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}}{h}, \quad (4.46)$$

где $R_y^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}$ – расчетное сопротивление основного металла;

$$\sigma_{\max}^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}} = \frac{M_{\max}^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}}{W_{x\hat{i}}^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}}, \quad (4.47)$$

где $W_{x\hat{i}}^{\hat{i}\hat{i}\hat{e}}$ – момент сопротивления основной балки.

С учетом принятого варианта конструируют элементы усиления; при этом при $A_f^{\hat{a}} = A_f^i$ элементы по геометрическим характеристикам могут отличаться;

- места теоретического обрыва элементов усиления по длине балок определяются из условия:

$$M_z = [M]^{in}, \quad (4.48)$$

где M_z – момент внешних сил после усиления в сечении z ;
 $[M]^{in} = W_{\hat{o}, \hat{l}}^{in} \times R_{\hat{o}}^{in} \times \gamma$ – предельная несущая способность основного сечения.

Тогда:

$$l_1 = \frac{l}{2} - \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 - \frac{2 \times [M]^{in}}{q}}, \quad (4.49)$$

где l_1 – расстояние от опоры до места теоретического обрыва листов; l – пролет балки; $q = q^{in} + \Delta q$ – эквивалентная равномерно распределенная нагрузка, учитывающая основную (q^{in}) и дополнительную (Δq) нагрузки.

Элементы усиления заводятся за место теоретического обрыва на расстояние, достаточное для передачи усилия

$$N = 0,5 \times A_i^{\hat{o}\hat{n}} \times R_y^{\hat{o}\hat{n}}, \quad (4.50)$$

где $A_i^{\hat{o}\hat{n}}$ – площадь нетто элемента усиления; $R_y^{\hat{o}\hat{n}}$ – расчетное сопротивление элемента усиления;

- проверки прочности усиленного сечения по формулам:

$$\sigma_{\max}^{\hat{o}\hat{n}} = \frac{\Delta M}{W_x^{in\hat{e}}} \leq R_{\hat{o}}^{in} \times \gamma_c; \quad (4.51)$$

$$\sigma_{\max}^{\hat{i}\hat{n}} = \frac{\Delta M}{I_{\hat{o}}^{in\hat{e}}} \times \hat{o} \leq R_{\hat{o}}^{\hat{i}\hat{n}} \times \gamma_c; \quad (4.52)$$

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \times S_x^{\hat{i}\hat{n}}}{I_x^{\hat{i}\hat{n}} \times t_w} \leq R_s^{\hat{i}\hat{n}} \times \gamma_c, \quad (4.53)$$

где $W_x^{in\hat{e}}$, $W_x^{in\hat{e}}$ – геометрические характеристики усиленного сечения; $I_x^{\hat{i}\hat{n}}$, S_x^{oc} – геометрические характеристики основного сечения; y – наибольшее расстояние от центра тяжести сечения до крайних фибр основного сечения; $R_{\hat{o}}^{\hat{i}\hat{n}}$; $R_{\hat{o}}^{\hat{i}\hat{n}}$; R_s^{oc} – расчетные сопротивления основного металла и элементов усиления;

- проверка прочности по приведенным напряжениям.

Расчет балок, усиленных методом подведения дополнительных опор. В общем случае расчет ведется в следующей последовательности:

6

2

Рис. 4.27. Варианты подкрепления балок шпренгелем

Расчет балок введением предварительного напряжения.

Разгружающий эффект при введении предварительно напряженных тросовых или листовых затяжек создается за счет введения высокопрочных сечений и создания статической неопределимости. Расчет усиленных балок не отличается от обычных предварительно напряженных балок и может быть выполнен в следующей последовательности:

- определяется усилие самонапряжения в затяжке $X1$ от основной и дополнительной нагрузок при принятом способе усиления;

- назначается усилие предварительного напряжения $X2$ и производится расчет усилий в основной балке на основную и дополнительную нагрузки и на усилие $X1+X2$ и проверяется условие:

$$M_{\max}^{\delta n} \leq M_{\max}; \quad (4.57)$$

- на расчетное усилие в затяжке производится подбор сечений и прикреплений элементов усиления.

Расчет усиления подкрановых балок при ограничении рабочего прогиба введением предварительно напряженных элементов. Данный метод не увеличивает прочность, но увеличивает выносливость верхней зоны и ограничивает рабочий прогиб подкрановой балки.

При введении дополнительного момента ΔI прогиб балки составляет:

$$f^{i\bar{i}\bar{e}} = \frac{M_{\max}^{\delta n} \times e^2}{10 \times E \times I_x^{i\bar{i}\bar{n}}}, \quad (4.58)$$

где $I_{\max}^{\delta n} = I_{\max}^{i\bar{i}\bar{n}} + \Delta I$ – нормативные изгибающие моменты.

В случае $f^{i\bar{i}\bar{e}} > [f]_{i\bar{i}\bar{o}}$ затяжками создается предварительный $f^{i\bar{i}\bar{o}}$ прогиб с условием

$$f^{i\bar{i}\bar{e}} - f^{i\bar{i}\bar{o}} \leq [f]. \quad (4.59)$$

В общем случае расчет может быть произведен в следующей последовательности:

- определяется $f^{i\bar{i}\bar{e}}$ от $I_{\max}^{\delta n}$ и требуемая величина предварительного прогиба

$$f_{\delta\delta}^{i\bar{i}\bar{o}} \leq f^{i\bar{i}\bar{e}} - [f]; \quad (4.60)$$

- определяется требуемое усилие $P_{тр}$ для создания $f_{\delta\delta}^{i\bar{i}\bar{o}}$

$$D_{\dot{o}\dot{o}} = \frac{48 \times f^{\dot{i}\dot{o}} \times E \times I_x^{\dot{i}\dot{n}}}{5 \times l^2}; \quad (4.61)$$

• учитывая деформации затяжки назначают усилие предварительного напряжения на 15–25% больше $D_{\dot{o}\dot{o}}$

$$D^{\dot{i}\dot{o}} = (1,15 \dots 1,25) D_{\dot{o}\dot{o}}; \quad (4.62)$$

- исходя из $D^{\dot{i}\dot{o}}$ определяют усилия в затяжках $D^{\dot{c}\dot{a}\dot{o}}$;
- на усилие $D^{\dot{c}\dot{a}\dot{o}}$ рассчитываются затяжки и крепления;
- определяется рабочий прогиб балки

$$f^{\dot{o}\dot{a}\dot{a}} = f^{\dot{i}\dot{i}\dot{e}\dot{a}} - f^{\dot{i}\dot{o}\dot{a}}. \quad (4.63)$$

Расчет усиления подкрановых балок, усиленных созданием неразрезности. Разгружающий эффект достигается за счет уменьшения пролетного момента $\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^{\dot{o}\dot{n}}$ за счет неразрезности и возникновения опорного момента $\dot{I}_{\dot{i}\dot{i}}^{\dot{o}\dot{n}}$. Определение усилий производится как для обычных неразрезных балок и может быть выполнен в следующей последовательности:

• для неразрезных балок определяются изгибающие моменты и проверяется условие

$$\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^{\dot{o}\dot{n}} \leq \dot{I}_{\max}^{\dot{i}\dot{n}}, \quad (4.64)$$

при этом

$$\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^{\dot{o}\dot{n}} = (\dot{I}_{\max}^{\dot{i}\dot{n}} + \Delta \dot{I}) - \dot{I}_{\dot{i}\dot{i}}^{\dot{i}\dot{n}}. \quad (4.65)$$

В случае невыполнения условия (4.64) балки должны быть дополнительно усилены другим методом;

• определяются усилия в элементах усиления, при этом усилия в анкерах и накладках N_a определяются по формуле:

$$N_a = \frac{M_{\dot{i}\dot{i}}^{\dot{o}\dot{n}}}{h}; \quad (4.66)$$

• по найденным усилиям рассчитываются сечения и крепления элементов усиления.

4.6. Разработка программ обеспечения надежности при выполнении паспортизации промышленных объектов

На выполнение постановления Кабинета Министров Украины от 5 мая 1997 года № 409 «Об обеспечении надежности и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей» общим приказом № 32/288 Государственного комитета строительства, архитектуры и жилищной политики Украины и Государственного комитета Украины по надзору за

охраной труда от 27 ноября 1997 года утвержден пакет нормативных и распорядительных документов по вопросам обследования и паспортизации зданий и сооружений с целью обеспечения их надежной эксплуатации.

Сведения и выводы, полученные при периодическом обследовании здания (сооружения) специализированной организацией, используются при заполнении Паспорта технического состояния здания (сооружения), внедрения неперенных и своевременных мероприятий по ремонту, реконструкции отдельных конструктивных элементов, систем или здания (сооружения) соответственно содержанию положений программ обеспечения надежности.

Программа обеспечения надежности разрабатывается на основе материалов заключения о техническом состоянии объекта, ведомости дефектов и повреждений, рекомендаций специализированной организации по их устранению.

4.6.1. Заключение о возможности дальнейшей эксплуатации строительных конструкций электросталеплавильного цеха

Исходные данные. Перерасчет строительных конструкций каркаса выполнялся с целью определения действительного напряженно-деформированного состояния с учетом фактических размеров, геометрических характеристик элементов, выявленных расчетных характеристик материалов, уточненных нагрузок и воздействий, обнаруженных повреждений и существующих особенностей работы.

Определение усилий в элементах конструкций выполнялось на программном комплексе SCAD методом конечных элементов в упругой постановке.

Расчетные схемы конструкций разрабатывались по плоской схеме согласно выполненным обследованиям и обмеров. Сопряжения конструкций и их элементов приняты по результатам обследования узлов при условии наибольшего соответствия работе конструкций.

Постоянные нагрузки на фермы принимались согласно имеющимся данным по составу кровли. Снеговые и ветровые нагрузки принимались согласно СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия».

Крановые нагрузки принимались по паспортным данным, и на основе изучения особенностей технологического процесса.

По результатам обследования конструкций, включающих химический анализ натурных проб металла, а также анализ сохранившейся документации, принято, что материалом металлических конструкций подкрановых балок является сталь ВСт3Гпс5 по ГОСТ 380-81 с расчетным сопротивлением $R_y=255$ МПа.

Материал остальных металлических конструкций принят класса С235 с $R_y=220$ МПа.

Расчетное сопротивление сварных швов подкрановых конструкций $R_s=250$ МПа.

Для остальных конструкций расчетное сопротивление сварных швов принято $R_s=235$ МПа.

Результаты расчета. Несущая способность подкрановых балок по ряду *A* в осях 8–9, 9–10, 10–11, 11–12 с учетом выявленных повреждений не обеспечена, перенапряжения в поврежденной верхней зоне стенки достигают 37 %.

Несущая способность остальных конструкций в действующих эксплуатационных условиях обеспечена.

Деформативность основных несущих конструкций каркаса цеха не превышает величин установленных нормами.

В процессе эксплуатации строительные конструкции здания получили значительные повреждения. Ниже перечислены конструкции, оценка их технического состояния и основные мероприятия для обеспечения эксплуатационной пригодности в условиях продолжения дальнейшей эксплуатации.

Колонны

Колонны ряда *A* по осям 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, находятся в неудовлетворительном состоянии – обнаружены погиби полок ветвей колонн, вмятины по стенкам, коррозионные повреждения стенок колонн у основания.

Колонны ряда *B (B)* по осям 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 13, 14, находятся в неудовлетворительном состоянии – обнаружены погиби полок ветвей колонн и элементов соединительной решетки, вмятины по стенкам, коррозионные повреждения стенок колонн у основания.

Колонны ряда *E (Ж)* по осям 2, 3, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 23, 24, 26 находятся в неудовлетворительном состоянии – обнаружены погиби полок ветвей колонн и элементов соединительной решетки, вырезы в металле полки колонны, вмятины по стенкам, коррозионные повреждения стенок колонн у основания.

Колонны ряда *II* по осям 2, 5, 6, 8, 16, 17, 19, 21, 23; 24, 26 находятся в неудовлетворительном состоянии – обнаружен погиби полок ветвей колонн и элементов соединительной решетки, вмятины по стенкам, коррозионные повреждения стенок колонн у основания.

Необходимо выполнить ремонт полок и стенок колонн, получивших механические погиби f_u, f_v – более 35 мм, путем постановки на поврежденный участок дополнительной пластины равнопрочного сечения; восстановить отсутствующие элементы и выполнить ремонтное восстановление поврежденных элементов решеток колонн и крестовых связей в результате механических погибей (f_u, f_v – более 35мм) и обрывов элементов, путем постановки дублирующих элементов равновеликого сечения.

Остальные колонны находятся в удовлетворительном состоянии.

Противокоррозионная защита конструкций колонн находится в удовлетворительном состоянии, кроме оговоренных выше.

Необходимо произвести защиту конструкций колонн от коррозии согласно п. «Рекомендации» и принять меры к ликвидации скоплений увлажненной грязи и пыли.

Подкрановые конструкции

Подкрановые балки по ряду А

Подкрановые балки в осях 8–9, 9–10, 10–11, 11–12 находятся в аварийном состоянии – выявлены трещины в сварных швах сопряжения стенки и верхнего пояса, в основном металле стенки балки, разрывы сварных швов и основного металла крепления ребер жесткости к верхнему поясу балки, трещины в сварных швах опорных ребер.

Указанные выше трещины носят усталостный характер и восстановительному ремонту не подлежат.

Необходимо выполнить замену поврежденных подкрановых балок на балки аналогичного сечения. Применение балок современного сечения не рационально ввиду установленной проектом фактической высоты подкрановых конструкций.

Учитывая, что замена потребует некоторого времени на проектирование и изготовление металлических конструкций и остановки технологического процесса на период демонтажных и монтажных работ, эксплуатация конструкций может быть продолжена на ограниченный срок при условии выполнения работ по усилению конструкций, предусматривающих постановку дополнительных ламелей разгружающих поврежденные участки. Работы по усилению производить согласно разработанной рабочей документации на усиление конструкций.

На период эксплуатации существующих усиленных конструкций до их замены, для обеспечения безопасности эксплуатации требуется соблюдать следующие меры:

- необходимо установить постоянное наблюдение (не менее одного раза в месяц) за поврежденными конструкциями и в случае обнаружения развития трещин произвести дополнительное обследование конструкций с разработкой мероприятий по обеспечению безопасности эксплуатации;
- ограничить по требованиям технологического процесса сближение мостовых кранов при полной нагрузке;
- ограничить скорость передвижения кранов на указанных участках;
- не допускать совмещение продольного и поперечного передвижения грузов.

Состав ремонтных работ по сварным швам и ребрам жесткости данных балок приведен ниже.

Подкрановые балки по ряду А в осях 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 12-13; по ряду В в осях 2-3, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12; по ряду В в осях 5-6, 6-7, 7-8, 9-10, 13-14, 14-15; по ряду Г–Г* в осях 6-7, 7-8, 9-10, 13-14, 14-15; по ряду Д–Д в осях 1-2, 2-3, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 10-11, 13-14, 14-15; по ряду Е в осях 18-19, 19-20; по ряду Ж в осях 1-2, 2-3, 11-12, 12-13, 13-14, 14-15, 20-21, 21-22, 22-23, 23-24; по ряду И в осях 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10,

10-11, 11-12, 12-13, 13-14, 14-15, 15-16, 18-26; по ряду *И** в осях 5-6, 8-9, 9-10, 11-12, 20-21; по ряду *К* в осях 5-6, 8-9, 10-11, находятся в неудовлетворительном состоянии – трещины в сварных швах сопряжения ребер жесткости к верхнему поясу балки, ослабление и отсутствие болтов крепления подкрановых балок между собой, повреждение узлов крепления балок к ветви колонны, трещины сварном шве сопряжения стенки и верхнего пояса балки (дефект сварного шва), коррозия внутренней поверхности стенок и полок балок, сварных швов.

Необходимо восстановить крепления ребер жесткости подкрановых балок к верхним поясам, восстановить эксплуатационную пригодность болтовых соединений путем постановки отсутствующих и восстановления поврежденных восстановить крепления ребер жесткости подкрановых балок к верхним поясам, очистить конструкции от скоплений пыли и мусора, выполнить противокоррозионную защиту несущих металлоконструкций.

Ряд сопряжений подкрановых балок между собой находится в неудовлетворительном состоянии – отсутствуют прокладки между опорными ребрами.

Необходимо осуществить постановку компенсационных прокладок с определением толщины прокладок по месту.

Остальные подкрановые балки находятся в удовлетворительном состоянии.

Тормозные балки и вспомогательные горизонтальные и вертикальные конструкции тормозных балок

Тормозные балки по ряду *А* в осях 2-3, 9-10, 10-11, по ряду *Б* в осях 10-11, 11-12, 16-17; по ряду *В* в осях 12-13; по ряду *И* в осях 1-2, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 9-10, 12-13; по ряду *И** в осях 22-23, находятся в неудовлетворительном состоянии – разрушение и обрывы узлов крепления тормозных балок к ветвям колонн, погиби фасонки крепления тормозной балки к колонне, погиби элементов тормозной балки, вырезы в элементах.

Необходимо устранить влияние указанных повреждений на надежность и долговечность конструкций согласно методам устранения повреждений, приведенных в «Дефектных ведомостях».

Необходимо восстановить эксплуатационную пригодность болтовых соединений путем постановки отсутствующих и восстановления поврежденных. Поврежденные болтовые соединения см. «Дефектные ведомости».

Остальные тормозные балки находятся в удовлетворительном состоянии.

Стропильные фермы

Стропильные фермы в осях *А–Б/13*, 14, и *Г–Д/5*, находятся в неудовлетворительном состоянии – погиб узла крепления в сопряжении верхнего пояса с колонной.

Необходимо произвести ремонт указанных узлов согласно «Рабочей документации».

Стропильные фермы пролетов А–Б/15; В–Г/6, 8, 9, 11, 15; Г–Д/11; Д–Е/7, 10, 13; Ж–И/2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 24; И*–К/1,2,3,6,7,8,9,10,12,16,17 находятся в неудовлетворительном состоянии – погиби элементов решетки, вырез элементов, местные коррозионные повреждения верхних поясов, отсутствие болтов крепления в сопряжении верхнего пояса фермы с колонной.

Необходимо произвести ремонт путем постановки дублирующих элементов, восстановления ослабленных вырезами элементов, нормализации болтовых соединений и возобновления противокоррозионной защиты элементов ферм согласно методам устранения повреждений, приведенных в «Дефектных ведомостях».

Остальные стропильные фермы находятся в удовлетворительном состоянии.

Связи и распорки по верхним поясам стропильных ферм

Связи и распорки в осях Ж–И/3-4, Ж–И/4-5, Д–Е/3-4, Д–Е/4-5, Д–Е/14-15, Д/6-7, В–Г/10-11, А–Б/4-5 находятся в неудовлетворительном состоянии – погиби элементов связи, распорок, поясов.

Необходимо произвести ремонт путем постановки дублирующих элементов, восстановления ослабленных вырезами элементов, нормализации болтовых соединений и возобновления противокоррозионной защиты элементов связей согласно методам устранения повреждений, приведенных в «Дефектных ведомостях».

Остальные связи и распорки по верхним поясам стропильных ферм находятся в удовлетворительном состоянии.

Связи и распорки по нижним поясам стропильных ферм

Связи и распорки в осях Ж–И/6-7, Ж–И/8-9, Ж–И/10-11, Ж–И/16-17, Ж–И/18-19, Д–Е/3-4, Д–Е/12-13, Д–Е/16-17, Г–Д/18-19, В–Г/3-4, В–Г/6-7, В–Г/10-11, Г–Д/18-19, Г–Д/19-20, И*–К/1-2, И*–К/5-6, И*–К/9-10, И*–К/13-14, И*–К/18-19, И*–К/19-20 находятся в неудовлетворительном состоянии – погиби элементов связи, распорок, поясов.

Необходимо произвести ремонт путем постановки дублирующих элементов, восстановления ослабленных вырезами элементов, нормализации болтовых соединений и возобновления противокоррозионной защиты элементов связей и распорок по нижним поясам согласно методам устранения повреждений, приведенных в «Дефектных ведомостях».

Остальные связи и распорки по нижним поясам стропильных ферм находятся в удовлетворительном состоянии.

Вертикальные связи по колоннам

Вертикальные связи по колоннам находятся в удовлетворительном состоянии.

Рабочие площадки и ходовые мостики

Рабочие площадки и ходовые мостики в осях Ж–И/4-5, И*–К/7-8, Ж–И/12-13, Ж–И/13-14, И*–К/14-15, И8–К/13-14, Ж–И/15-16, Ж–И/16-17, Е–Д/17-18, Ж–И/18-19, Ж–И/19-20, Ж–И/20-21 находятся в

неудовлетворительном состоянии – обрывы элементов ограждения, обрывы настила, большое скопление технологической пыли и ненормативное складирование материалов.

Необходимо произвести разгрузку указанных конструкций путем уборки технологической пыли и элементов ненормативного складирования материалов.

Необходимо восстановить проектное положение элементов рабочих площадок и ходовых мостиков согласно методам устранения повреждений, приведенных в «Дефектных ведомостях».

Рекомендуется для обеспечения надежности дальнейшей эксплуатации конструкций в плановом порядке заменить существующий настил в виде сплошного листа на просечно-вытяжной, что позволит предотвратить скопление технологической пыли.

Остальные рабочие площадки и ходовые мостики находятся в удовлетворительном состоянии.

Колонны торцевых фахверков

Средняя стойка фахверка в пролете $И^*-К$ по оси 1 находится в неудовлетворительном состоянии – выкол полки, многочисленные погиби полки. Стойки фахверка по ряду $Л$ находятся в неудовлетворительном состоянии – коррозионные потери сечения до 0,3 мм.

Необходимо произвести ремонт указанных конструкций путем постановки дублирующих накладок на поврежденные участки и произвести возобновление противокоррозионной защиты согласно методам устранения повреждений, приведенных в «Дефектных ведомостях».

Остальные стойки торцевых фахверков находятся в удовлетворительном состоянии.

Конструкции ограждения здания

Панели ограждения по фасаду $Л-А$ в осях $К-И^*$, $Е-Д$, по фасаду 1-17 в осях 2-3, 3-4, 6-7, 8-9, 9-10, 10-11, 13-14, 15-16, по фасаду 25-1 находятся в неудовлетворительном состоянии – повреждения вида: отдельные панели выходят из плоскости до 70 мм, повреждение защитного слоя бетона панелей ограждения с оголением и коррозией арматуры, проломы в панелях ограждения, повреждение заделки в стыках сопряжения, сквозные трещины в теле панелей.

Необходимо произвести ремонт указанных панелей, а также предусмотреть замену отдельных панелей в плановом порядке.

Кирпичная кладка ограждения по фасаду $Л-А$ в осях $Г-В$, $Л-К$ находится в неудовлетворительном состоянии – повреждение кладки на глубину до 300 мм, наклонные трещины, выветривание раствора из швов кладки.

Необходимо произвести ремонт кирпичной кладки согласно разработанным рекомендациям.

Ограждение по фасаду $А-Л$ находятся в неудовлетворительном состоянии – имеют место повреждения элементов крепления профнастила

ограждения к фахверку, очаговая коррозия профнастила ограждения, трещины по стеновому заполнению.

Необходимо произвести ремонт указанных участков путем восстановления поврежденных коррозией элементов крепления профнастила ограждения к торцевому фахверку согласно представленным проектным решениям.

Конструкции кровельных покрытий

Металлические щиты покрытия в неудовлетворительном состоянии – повреждения вида: отдельные листы покрытия имеют провисания до 200 мм, сквозные коррозионные повреждения, намокания, разрывы сварных швов в сопряжении листов, образование очагов застойных зон атмосферных осадков.

Необходимо произвести ремонт и замену металлических листов покрытия.

Гидроизоляционный ковер в пролете *И*–Л* по оси 4 в неудовлетворительном состоянии – имеют место повреждения гидроизоляционного ковра в виде разрыва, образования трещины длиной 4–5 м, намокание конструкций покрытия. Необходимо произвести ремонт указанных участков согласно п. «Рекомендации».

Железобетонные плиты покрытия

Железобетонные плиты покрытия в осях *И*–К/3-4*, 4-5, 6-7, 7-9, 11-12, 13-14, 19-20, 21-22, 22-24, 25-26 в неудовлетворительном состоянии – повреждения вида: сквозные проломы в пастели плит покрытия, повреждение защитного слоя бетона с оголением и коррозией арматуры до 5%, очаги намокания, высолы по ребрам жесткости и пастели плит.

В настоящее время указанные повреждения не носят угрожающего характера и в связи со значительными трудностями ремонта могут быть оставлены без изменений.

Необходимо принять меры к предотвращению дальнейшего разрушения плит покрытия путем своевременного ремонта гидроизоляционного ковра.

Противокоррозионные покрытия

В целом, противокоррозионное состояние стальных конструкций здания находится в удовлетворительном состоянии – потери сечений конструкций, указанные в дефектных ведомостях составляют до 5% равномерной коррозии. Обследованием выявлены также местные коррозионные повреждения, требующие возобновления противокоррозионных покрытий.

Необходимо произвести ремонт защитных покрытий конструкций согласно «Дефектным ведомостям» и настоящим рекомендациям.

Техническое состояние здания (сооружения) в целом: состояние конструкций – удовлетворительное. По несущей способности и пригодности к нормальной эксплуатации отвечают состоянию II согласно «Нормативным

документам по вопросам обследования, паспортизации, безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений» / Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, Госнадзорохрантруда Украины – Киев, 1997 г.

Дальнейшая эксплуатация строительных конструкций здания электросталеплавильного цеха в существующем режиме может быть продолжена до 31 марта 2009 года при условии выполнения мероприятий программы обеспечения надежности. В период разрешенного срока необходимо выполнять все требования действующей нормативно-технической документации.

После 31 марта 2009 г. необходимо заключение специализированной организации о возможности дальнейшей эксплуатации строительных конструкций здания электросталеплавильного цеха.

В связи с длительной эксплуатацией конструкций цеха в тяжелом режиме необходимо при проведении весенних и осенних осмотров производить наблюдение за состоянием и поведением конструкций. В случае обнаружения повреждений существующих конструкций здания электросталеплавильного цеха не отмеченных в данном «Заключении....» необходимо заключение специализированной организации о возможности дальнейшей эксплуатации конструкций с учетом вновь возникших повреждений.

Форма и содержание дефектных ведомостей, отражающих особенности технического состояния эксплуатируемых конструкций электросталеплавильного цеха, представлены в Приложении П1.

4.6.2. Рекомендации по ремонту конструктивных элементов здания

Металлические конструкции. Для восстановления эксплуатационной пригодности основных строительных конструкций колонн, ферм, связей, подкрановых конструкций каркаса здания и повышения долговечности необходимо выполнить мероприятия, перечисленные в этом разделе, с учетом раздела «Дефектные ведомости».

Неремонтопригодными и требующие обязательной замены считаются элементы металлоконструкций:

- состоящие из отдельных прокатных профилей с трещинами в полках или надрывами в результате аварии;
- с резкими изгибами в месте деформаций;
- с двумя и более усталостными трещинами, значительными по длине (200 мм и более) и опасными по расположению;
- с усталостными трещинами, возникшими повторно в том же месте или рядом, где они уже были однажды заварены;
- потерявшие в результате коррозии более 5% площади первоначального сечения (для стержней) и 10% – для балок;

- не позволяющие получить после ремонта требуемую несущую способность.

Ремонт сварных соединений. Перед ремонтом трещина должна быть выявлена по всей ее протяженности с применением соответствующих методов дефектоскопии.

Трещины в стыковых сварных швах должны быть устранены с подготовкой кромок под заварку в соответствии с требованиями ГОСТ 5264, ГОСТ11534, ГОСТ14771, ГОСТ 23518.

Сквозные трещины в стыковых сварных швах должны быть засверлены отверстиями диаметром от 8 до 10 мм по краям дефектных участков с припуском 15 мм. Дефектный участок в этом случае должен быть проварен на полную глубину.

Трещины в угловых сварных швах должны быть устранены выплавлением дефектного шва газовым пламенем или удалены механическим путем, при условии сохранения основного металла, а затем переварены с последующей зачисткой шва шлифмашинами. При шлифовке швов риски, образованные шлифовальным камнем, должны располагаться вдоль действующих в элементе нормальных напряжений.

В случае выхода трещины за пределы шва подготовка кромок для переваривания шва должна осуществляться и на теле элемента.

Длина вырубаемого участка сварного шва должна быть больше видимой части разрушения от 40 мм до 60 мм. Вырубка трещин пневматическим зубилом или вручную допускается при температуре не ниже минус 5 °С или с предварительным подогревом элемента, подвергающегося рубке, до температуры от плюс 100 до плюс 190 °С.

Заварку трещин рекомендуется вести на постоянном токе электродами с фтористо-кальциевым или рутиловым покрытием.

При развитии трещин в перемычках между болтовыми (заклепочными) отверстиями допускается отрезать участок листа с отверстиями и приварить новый лист двусторонним стыковым швом.

При малом числе и незначительной общей длине трещин в перемычках допускается устранение трещин заваркой двусторонними стыковыми швами. В условиях одностороннего доступа допускается заварка односторонним и стыковыми швам на съемной медной подкладке.

Сверловка и разворачивание отверстий во вставке должны вестись через накладки.

Места перерыва шва, кратеры, подрезы основного металла должны быть зачищены и заварены.

Не допускается исправление дефектного участка шва более 2-х раз.

Вновь заваренные швы должны быть подвергнуты 100% контролю.

Ремонтные швы должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь гладкую и мелкочешуйчатую поверхность и плавный переход к основному металлу;

- неровности поверхности шва не должны превышать 0,5 мм для легкодоступных швов, и 1 мм - для труднодоступных;
- наплавленный металл должен быть плотным по всей длине шва, не иметь скоплений и цепочек поверхностных пор, шлаковых включений, прожогов свищей;
- все кратеры должны быть заварены.

Ремонт болтовых соединений. Болты в односрезных болтовых соединениях, в случае невозможности подтяжки ослабленных гаек из-за коррозии резьбы, должны быть заменены.

Болты, гайки и шайбы должны быть очищены, (протерты) от консервирующей смазки, а болты и гайки проверены на легкость навинчивания гаек от руки по всей длине резьбы болта. В случае заметного сопротивления гаек завинчиванию они должны быть «прогнаны». После проверки резьба гаек должна быть протерта густой смазкой.

При сборке соединения болты должны применяться с термически обработанными шайбами по ГОСТ 22355, устанавливаемые под гайкой и головкой.

Повторное применение ранее устанавливавшихся болтов не допускается.

После установки все болтовые соединения должны быть предварительно затянуты ключом с рукояткой длиной порядка 300 мм, после чего шупом, толщиной 0,3 мм проверяется плотность схождения элементов пакета.

Затяжка болтов осуществляется от середины пакета к его краям, без рывков и производится предварительно проверенным (тарированным) динамометрическим ключом в соответствии с рекомендациями табл. 4.16.

Величины усилий и крутящих моментов

Таблица 4.16

Диаметр болта, мм	Усилие натяжения, кН	Крутящий момент, Н*м	
		$K=0,14$	$K=0,19$
16	120	270	370
18	150	370	510
20	190	530	710
22	230	720	970
24	270	910	1240
27	350	1300	1800

По окончании затяжки болтов соединение должно быть герметизировано грунтом или шпатлевкой по контуру всех элементов пакета и шайб.

Отверстия под высокопрочные болты, засверливаемые на месте, не должны превышать диаметр болта более чем на 0,5 мм. Во всех случаях диаметр отверстия должен допускать заводку болта на место от руки.

Правка конструкций. Правку деформированных конструкций допускается осуществлять:

- холодной безударной правкой домкратами;
- горячей безударной правкой (ацетиленкислородными горелками).

Методом холодной правки следует исправлять общие искривления геометрической оси при стреле прогиба, не более 0,015 свободной длины элемента (между узлами или узловыми фасонками, ребрами). При этом должны применяться скобы, винтовые или гидравлические домкраты, струбцины, лапы и т.д. После выпрямления деформированного участка необходимо выдержать его под усилием в течение 5...10 мин. при положительной температуре.

Горячая правка конструкций должна производиться при нагреве до температуры 700...800 °С (красный цвет каления) и прекращаться при температуре ниже 650 °С (темно-красное каление).

Местные и общие перегревы элементов не допускаются. Не допускается подгибка и другие воздействия на металл при температуре 300...350 °С (синий цвет побежалости). Допускается сопровождать горячую правку ударами молотка через гладилку или нагрузкой от домкратов, производимой вслед за перемещением горелки на расстоянии не менее 150 мм от нее, прекращая механические нагрузки при температуре 500 °С (темно-коричневое каление). Охлаждение металлоконструкций должно производиться в естественных условиях при температуре не ниже 0 °С, при условии защиты нагретой зоны от осадков, ветра (сквозняков).

Ремонт бетонных и каменных поверхностей. Восстановление защитного слоя бетона осуществляется в следующей последовательности.

Выполняются следующие операции по подготовке поверхности железобетонных элементов:

- с помощью молотка удаляют разрушенный и отслоившийся бетон;
- ручными или механическими щетками удаляют пластовую ржавчину;
- обеспыливают поверхность воздушной или водяной струей;
- обрабатывают арматуру преобразователем ржавчины, согласно инструкции о его применении.

Нанесение защитного слоя включает:

- смачивание защищаемой поверхности бетона или поверхность кладки (предварительно поверхность очищают от отслаивающейся штукатурки путем обеспыливания воздушной или водяной струей);
- цементный раствор набрасывают мастерком или кельмой и выравнивают с существующей поверхностью конструкции.

Если в местах выколов бетона имеются повреждения арматуры, необходимо восстановить сечение арматуры перед восстановлением защитного слоя.

Замена старой кладки. Замена существующей кладки, разрушенной в результате выветривания или появления трещин, позволяет восстановить

внешний вид здания без особых отделочных работ. При замене существующей кладки новой предварительно выполняют временное крепление из деревянных стоек или стального проката, воспринимающие нагрузки от верхних рядов кладки и несущих конструкций, опирающихся на разбираемую кладку.

Временное крепление стойками перекрытий и верхних рядов кладки следует применять в аварийных случаях, когда стены нижней части здания утратили несущую способность, например, в результате воздействия высоких температур при пожаре, влияния агрессивных сред, процессов выветривания или большого количества трещин. При разрушении нижней части стены в верхней ее части могут образоваться своды естественного равновесия, препятствующие обрушению.

При разгрузке простенков временное крепление выполняют из парных стоек, устанавливаемых по обеим сторонам перемычки, и упирают в подоконные участки. Включение стоек в работу производят при помощи прямых и обратных клиньев.

В качестве временного крепления при перекладке стен и устройстве проемов применяют спаренные швеллеры, опирающиеся на кладку или на металлические стойки. Между собой швеллеры соединяются анкерами, расположенными не более чем через 1 м. Швеллеры должны воспринимать давление от верхних рядов кладки и работать как перемычки.

Стойки, как правило, изготавливают из двух швеллеров, примыкающих стенками к усиливаемой стене. Между собой швеллеры соединяются анкерами, пропущенными через кладку, расстояние между которыми не должно превышать сорока радиусов инерции швеллера и не более 1 м.

Для замены стен следует применять каменные материалы повышенной прочности с маркой не ниже 100 и цементным раствором марки 100.

Усиления стен с трещинами методом инъектирования. Для восстановления несущей способности стен и перегородок необходимо, прежде всего, восстановить целостность при помощи инъектирования (нагнетания под избыточным давлением) в полости трещин скрепляющих растворов, которые должны отвечать следующим требованиям:

- иметь адгезионную прочность не ниже прочности восстанавливаемых конструктивных элементов (кирпичной кладки);
- быть долговечными и погодоустойчивыми;
- быть пригодными для применения в большом диапазоне изменения наружной температуры окружающего воздуха.

В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют эпоксидные клеи и полимеррастворы на их основе. Весьма эффективны цементно-песчаные растворы на безусадочном (расширяющемся) цементе, а также полимерцементные растворы. Исходя, из возможностей заказчика, рекомендуется к применению полимерцементный раствор, представляющий собой материал на основе композиционного вяжущего, включающего органический полимер (поливинилацетатный клей – ПВА) и неорганическое

вяжущее вещество (портландцемент). В состав полимерцементного раствора кроме клея ПВА и цемента входят песок и вода. При необходимости ускорения процесса твердения в состав вводится гипс. Рекомендуемый клей ПВА выпускается отечественной промышленностью с содержанием 500% сухих веществ и пластифицированным дибутилфталатом. В качестве неорганического вяжущего следует применять портландцемент М-400 и выше с содержанием трехкальциевого алюмината не выше 10%. Песок можно использовать речной, применяющийся для изготовления кладочных и штукатурных растворов, просеянный. Для приготовления полимерцементного раствора используется любая питьевая вода.

Инъектирование трещин в каменной кладке необходимо выполнять в определенной последовательности:

- трещины очистить от мусора, продуть сжатым воздухом, промыть водой и высушить;
- вдоль всей трещины в каменной (кирпичной) стене высверливаются отверстия диаметром 30 мм и глубиной не менее 100 мм для установки инъекторов (шаг отверстия 800 мм);
- в подготовленные отверстия на цементном растворе устанавливаются инъекторы (стальные трубки) диаметром 20-25 мм;
- наружную поверхность трещин тщательно законопачивается паклей, пропитанной клеем;
- с помощью компрессора через инъекторы в полости трещин нагнетается полимерцементный раствор под давлением до 0,25 Мпа;
- работы с полимерцементными растворами разрешается проводить в сухую погоду и при температуре не ниже 100 °С.

Контроль работ по инъектированию ведется путем регистрации количества нагнетаемого раствора в трещину, величины давления инъектирования и наблюдения за движением состава через стеклянные визеры.

Раздел 5

ОЦЕНКА РЕСУРСА РАБОТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

5.1. Экспертное обследование для продления ресурса работы конструкций

В настоящее время все большее распространение получает концепция определения остаточного ресурса, основанная на принципе «безопасной эксплуатации по техническому состоянию». Сущность подхода состоит в том, что оценка технического состояния объекта производится согласно нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации, а остаточный ресурс устанавливается по определяющим параметрам технического состояния. Проблема определения остаточного ресурса включает оценку суммарной наработки объекта с момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Повышение технологической безопасности промышленных объектов и вопросы продления остаточного ресурса зданий, сооружений инженерных сетей зависят от эффективности организационно-технических мероприятий, определяющих порядок надзора за коррозионным состоянием конструкций. Основной задачей обеспечения безаварийной эксплуатации конструкций зданий, сооружений в коррозионных средах является создание нормативно-методической основы для экспертного диагностирования параметров эксплуатационного состояния объектов повышенной опасности. Законом Украины «Об объектах повышенной опасности» установлены правовые, экономические, социальные и организационные основы деятельности по предотвращению возникновения, ограничения (локализации) и ликвидации последствий аварийных ситуаций. Государственный надзор и контроль в сфере деятельности, осуществляют специальные уполномоченные органы исполнительной власти на основании декларации безопасности объекта повышенной опасности. Постановлением Кабинета Министров Украины № 956 от 11.07.2002 г. определен порядок идентификации и декларирования объектов повышенной опасности и проведение экспертизы степени опасности и оценки риска на промышленных предприятиях. Приказом № 637 Министерства труда и социальной политики Украины от 04.12.2002 г. утверждена методика определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности объектов повышенной опасности.

Таким образом, имеется реальная нормативно-методическая основа для обоснования принципов государственного надзора для объектов повышенной опасности, подверженных воздействию сильноагрессивных сред. Необходимость выполнения работ, связанных с учетом потерь от коррозии и функционирования системы государственной статистической отчетности в промышленности, в сельском и коммунальном хозяйстве отмечено в Постановлении Президиума НАН Украины № 210 от 13.09.2002 г. разработка

практических механизмов реализации поставленной задачи должно осуществляться на основе аудита коррозионного состояния и экспертного диагностирования промышленных объектов. Систематизация данных о составе и интенсивности коррозионных воздействий производится специализированными организациями при проведении оценки технического состояния и паспортизации в соответствии с указаниями нормативных документов. В тоже время требуется регламентация требований, связанных с проведением комплекса организационно технических мероприятий по продлению остаточного ресурса конструкций, обеспечению долговечности и надежности эксплуатации объектов повышенной опасности в коррозионных средах.

Соблюдение регламентированных сроков службы конструкций, зданий и сооружений, обеспечение установленных показателей надежности и долговечности в значительной степени зависит от грамотной эксплуатации, своевременного выявления дефектов и повреждений, определения степени их опасности. Важная роль в определении эксплуатационного состояния конструкций принадлежит системе цехового эксплуатационного надзора. Технические требования к проектным срокам эксплуатации зависят от степени ответственности зданий и сооружений, назначения, режима эксплуатации, конструктивных особенностей (табл. 5.1).

Оценка остаточного ресурса за предельными сроками службы объектов осуществляется с учетом целевой технологической функции зданий и сооружений.

Таблица 5.1

Общая характеристика условий эксплуатации кранового оборудования	Режим работы стальных конструкций здания
1	2
Здания (пролеты, участки), в которых эксплуатируются краны с ручным приводом или ремонтные и монтажные краны режимных групп 2К и 3К	легкий – Л
Здания (пролеты, участки), в которых эксплуатируются краны режимных групп 4К, 5К и 6К или при регулярной сменной нагрузке	средний – С
Здания (пролеты, участки), в которых эксплуатируются крюковые краны режимной групп 7К, а также краны режимных групп 5К и 6К, транспортируемые расплавленный металл	тяжелый – Т
Здания (пролеты, участки), в которых эксплуатируются краны режимной групп 8К, а также краны режимной группы 7К с лапами, траверсами на жестком подвесе или грейферные, магнитогрейферные и мультимагнитные краны	особо тяжелый – ВТ

По степени ответственности производственные здания и сооружения классифицируются:

КЛАСС I	Основные здания и сооружения объектов, имеющих особое важное значение, народнохозяйственное или социальное: главные корпуса атомных электростанций, тепловых электростанций, центральные узлы доменных печей, дымовые трубы высотой более 200 м, телевизионные башни, резервуары для нефти и нефтепродуктов вместимостью более 10 тыс.м ³ , крытые спортивные сооружения с трибунами, здания театров, кинотеатров, цирков, крытых рынков, учебных заведений, детских дошкольных учреждений, больниц, государственных архивов и т.д.
КЛАСС II	Здания и сооружения объектов, имеющих важное народнохозяйственное или социальное значение (объекты промышленного, сельскохозяйственного, жилищно-гражданского назначения и т.д.).
КЛАСС III	Здания и сооружения объектов, имеющих ограниченное народнохозяйственное и социальное значение: склады, одноэтажные жилые дома, опоры связи, временные здания и сооружения.

Проектный срок эксплуатации зданий и сооружений: I класса – 80 лет, II класса – 50-60 лет, III класса – 30-60 лет.

Интенсивное развитие повреждений в конструкциях, как показали исследования, развиваются в сроки, составляющие величину 0,6 от отраслевого срока эксплуатации. До этого времени конструкции обязательно должны быть подвергнуты обследованию для установления их технического состояния и иметь рекомендации по их дальнейшей эксплуатации.

Предельные состояния первой и второй групп строительных конструкций определяются в соответствии с ГОСТ 27751-88.

В отличие от случая проектирования новых конструкций, когда их надежность подтверждается только путем расчета, для характеристики уже существующих конструкций могут применяться методы, основанные на:

- анализе опыта эксплуатации;
- использовании методов проверочного расчета;
- проверке пробной нагрузкой.

В настоящее время отмечается рост аварий, связанных с факторами коррозионно-механического разрушения и старения материалов несущих строительных конструкций. Определение влияния процессов старения и износа на возможность аварийного разрушения конструкций – главная проблема безопасности эксплуатации конструкций, неразрывно связанная с совершенствованием ведомственных норм, регламентирующих правила эксплуатации конструкций.

В соответствии с международными стандартами качества экспертное диагностирование включает качественный анализ видов отказов и

количественную оценку критичности последствий, а также определение технического состояния объекта, выполняемое по истечению его расчетного срока службы, с целью установления возможных параметров и условий эксплуатации объекта.

В настоящее время повышение надежности и безопасности эксплуатации конструкции стало одной из первоочередных технических проблем. Решение этой проблемы лежит в плоскости усовершенствования методов мониторинга объектов, эксплуатирующихся за расчетным сроком службы. Система наблюдения за состоянием объекта (мониторинг) направлена на своевременное выявление в нем всех изменений, их оценки, предупреждение и устранение последствий негативных процессов. Важнейшим условием обеспечения надежности является трехуровневый мониторинг на всех стадиях «жизненного цикла» конструкций и сооружений (рис. 5.1).

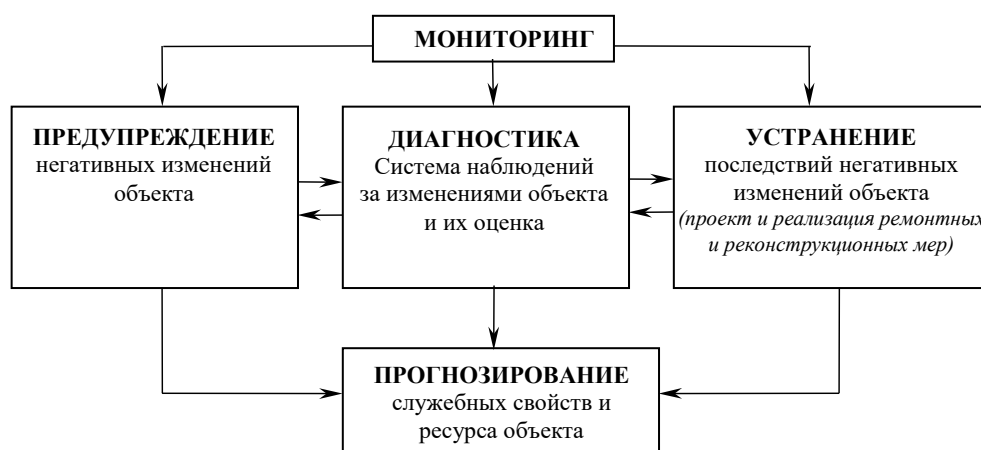


Рис. 5.1. Схематичное изображение системы наблюдений за состоянием объекта

Основой мониторинга является техническое диагностирование на стадиях эксплуатации, проектирования и изготовления объекта.

С целью повышения научно-методического уровня работ в области диагностики состояния конструкций и сооружений в 1993 году был создан Технический комитет № 78 «Техническая диагностика и неразрушающий контроль». Деятельность ТК № 78 под руководством академика НАН Украины Б.Е. Патона направлена на создание научно обоснованной нормативной базы, соответствующей уровню международных стандартов для проведения работ по контролю за состоянием конструкций и сооружений.

При рассмотрении проблемы обеспечения безопасной эксплуатации конструкций большое внимание уделяется созданию аппаратного и программного обеспечения, основанного на методе акустико-эмиссионного контроля, что позволяет выполнять 100% диагностирование

крупногабаритных объектов в процессе эксплуатации без их разборки и предварительной подготовки.

Вопросы, связанные с оценкой влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на несущую способность сооружений промышленного назначения являются наиболее существенными при оценке ресурса работы конструкций. Сформулированы подходы, позволяющие выполнять учет наличия дефектов и повреждений, физического износа конструкции и регламентирующие требования к ремонтпригодности и послеремонтной прочности. При этом определены условия, позволяющие обеспечить повышение степени адекватности результатов расчета к действительной работе рассматриваемых объектов:

- в физических зависимостях учитываются все известные особенности деформирования, существенные с точки зрения работы;
- выполняется линеаризация полученных при этом математических моделей деформирования с использованием итерационного процесса, сходящегося к решению данной задачи;
- производится анализ и проверка адекватности математической модели с использованием известного математического аппарата и программного обеспечения.

Деградационные процессы, вызывающие снижение несущей способности стальных конструкций включают:

- изменение прочностных характеристик стали, усталостный и коррозионный износ;
- накопление повреждений элементов конструкций.

От конструктивного решения отдельных элементов и узлов и сооружения в целом напрямую зависят характеристики ремонтпригодности, в том числе способность конструктивной формы удерживать влагу, пыль и грязь, что способствует ускорению коррозионных процессов.

К настоящему времени накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал, являющийся основой для прогнозирования коррозионных явлений. Состав и структура прогнозных математических моделей, предложенных различными исследователями, имеют существенные отличия и зависят от методов изучения коррозионных процессов.

Принципы моделирования факторов взаимодействия подсистем «Нагрузка – Конструкция – Среда» (Н–К–С) при решении диагностических задач коррозионного разрушения конструктивной формы использованы для разработки теоретической основы инженерных расчетов на коррозионную стойкость и долговечность (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Факторы, влияющие на коррозионное разрушение под напряжением

В соответствии с требованиями оценки ресурса работы объектов различного назначения показатели долговечности первичной и вторичной противокоррозионной защиты допускается устанавливать в зависимости от предельного срока службы конструкций. При этом используются заданные характеристики коэффициента надежности противокоррозионной защиты γ_{zk} по показателю коррозионной стойкости (первичная защита) и коэффициенту надежности противокоррозионной защиты γ_{zn} по гарантированной долговечности (вторичная защита). Расчет на коррозионную стойкость с учетом мер первичной защиты производится по первой и второй группам предельных состояний, связанных с потерей несущей способности и ограничением чрезмерных деформаций. Возможные отклонения геометрических характеристик сечения и свойств материала в неблагоприятную сторону от их проектных значений, установленных способами и методами первичной и вторичной защиты, при нарушении условий нормальной эксплуатации учитываются коэффициентами надежности противокоррозионной защиты γ_{zf} . Расчет показателей долговечности связан с ограничениями состояния вторичной защиты, затрудняющими нормальную эксплуатацию в агрессивных средах.

Совершенствование методов экспертного диагностирования металлических конструкций, эксплуатирующихся за нормативным сроком службы рассматривается взаимосвязано с разработкой системы мониторинга технического состояния в коррозионных средах при продлении остаточного ресурса (рис. 5.3).

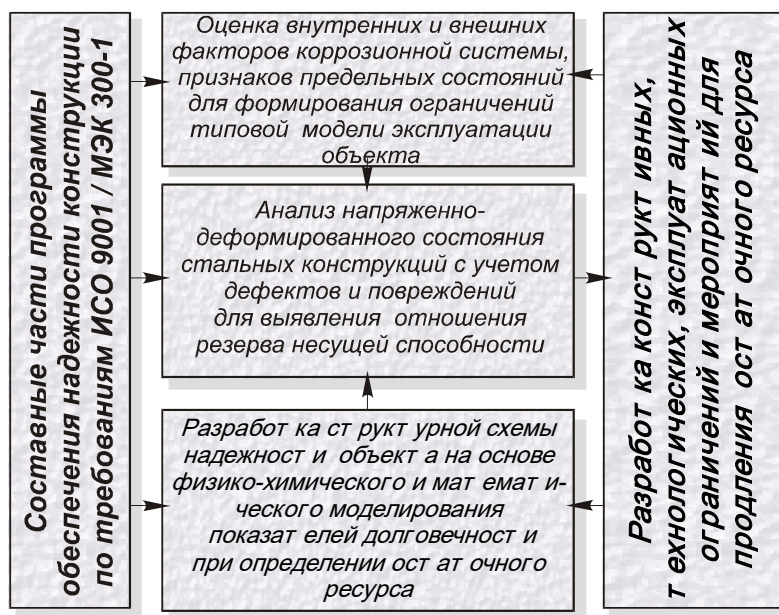


Рис. 5.3. Экспертно-техническое диагностирование состояния конструкций в коррозионных средах при продлении остаточного ресурса

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований, связанных с методами диагностики коррозионного разрушения стальных конструкций позволят заключить:

- современные методы визуальной оценки и инструментального контроля позволяют однозначно определять степень интенсивности и расположение коррозионных повреждений;
- с помощью разработанных численных методов расчета возможно производить оценку напряженно-деформированного состояния строительных конструкций с учетом характера коррозионного разрушения;
- использование методики частных коэффициентов обеспечивает условия для формулировки задачи оценки остаточного ресурса конструкции в агрессивных средах.

Обеспечение надежности, в соответствие с международными требованиями Директивы 89/106/ЕЕС, стандарта ISO 2001/МЕК 300-1, осуществляется путем структуры показателей, которые устанавливают гарантированные доверительные границы конструктивных рисков.

Задачами выполнения работ по разработке программы обеспечения надежности конструкционных систем являются:

- анализ проблем безопасной эксплуатации промышленных объектов для научного и методологического сопровождения программ и мероприятий, направленных на оценку технического состояния, остаточного ресурса и обоснования продолжения срока безопасной эксплуатации объектов повышенной опасности;

- формирование структуры и элементов программы на основе анализа требований по надежности, выбора стратегии нормирования и планированных экспериментальных работ;

- разработка математических моделей для нормирования требований к оценке показателей надежности при проектировании, изготовлении, эксплуатации и реконструкции конструкционных систем на основе расчетных ситуаций;

- определение номенклатуры и значений показателей надежности с учетом возможных видов предельных состояний (отказов), которые лимитируют надежность конструкционных систем;

- задание допусков на конструктивные, технологические и эксплуатационные ограничения относительно обеспечения расчетного срока службы при обслуживании по фактическому состоянию конструкций;

- разработка методики функционально-стоимостного обоснования конструктивных рисков при эксплуатации и выполнении ремонтно-восстановительных работ.

Увеличение объемов работ по обследованию, оценке технического состояния, усилению конструкций зданий и сооружений является следствием отсутствия регламентированных требований по поддержанию показателей качества и долговечности основных фондов в процессе функционирования зданий и сооружений. Действующие нормативные документы не отображают требований организации обслуживания и, с учетом высокого уровня износа строительной части основных фондов, препятствуют эффективной работе эксплуатационного персонала по предотвращению деградиационных процессов на основе технологий обслуживания по фактическому состоянию.

Для выявления причин снижения эксплуатационной несущей способности конструкций предложена методика аудита технического состояния конструкций и сделана оценка весомости различных факторов с помощью построения диаграммы Парето (рис. 5.4).

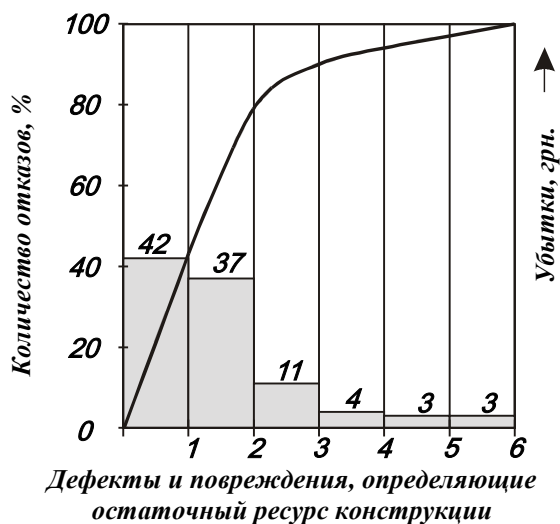


Рис. 5.4. Диаграмма Парето:

1 – коррозионно-механические повреждения; 2 – повреждения, обусловленные режимом эксплуатации; 3 – дефекты изготовления; 4 – ошибки при эксплуатации; 5 – дефекты металлопроката; 6 – другие

Соответственно разработанному подходу при оценке фактического состояния конструкций показатель качества эксплуатации в агрессивных средах F_e определяется по методу Г. Тагути (рис. 5.5).

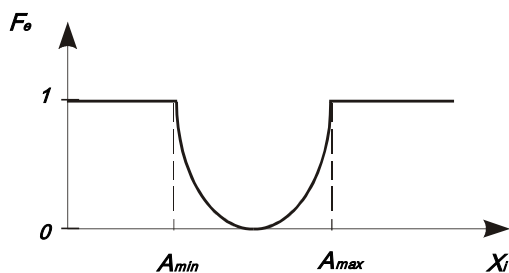


Рис. 5.5. Изменение предельных припусков при оценке показателя качества эксплуатации

Показатель качества F_e , введенный как комплексная характеристика, учитывающая состояние первичной и вторичной противокоррозионной защиты в задачах выявления резерва несущей способности и остаточного ресурса:

$$F_e = \left(\frac{\tilde{A}}{\gamma_{zf}} - \frac{\tilde{A}/\gamma_{zk} + 1/\tilde{A}}{2} \right)^2, \quad (5.1)$$

где Γ – отношения резерва надежности; γ_{zk} – коэффициент надежности противокоррозионной защиты, которая устанавливается при обосновании методов первичной защиты; γ_{zf} – коэффициент надежности

противокоррозионной защиты по данным контроля коррозионного состояния в период эксплуатации.

При этом определены предельные параметры $A_{\min}=1/\Gamma$ и $A_{\max}=\Gamma/\gamma_{zk}$ полей допуска, которые устанавливают допустимые границы изменения показателей качества эксплуатации.

По данным результатов экспертного диагностирования характеристик коррозионно-механических разрушений выполняется расчет напряженно-деформированного состояния и определения сроков службы конструктивных элементов с учетом интенсивности воздействия технологических сред.

Исследования по оценке влияния коррозионных повреждений на изменение резерва надежности листовых конструкций производились на основе методов физико-химического и математического моделирования факторов системы «Н–К–С». Конечно-элементное моделирование выполнено с использованием интегрированного расчетного комплекса для анализа конструкций Structure CAD 7.29.

Поля главных эквивалентных напряжений (т/м^2) при расчетной ситуации, соответствующей третьей ступени нагружения при гидравлических испытаниях (давление – 1 МПа) для первого этапа испытаний (без повреждений) представлены на рис. 5.6 – модель с $H/D \approx 1$, рис. 5.7 – модель $H/D \gg 1$.

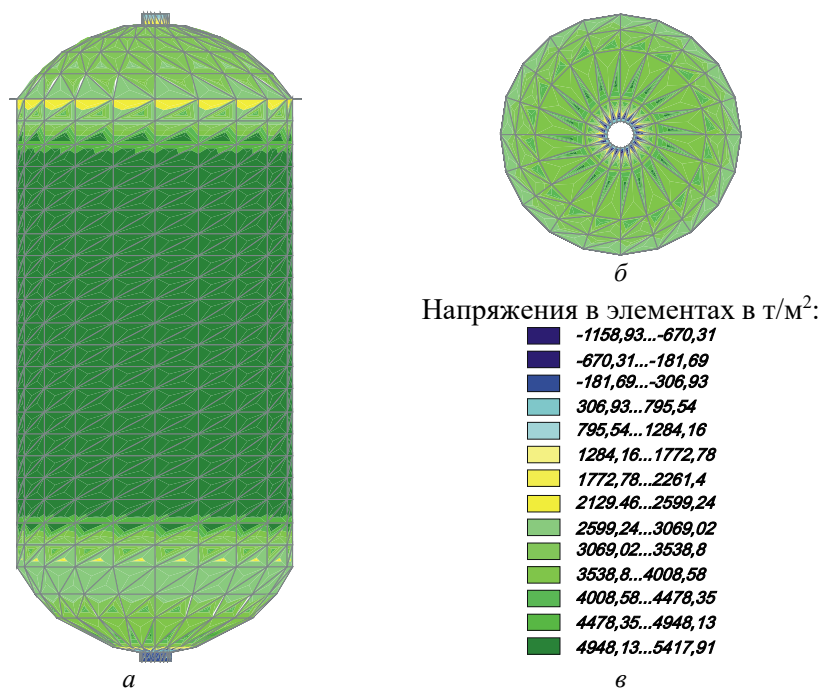


Рис. 5.6. Конечно-элементная модель листовой конструкции с $H/D \approx 1$ без дефектов и повреждений: *а* – оболочка модели; *б* – верхнее днище; *в* – напряжения в элементах модели

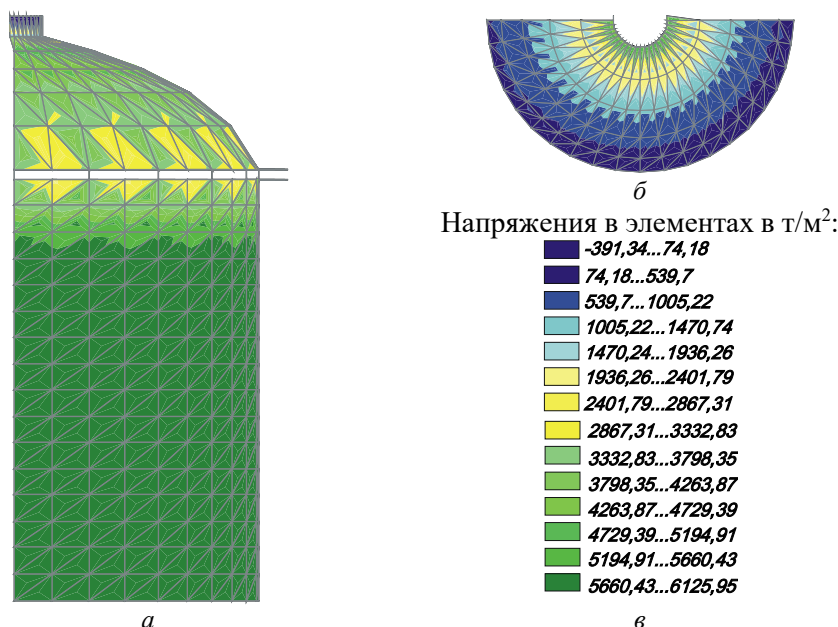


Рис. 5.7. Конечно-элементная модель листовой конструкции с $H/D \gg 1$ без дефектов и повреждений: *а* – оболочка модели; *б* – нижнее днище; *в* – напряжения в элементах модели

Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния тонкостенной оболочки выполнена программным комплексом SCAD 7.29 с учетом необходимости описания однородного конструктивного элемента.

Расчет однородного конструктивного элемента при наличии повреждений производится путем выделения фрагмента, включающего коррозионно-механическое разрушение, влияющее на изменение параметров напряженно-деформированного состояния.

Для расчета по второму этапу испытаний выделим из конструкции фрагмент. Расчет фрагмента выполнялся для модели в виде задачи теории упругости на действие реакций от отброшенной части пластины. Эти реакции, приложенные к контуру фрагмента, образуют равновесную систему сил. При расчете на фрагмент накладывались связи, препятствовавшие его перемещениям как твердого тела, но не вносившие статическую неопределенность в опирание. Реакции в этих связях практически равнялись нулю, что служило проверкой точности задания нагрузок, действующих на фрагмент.

Проверка напряженно-деформированного состояния при наличии коррозионных повреждений может производиться с использованием возможности программного комплекса Structure CAD, позволяющего устанавливать предельный срок без аварийной эксплуатации конструкции с учетом равномерной коррозии.

Для определения оптимальной периодичности диагностирования выбирается один из следующих критериев: минимум удельных издержек, связанный с эксплуатацией конструкции; максимальный период эксплуатации конструкции; минимум удельных затрат при обеспечении безотказной работы конструкции.

На основании разработанной методики аудита коррозионного состояния строительных металлоконструкций определена периодичность диагностирования конструкций, которая в зависимости от категории конструкции и коэффициента надежности, который определяет предельный уровень коррозионных потерь при установленном остаточном ресурсе.

Результаты расчетной оценки периодичности диагностирования представлены в табл. 5.2, 5.3.

Критерии определения периодичности диагностирования

Таблица 5.2

Признаки классификации	Место цифры при кодировке расчетной ситуации	Обозначение признака кода
Система оценки признака предельного состояния (ППС)	X00	1 – учет ППС и длительности устранения ППС; 2 – учет ППС независимо от длительности устранения ППС 3 – учет функционального несоответствия в заданном объеме
Экономическая оценка последствий предельных состояний	0X0	1 – возможна 2 – невозможна
Тип временного режима эксплуатации объекта	00X	1 – непрерывный 2 – прерывистый

Рекомендуемая периодичность диагностирования

Таблица 5.3

Кодировка	γ_{zp}	Степень агрессивности воздействий				
		2 ¹	3	4	5	6
1.1.1	< 0,15	2	2	1	1	1
	≥ 0,15	4	4	2	2	2
1.1.2	< 0,15	4	4	2	2	2
	≥ 0,15	4	4	2	2	2

Примечание: 2 – слабоагрессивная среда; 3 – низкоагрессивная среда; 4 – среднеагрессивная среда; 5 – высокоагрессивная среда; 6 – сильноагрессивная среда

Прогнозируемый срок эксплуатации конструкций принимается по одному из следующих вариантов:

- до истечения установленного нормативного срока функционирования здания или сооружения;
- до ближайшего планируемого капитального ремонта;
- до установленного в процессе оценки срока, по истечении которого конструкция вновь подлежит оценке с целью проверки возможности продлить допускаемый срок эксплуатации.

Во всех случаях оценка технического состояния осуществляется на основании результатов текущих и периодических осмотров или специального обследования, во время которого собираются данные о фактическом износе конструкций, уточняются сведения о действующих и прогнозируемых нагрузках, проводятся необходимые исследования свойств материалов, собирается сохранившаяся техническая документация, проводятся необходимые расчеты и т.д.

5.2. Повышение надежности и долговечности подкрановых конструкций

Подкрановые конструкции являются наиболее повреждаемыми элементами каркаса промышленного здания. Натурные исследования подкрановых балок в условиях тяжелого и весьма тяжелого режимов работы кранов выявили многочисленные трещины околошовной зоны стенки, появляющиеся уже в начальный период эксплуатации и к 5 годам выводящие подкрановые балки из строя. Такое положение является следствием особенности работы подкрановых конструкций в условиях подвижного характера загрузки и значительных сосредоточенных сил, а также определяется техническим состоянием конструкций (отклонения крановых путей в горизонтальной и вертикальной плоскостях) и ходовой части мостовых кранов (горизонтальный и вертикальный углы перекося колеса и т.п.).

С другой стороны очевидно несовершенство конструктивной формы подкрановых балок и методов расчета, не в полной мере отражающих действительную работу конструкций с учетом эксплуатационного состояния, как самих конструкций, так и мостовых кранов.

Следует отметить, что в процессе эксплуатации возникает необходимость в перерасчете конструкций, с уточнением конструктивной схемы, параметров сечения, характеристик материалов и эксплуатационных нагрузок. Существующие методы расчета ориентированы на вновь проектируемые конструкции, при этом вероятные отклонения от

нормативных величин учитываются с помощью соответствующих коэффициентов. Подобный подход к конструкциям, находящимся в конкретных условиях эксплуатации, не позволяет определять действительное напряженное состояние и работу балок. Необходима разработка методов расчета, учитывающих технологию производства и условия эксплуатации.

В настоящее время, накоплена значительная информация о дефектах и повреждениях подкрановых конструкций, находящихся в различных условиях эксплуатации (рис. 5.8). Обобщение и систематизация результатов натурных обследований позволили выявить основные повреждения – трещины в верхней околошовной зоне и в стенке подкрановой балки. Трещины появляются также в зоне крепления ребер жесткости, которые с течением времени распространяются по верхней зоне стенки. Как правило, трещины проявляют тенденции к росту со скоростями, представленными в табл. 5.4.

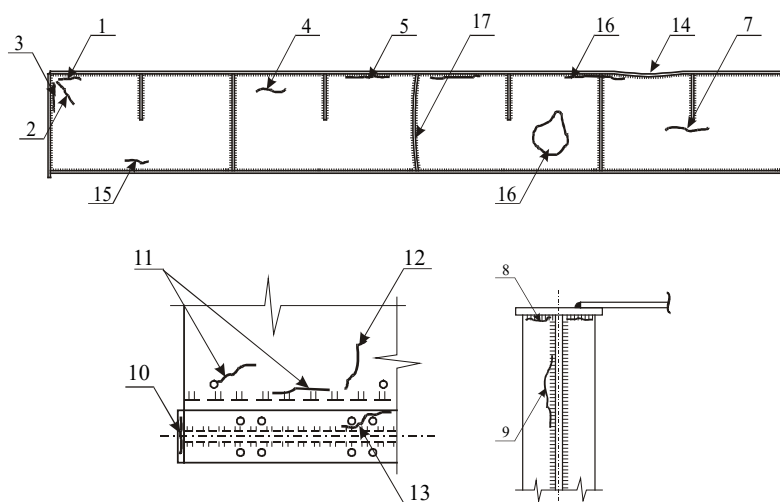


Рис. 5.8. Виды повреждений сварных подкрановых конструкций:

- 1, 2 – горизонтальные и наклонные трещины в швах и околошовной зоне опорной панели;
- 3, 10 – вертикальные и горизонтальные трещины в швах крепления опорного ребра;
- 4, 5 – горизонтальные трещины в поясных швах и околошовной зоне рядовой панели;
- 6 – то же, в зоне у ребер жесткости;
- 7 – трещины в стенке под короткими ребрами;
- 8, 9 – трещины в швах крепления ребер жесткости;
- 11 – трещины в швах крепления тормозных конструкций у вырезов;
- 12 – трещины в тормозном настиле у ребер;
- 13 – трещины в верхнем поясе;
- 14 – местный погиб верхнего пояса;
- 15 – трещины в нижней части;
- 16 – выпучивание стенки;
- 17 – общая погибь ребра жесткости

Усредненная скорость распространения трещин

Таблица 5.4

Длина трещины в мм	Средняя скорость распространения мм/мес
до 500	10
500–1000	25
1000–1500	40

Трещины в сварных швах и околошовной зоне возникают значительно раньше, чем усталостные повреждения других типов. В результате ветвления эти трещины переходят на стенку, при этом самостоятельно трещины в стенке не возникают. Основными причинами данных повреждений являются воздействие крутящего момента и концентрация напряжений.

При длительной эксплуатации происходит смещение подкранового рельса с оси. В результате вертикальные нагрузки от мостовых кранов становятся внецентренными и возникает местный крутящий момент. Превышение эксцентриситета нормативных значений приводит к увеличению крутящего момента M_t и искажению поперечного сечения подкрановой балки.

Остаточный и упругий прогибы в горизонтальной плоскости возникают вследствие перегруза верхнего пояса горизонтальными боковыми силами. При недостаточном раскреплении верхнего пояса (повреждение креплений тормозной конструкции или их отсутствии) происходит потеря общей устойчивости подкрановой балки.

Существующие нормы расчета подкрановых балок не в полной мере учитывают сложное напряженное состояние верхней зоны стенки при воздействии местных крутящих моментов. При проектировании не учитывается работа поперечных ребер жесткости, а их размеры и расстановка определяются конструктивными соображениями и гибкостью стенки.

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры проведены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния стенки на разработанной универсальной мультипараметрической информационно-измерительной системе УСМК-1, на действие статических и кинематических нагрузок в натурных условиях.

При проведении исследований технические параметры УСМК-1 позволили:

- вести непрерывную синхронную по времени запись контролируемых параметров (нагрузок и напряженного состояния подкрановых балок) независимо от места их расположения в процессе движения мостового крана;
- выполнить измерения напряжений в отдельных элементах конструкции (от -350 МПа до $+350$ МПа), перемещений мостового крана по длине подкрановой балки и деформаций отдельных элементов;

- фиксировать напряжения в панелях подкрановой балки и величины крановых воздействий синхронизировано с положением колес мостового крана;

- обеспечить требуемую точность измерения (не более 4%);
- вводить в IBM-подобные компьютеры реализации выходных сигналов в заданном диапазоне изменения и с заданной по условиям экспериментальных исследований длительностью, с последующей обработкой на ЭВМ.

Экспериментально в верхней зоне стенок балок зафиксированы растягивающие напряжения величиной до 40% от абсолютного значения суммарных напряжений $\sum \sigma_y$ в верхней околошовной зоне. Растягивающие напряжения появляются при отклонениях кранового рельса от нормативного положения и углах атаки колеса крана более 0,0004 рад. Выявлено, что растягивающие напряжения от кручения в сумме с остаточными сварочными напряжениями $\sigma_{ост,sv}$ могут значительно превышать расчетное сопротивление стали и являются причиной появления продольных трещин в околошовной зоне стенки подкрановой балки.

Полученные экспериментальные данные и в особенности, зафиксированные растягивающие напряжения в сжатой от поперечного изгиба зоне стенки, расходятся с принятой методикой расчета подкрановых балок. Кроме того, указанная методика не учитывает процессы движения мостовых кранов, в ходе которых верхняя зона стенки претерпевает значительные изменения напряженно-деформированного состояния, не связанного напрямую с напряжениями поперечного изгиба.

Нагрузки, действующие на подкрановую балку, вызывают сложное напряженное состояние, которое раскладывается на: изгибное и изгибно-крутильное. Изгибное состояние характеризуется законом плоских сечений. При изгибно-крутильном состоянии отдельные элементы балки одновременно испытывают изгиб и кручение. При кручении, вследствие неодинаковой деформации поперечных сечений, продольные волокна изменяют свою длину. Подкрановая балка изгибается в двух плоскостях и в сечениях, перпендикулярных к оси балки, возникают касательные, нормальные растягивающие и сжимающие напряжения. Учитывая происходящие деформации при кручении поперечных сечений подкрановой балки, при определении напряженного состояния предложено использовать теорию стесненного кручения тонкостенных стержней. Данная теория позволит оценить уровень компонентов напряжений и найти функции углов закручивания при стесненном кручении путем решения дифференциальных уравнений стесненного кручения методом начальных параметров.

В качестве расчетной схемы принята схема, представленная на рис. 5.9.

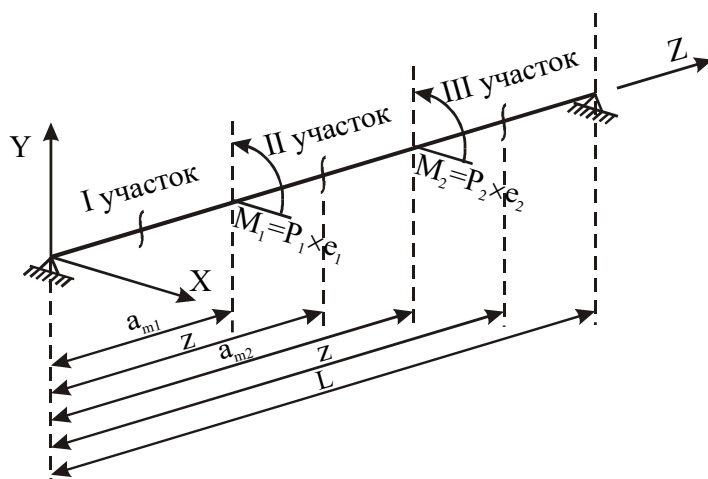


Рис. 5.9. Схема к расчету балки с учетом теории стесненного кручения:

L – пролет подкрановой балки; z – расстояние до рассматриваемого сечения;

M_1, M_2 – местные крутящие моменты от первого и второго колеса мостового крана соответственно; a_{m1}, a_{m2} – расстояния до крутящих моментов M_1 и M_2 соответственно

В общем виде поставленная задача решается с помощью неоднородного дифференциального уравнения четвертого порядка с постоянными коэффициентами:

$$\Theta^{IV} - k^2 \Theta'' = -\frac{m}{EI_w}, \quad (5.2)$$

где Θ – угол поворота; $k = \sqrt{\frac{GI_\alpha}{EI_w}}$ – изгибно-крутильная характеристика; I_w

– секториальный момент инерции; I_α – момент инерции сечения при кручении; $m = \frac{dl}{dz}$ – интенсивность крутящих моментов.

Для моделирования внешних силовых факторов, действующих на подкрановую балку при перемещении мостового крана, разработана программа расчета параметров напряженно-деформированного состояния.

Анализ полученных результатов выявил, что максимальные изгибающие моменты по длине балки находятся в области, удаленной на расстояние $\left(\frac{1}{8}\right) \times L$ от центра подкрановой балки. Точки перегиба

огibaющей максимальных поперечных сил по длине балки находится на участке, удаленном от середины подкрановой балки на расстоянии $\left(\frac{1}{9} \div \frac{1}{10}\right) \times L$. Установлено, что компоненты стесненного кручения: изгибно-крутящие моменты и секториальные касательные напряжения меняют свое

направление в зависимости от положения колеса по длине балки, величина которых составляет:

- для опорного отсека 13–14%;
- для рядового отсека 35–40%;
- для центрального отсека 95–97%

от величины моментов и касательных напряжений другого направления соответственно. Моменты и касательные напряжения чистого кручения в процессе движения крана изменяют свое направление на противоположное только в центральном отсеке. При этом значения разнонаправленных M_{kr} и τ_{kr} одинаковы и достигают своей максимальной величины.

Предложенная методика является дальнейшим уточнением методов расчета, используемых в СНиП II-23-81*, но применима для проектирования новых балок при соблюдении нормативных отклонений смещения рельсов до 15 мм и углов перекоса крановых колес до 0,004 рад.

По уточненной модели расчета верхняя зона стенки подкрановой балки рассматривается как стенка – балка, жестко заземленная по линии сопряжения с верхним поясом и ребрами жесткости, и нагруженная по верхнему контуру (рис. 5.10).

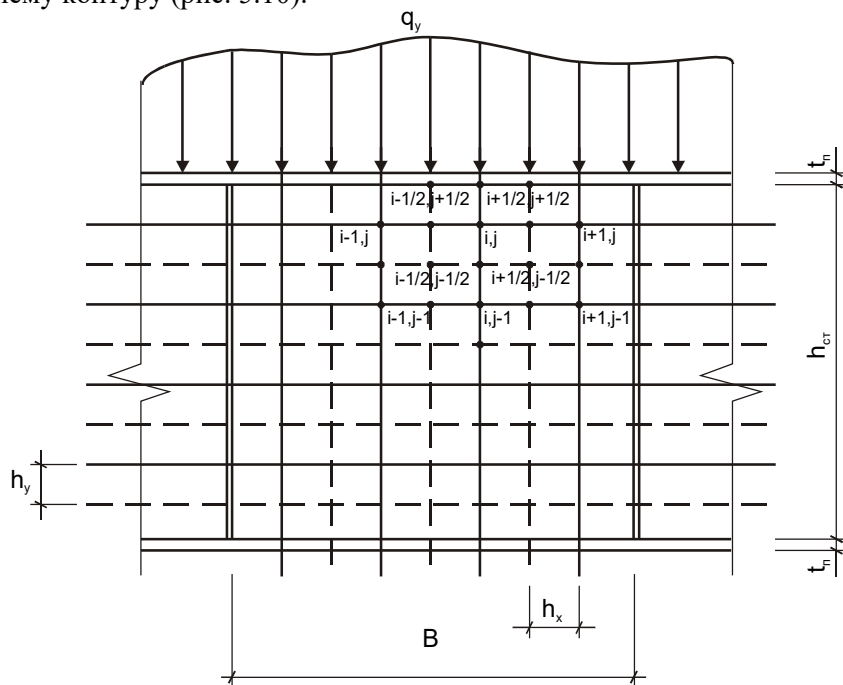


Рис. 5.10. К расчету стенки-балки

В предложенной расчетной схеме использовано традиционное конструктивное решение поперечного ребра жесткости. При нахождении общего решения считается, что ребра жесткости перекрывают всю высоту стенки подкрановой балки. В расчете используется вся геометрия балки и все

поперечные ребра жесткости, установленные по длине. Данная модель позволяет учитывать смещение кранового рельса более 15 мм и углов атаки колес мостового крана более 0,0004 рад.

В качестве расчетных схем при анализе напряженного состояния балки от местного кручения приняты:

- нагрузка от мостового крана передается на крановый рельс, который работает как балка на упругом основании, основанием для которого служит верхний пояс;
- заданная нагрузка прикладывается к верхнему поясу подкрановой балки, заданному в виде пластины, жестко заземленной по линии сопряжения со стенкой и ребрами жесткости, а также к стенке, введенной в расчет как стенка-балка, заземленная по контуру.

Сопоставление уточненной модели с экспериментальными данными выявило вполне удовлетворительное совпадение.

Рассмотренный метод расчета позволяет определять напряженно-деформированное состояние верхней зоны, варьируя конструкцию и шаг поперечных ребер жесткости (рис. 5.11, 5.12).

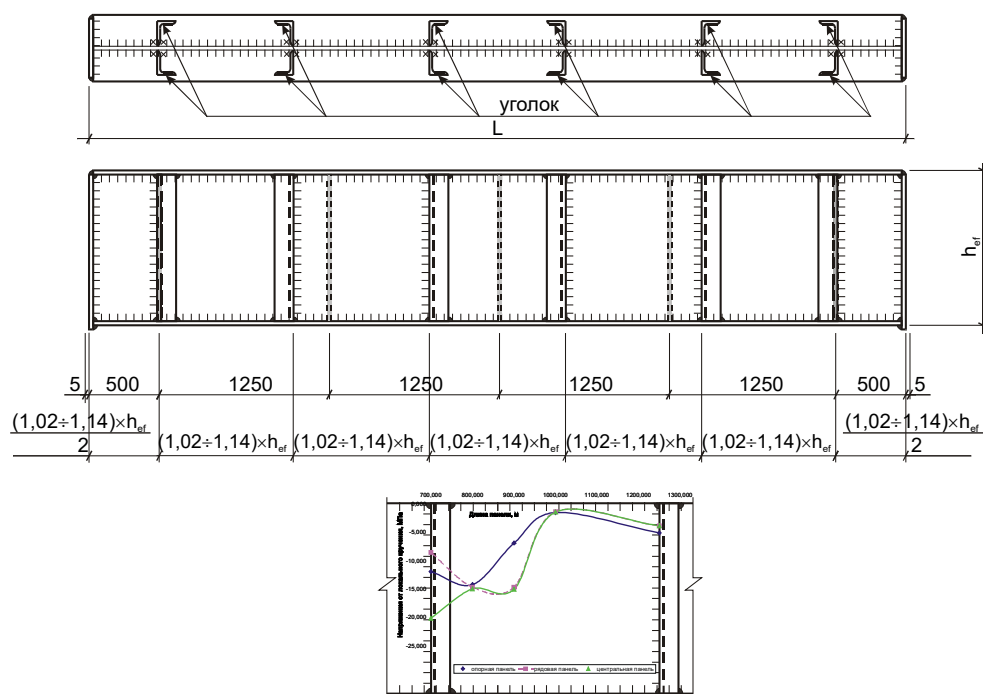


Рис. 5.11. Схема подкрановой балки с учетом расстановки поперечных ребер жесткости

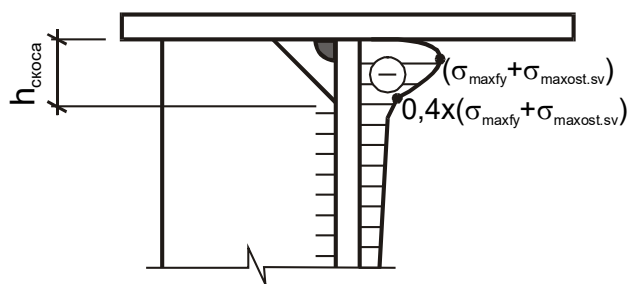


Рис. 5.12. Концентрация растягивающих напряжений σ_{fy} и остаточных сварочных

напряжений $\sigma_{ost.sv}$ в верхней околошовной зоне стенки подкрановой балки

Анализ расчетов изменения напряжений для различных размеров отсека показывает:

- на величину сжимающих напряжений в середине подкрановой панели шаг расстановки поперечных ребер жесткости практически не оказывает влияния;
- шаг расстановки поперечных ребер жесткости оказывает влияние на величину растягивающих напряжений от локального кручения, как в середине панели, так и в зоне ребер жесткости;
- частая расстановка ребер жесткости приводит к увеличению растягивающих напряжений в середине подкрановой панели и в зоне ребра жесткости.

Представляется возможным определить оптимальный шаг ребер жесткости исходя из минимизации растягивающих напряжений.

Исходными данными для расчета являются геометрические характеристики кранового рельса, толщина стенки балки, нормативные крановые нагрузки, пролет подкрановой балки и физико-механические свойства материала. Задача, заключается в определении оптимальной расстановки поперечных ребер жесткости по длине балки при изменяющемся напряженном состоянии стенки в процессе движения крана.

При определении расчетных крановых нагрузок, моделируется перемещение кранового моста по балке. При этом с заданным шагом в точках верхней зоны стенки вычисляются изгибающие моменты и поперечные силы.

Определено, что шаг расстановки поперечных ребер жесткости из условия напряженного состояния верхней зоны подкрановой балки составляет $1,02 \times h_{ef} \div 1,14 \times h_{ef}$.

Из условия напряженного состояния верхней зоны стенки сплошной подкрановой балки определено, что шаг расстановки поперечных ребер жесткости из условия напряженного состояния верхней зоны подкрановой балки составляет $1,02 \times h_{ef} \div 1,14 \times h_{ef}$.

Проведенные экспериментальные и теоретические исследования показывают, что традиционные методы проектирования подкрановых балок

не обеспечивают адекватной надежности и долговечности конструкций остальным несущим конструкциям каркаса промышленного здания. Проверки выносливости практически не работают, т.к. трещины образуются на ранних стадиях эксплуатации, задолго до накопления критического количества нагрузок.

В свете проведенных исследований зарождение трещин в верхней сжатой от поперечного изгиба зоне стенки балки представляется результатом силовых воздействий крутящих моментов, являющихся следствием эксплуатационного состояния подкрановых путей и ходовой части мостовых кранов, а также остаточных сварочных напряжений. После образования трещин, растягивающие напряжения в данном сечении снимаются, что объясняет наблюдаемую достаточно длительную эксплуатацию конструкций с трещинами.

Введение в расчет по разработанной методике возможных отклонений от нормального эксплуатационного процесса, подтвержденных многочисленными натурными обследованиями, учет сечений и расстановки поперечных ребер жесткости, позволит значительно повысить надежность вновь проектируемых и эксплуатируемых подкрановых конструкций.

5.3. Расчет остаточного ресурса конструкций с учетом коррозионных повреждений

Для большинства конструкционных материалов эффект взаимодействия их со средой проявляется не только в поверхностном разрушении материала, но и формировании такого состояния материала, которое определяет его дальнейшее поведение, в том числе и разрушение. Результатом специфического воздействия агрессивных сред является, как правило, ухудшение прочностных и деформационных характеристик металла.

Изменение механических свойств сталей за счет коррозии в значительной степени зависит от вида коррозионного разрушения. Местная коррозия (пятнами, язвами, точечная) значительно влияет на снижение пластичности стали (до 60%), в то время, как прочностные показатели уменьшаются в меньшей степени (до 5%). Главная опасность влияния напряженного состояния на характер коррозионного разрушения состоит не в увеличении общей коррозии, а в превращении ее из равномерной в локальную. Оказывая незначительное влияние на общую коррозию, напряжения интенсифицируют местные виды коррозии, из которых наиболее опасной формой, является коррозионное растрескивание.

Коэффициент надежности противокоррозионной защиты при оценке технического состояния учитывает качество эксплуатации, статистическую природу, характер и величину коррозионного разрушения поверхности металла при контакте с агрессивной средой.

В соответствии с порядком, определенным на рис. 5.13 расчетная оценка коэффициента надежности противокоррозионной защиты

выполняется на основе экспериментальных данных контроля параметров напряженно-деформированного состояния.

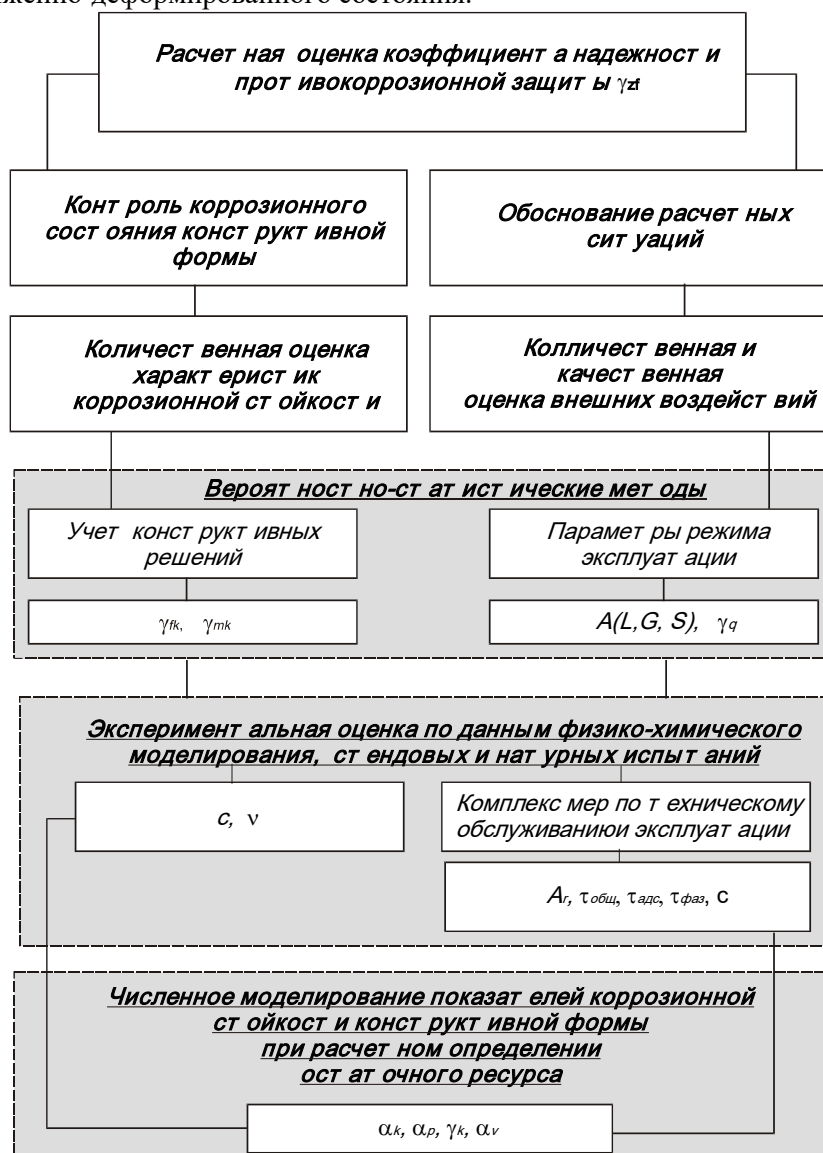


Рис. 5.13. Схема технического диагностирования коррозионного состояния при расчетной оценке коэффициента надежности: γ_{fk} – коэффициент надежности по воздействию коррозионных сред; γ_{mk} – коэффициент надежности по материалу; $A(L, G, S)$ – воздействия факторов агрессивности среды; γ_q – коэффициент продолжительности воздействий; c – коэффициент кинетики коррозионного износа; v – коэффициент питтингообразования; A_r – степень агрессивности среды; $\tau_{общ}$, $\tau_{адс}$, $\tau_{фаз}$ – продолжительности общего, адсорбционного и фазового увлажнения соответственно; c_x – концентрация коррозионно-активных агентов

Получение дополнительной, а также отсутствующей в технической документации информации об уровне номинальных и местных напряжений и деформаций, необходимой для установления механизмов повреждений для расчета остаточного ресурса, производится при выполнении экспериментальных исследований.

Оценка технического состояния выполняется на основе типовой модели режима эксплуатации, установленной при проектировании с учетом выявленных в процессе эксплуатации дефектов и повреждений. Типовая модель эксплуатации согласно содержит: характеристику принятой системы технического обслуживания и ремонта, уровни внешних воздействующих факторов и нагрузок.

Особенностью расчета за расчетным сроком службы конструкции является корректировка исходных данных типовой модели режима эксплуатации с учетом допускаемых конструктивных, технологических и эксплуатационных ограничений для продления остаточного ресурса.

Определение остаточного ресурса осуществляется согласно установленным закономерностям изменения определяющих параметров, полученным при анализе механизмов развития повреждений и по результатам измерения функциональных показателей. На основании полученных оценок принимается решение о дальнейшей эксплуатации объекта.

Основные этапы определения остаточного ресурса потенциально опасных объектов показаны на структурной схеме (рис. 5.14).

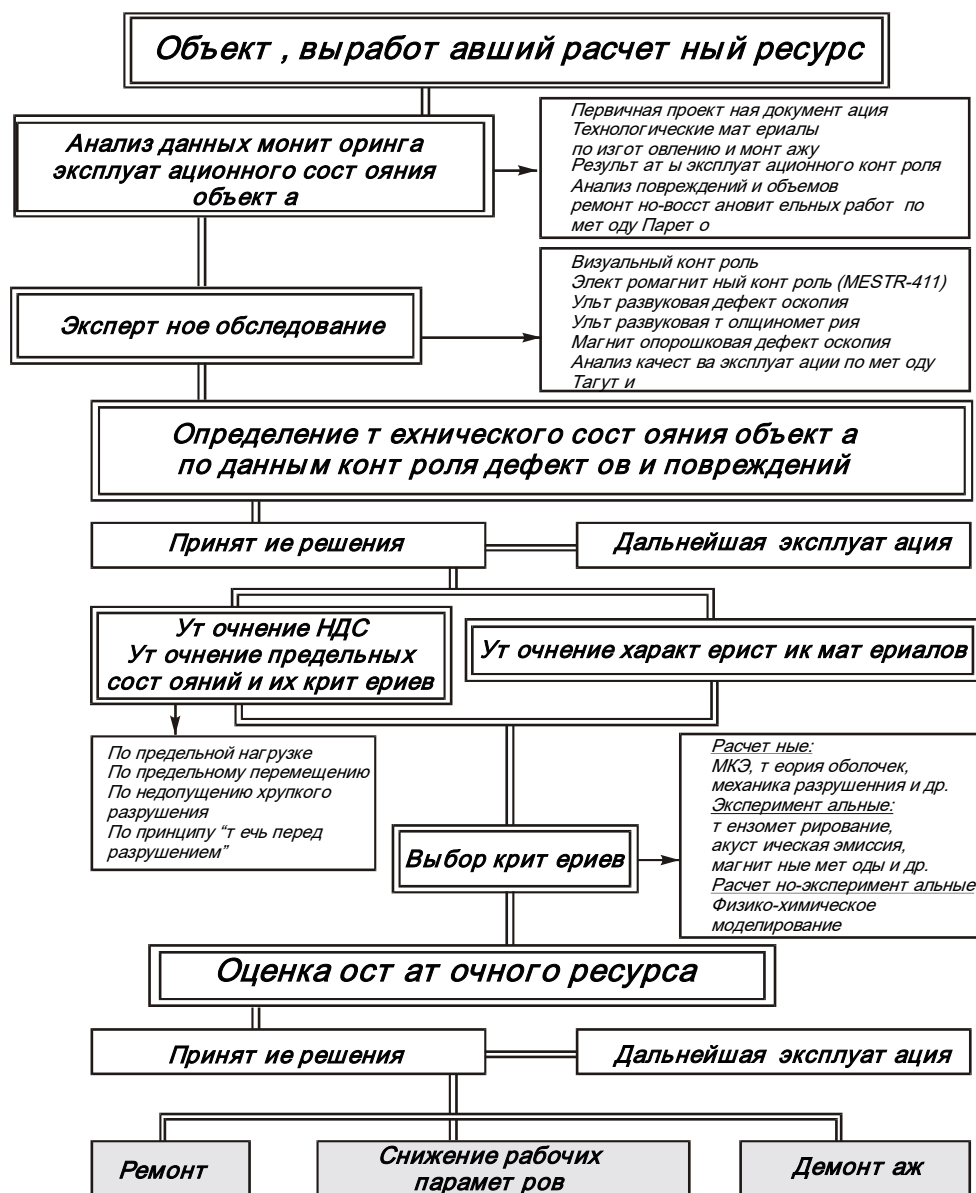


Рис. 5.14. Последовательность оценки остаточного ресурса при диагностировании и мониторинге коррозионно-механического разрушения

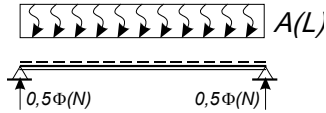
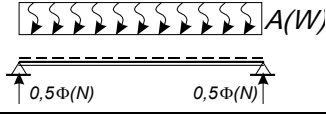
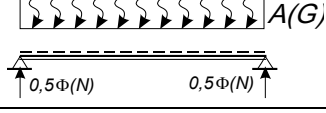
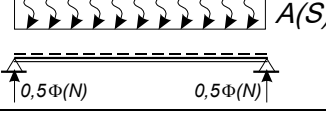
Представленная на рис. 5.14 последовательность обоснования продления остаточного ресурса включает использование вероятностно-физического метода анализа надежности, включающего количественную оценку показателей надежности на основе результатов экспертного диагностирования и результаты физико-химического и математического

моделирования коррозионного разрушения при ускоренных и стендовых испытаниях конструктивных элементов.

Нормативные и расчетные характеристики коррозионных воздействий уточняются по результатам зонирования эксплуатационных сред в соответствии с аналитическим описанием в табл. 5.5.

Расчетные модели определения нормативных значений коррозионной агрессивности газообразных, жидких и твердых сред

Таблица 5.5

Схема воздействий	Определение реакций $\Phi(N)$, г/м ²	Коэффициент продолжительности воздействий γ_q
 $A(L)$	$\Phi(N) = \gamma_{q1} \cdot A(L)$	$\gamma_{q1} = \tau(L)/\tau_0$
 $A(W)$	$\Phi(N) = (\tau_{q0} + \tau_{q2}) \cdot A(W)$	$\gamma_{q0} = \tau(W)/\tau_0$ $\gamma_{q2} = \tau(W > 70\%)/\tau_0$
 $A(G)$	$\Phi(N) = \gamma_{q3} \cdot A(G)$	$\gamma_{q3} = \tau(G)/\tau_0$
 $A(S)$	$\Phi(N) = \gamma_{q4} \cdot A(S)$	$\gamma_{q4} = \tau(S)/\tau_0$

Примечание: $\tau(L, S, G, W)$ – продолжительность воздействия жидких, твердых и газообразных сред или относительной влажности $W \geq 70\%$, час; τ_0 – среднее число часов в году.

Установленные математические выражения зависимости нормативного γ_{zn} и фактического γ_{zf} коэффициентов надежности позволяют, в пределах исходных данных расчетной ситуации, определять предельно допустимый срок службы T_{np} конструктивного элемента.

Под воздействием коррозионных сред расчетные характеристики материала конструкции изменяются, с течением времени может появиться наведенная неоднородность и анизотропия механических свойств материала. Изменение жесткостных и прочностных характеристик конструкций под влиянием коррозионного износа может привести к тому, что нагрузки, действующие на конструкцию, окажутся критическими и вызовут потерю устойчивости исходной формы равновесия конструкции. Поэтому учет параметров конструктивной формы и изменения расчетных свойств

материала конструкции имеет большое значение как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации строительных металлоконструкций.

Теоретические и экспериментальные исследования, связанные с разработкой аналитического описания коррозионного разрушения конструктивной формы и алгоритмизацией задачи нормирования коэффициента надежности противокоррозионной защиты, позволили разработать и реализовать алгоритмы расчета значений коэффициента γ_{zn} для различного состава исходных данных и расчетных ситуаций. Результатом работы алгоритма нормирования являются массивы значений коэффициента γ_{zn} для различной степени агрессивности среды и времени эксплуатации для заданного конструктивного элемента (рис. 5.15).

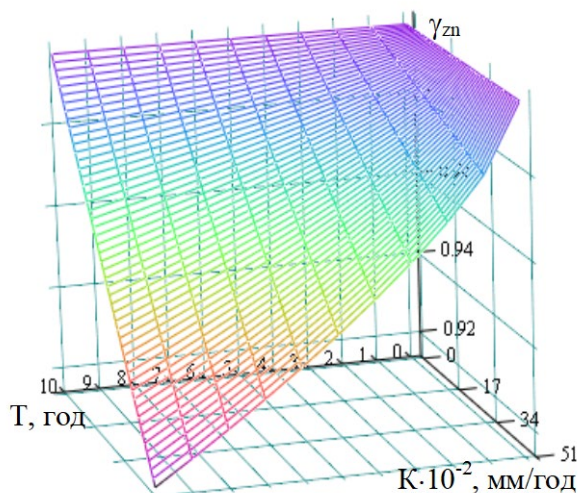


Рис. 5.15. Массив значений γ_{zn} в зависимости от степени агрессивности среды, срока службы и отношения резерва надежности Γ конструктивного элемента

Рассматривая изменение значений коэффициента γ_{zn} во времени, возможно анализировать динамику изменения уровня надежности конструкции, выявлять резервы несущей способности и назначать стратегию технического обслуживания стальных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах (рис. 5.16).

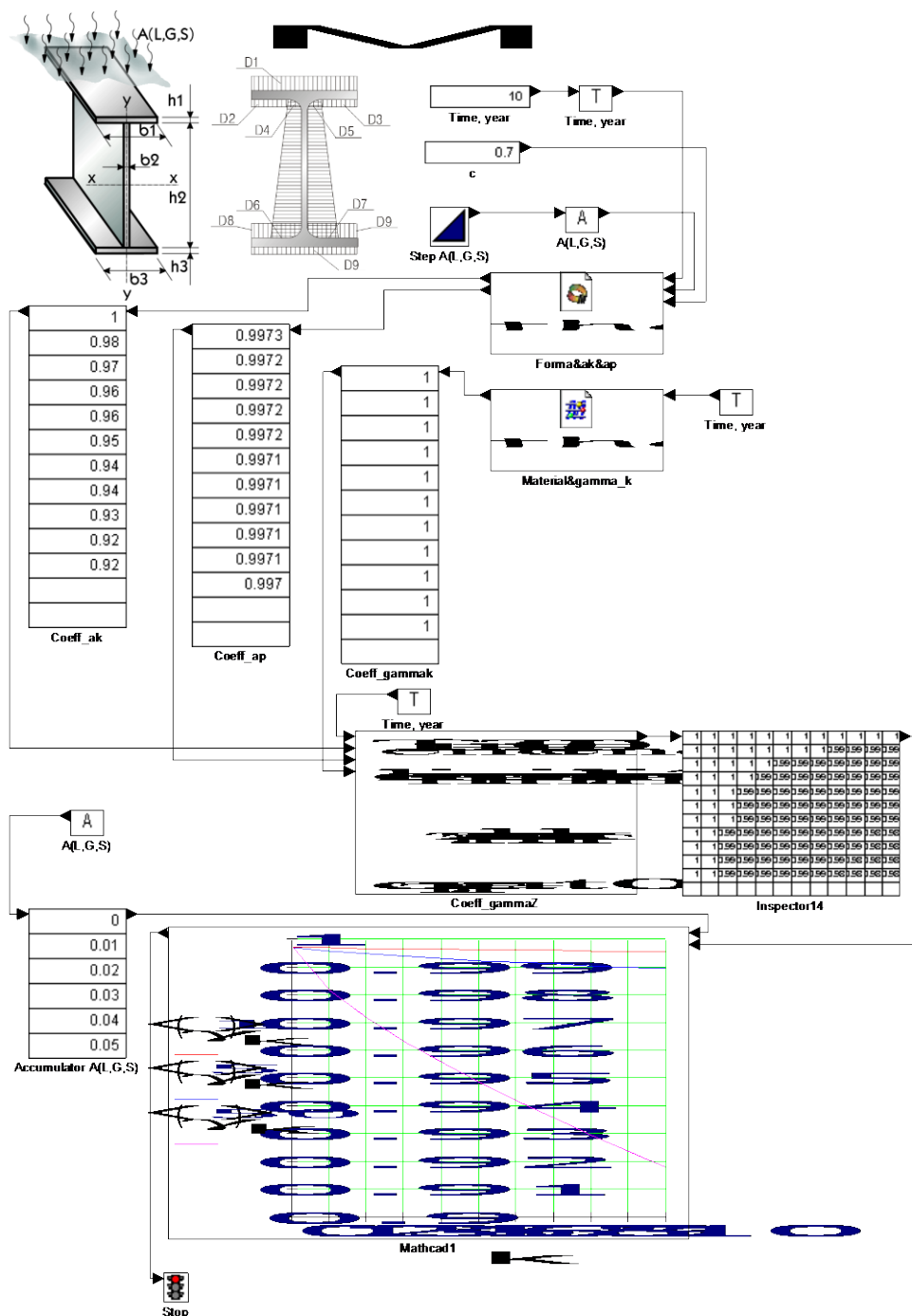


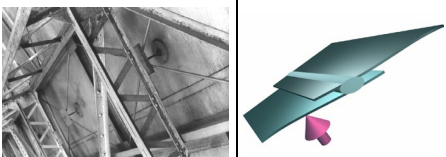
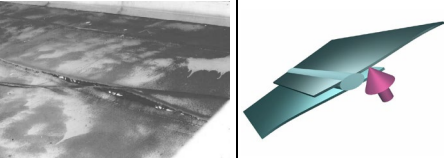
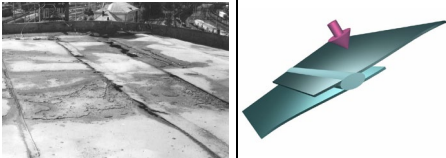
Рис. 5.16. Схема расчета коэффициента надежности противокоррозионной защиты γ_n в зависимости от различной агрессивности эксплуатационной среды и срока службы

Оценка НДС при действии коррозионных фиктивных нагрузок, дополнительных перемещений и усилий, вызываемых этими нагрузками, выполняется на основе математических моделей взаимодействия конструктивной формы и агрессивной среды. Представленная задача многомерного моделирования коэффициента γ_{zn} решается с использованием установленных расчетных моделей коррозионных элементов и расчетных ситуаций, включающих этапы жизненного цикла конструкций.

Практическим примером реализации установленного методического подхода являются расчетно-экспериментальные работы по экспертному диагностированию коррозионного состояния металлоконструкций дебаркадера железнодорожного вокзала станции Львов. Расчетные характеристики ресурса работы мембранных обшивок из стали 10 ХНДП для различных расчетных ситуаций представлены в табл. 5.6.

Результаты расчета на коррозионную стойкость и долговечность
однородных конструктивных элементов

Таблица 5.6

Схема однородного конструктивного элемента	№ однородной зоны	$A, \text{г/м}^2$ год	γ_{zn}	γ_{zf}	$T, \text{год}$
		Режим нормальной эксплуатации Нарушение режима нормальной эксплуатации			
1	2	3	4	5	6
	1	$\frac{492,42}{492,42}$	$\frac{0,80}{0,80}$	$\frac{0,95}{0,95}$	$\frac{4,0}{4,0}$
	2	$\frac{516,7}{516,7}$	$\frac{0,80}{0,80}$	$\frac{0,90}{0,90}$	$\frac{1,8}{1,8}$
	1	$\frac{547,22}{1231,3}$	$\frac{0,75}{0,75}$	$\frac{---}{0,50}$	$\frac{8,2}{6,7}$
	2	$\frac{570,87}{1284,5}$	$\frac{0,75}{0,75}$	$\frac{---}{0,00}$	$\frac{12,6}{7,6}$
	3	$\frac{560,98}{1262,2}$	$\frac{0,70}{0,70}$	$\frac{---}{0,00}$	

Экспериментальные данные оценки закономерностей коррозионно-механического разрушения для атмосферостойкой стали 10ХНДП использованы для выполнения расчетов ограждающих мембранных панелей покрытия на коррозионную стойкость и долговечность (см. табл. 3.5) с учетом различных расчетных ситуаций.

Установлено, что основной причиной снижения эксплуатационной несущей способности мембранных панелей (рис. 5.17) является коррозионное разрушение вдоль нахлесточных соединений, выполненных точечной сваркой и сплошным проплавным швом.

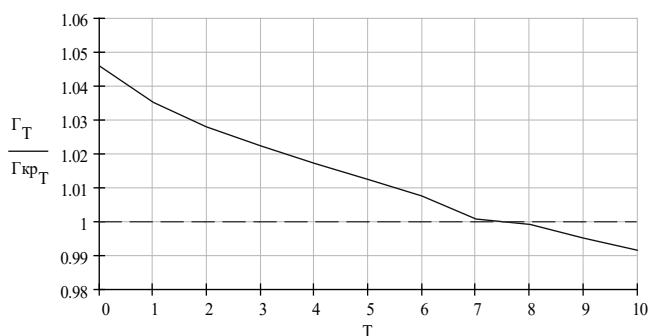


Рис. 5.17. Снижение резерва несущей способности ограждающих конструкций покрытия дебаркадера вокзала станции Львов

Характер разрушений имеет вид щелевой коррозии, проявляющийся неравномерно с различной степенью интенсивности. Установлены сквозные коррозионные поражения ленточного типа, располагающиеся, как правило, в пределах нахлестки мембранных обшивок.

Наибольшая степень развития коррозионных повреждений приходится на поверхности зоны 2 пролета «В–С», расположенные с северо-западной стороны. Это объясняется ориентацией сооружения дебаркадера относительно направления угла падения солнечных лучей, вызывающих неравномерное подогревание поверхности покрытия и образование конденсата на нижней или верхней поверхности в течение суток.

Анализ предварительных данных обследования позволил заключить, что развитие коррозионных процессов происходит в результате скопления влаги со стороны внутренней поверхности мембранных обшивок вдоль горизонтальных «карманов» нахлесточных соединений. При этом наиболее интенсивно данные процессы протекают на поверхностях переменного смачивания у верхней границы нахлестки.

Разработка мер противокоррозионной защиты мембранных панелей по проекту реконструкции выполнена в соответствии с нормами СНиП 2.03.11-85*. Снижение защитных свойств покрытий в период эксплуатации объясняется низким качеством защиты нахлесточных соединений, что также способствовало развитию коррозионных поражений.

По материалам обследования разработаны рекомендации по дальнейшей эксплуатации конструкций, средствам и методам противокоррозионной защиты, с учетом которых произведена реконструкция покрытия дебаркадера.

Продолжение остаточного ресурса стальных конструкций с учетом коррозионно-механических повреждений выполняется при допустимых

конструктивных, технологических и эксплуатационных ограничениях на основе функционально-стоимостного анализа коэффициента надежности γ_{zr} . Коэффициент надежности противокоррозионной защиты γ_{zr} устанавливает предельный уровень коррозионных потерь при продолжении остаточного ресурса T_{ry} за счет увеличения отношения резерва надежности Γ при заданной расчетной схеме обобщенных влияний «Н–К–С» и функциональных ограничениях.

Расчетное определение остаточного ресурса по методике предельных состояний на основе экспертно-технического диагностирования коррозионно-механического разрушения осуществляется с использованием зависимостей:

– I предельное состояние

$$\gamma_{zf} - \frac{1}{\tilde{A}} = \gamma_{zr}, \quad (5.3)$$

– II предельное состояние

$$T_{ry} = \left(\frac{m \cdot t \cdot \gamma_{zr}}{A_k} \right)^{1/C}, \quad (5.4)$$

где Γ – отношения резерва надежности; C – коэффициент кинетики коррозионного износа; t – приведенная толщина сечения элемента; $m=\rho 10^4$ – переводной коэффициент коррозионных потерь; γ_{zk} – коэффициент надежности противокоррозионной защиты, который устанавливается при обосновании методов первичной защиты; γ_{zr} – коэффициент надежности, который устанавливает предельный уровень коррозионных потерь при дальнейшей нормальной эксплуатации с учетом результатов оценки коррозионного состояния; γ_{zf} – коэффициент надежности противокоррозионной защиты по данным контроля коррозионного состояния в период эксплуатации; T_{ry} – остаточный срок службы без дополнительных мер на противокоррозионную защиту и усиление, лет; ρ – плотность металла (г/см^3).

Оценка и обоснование продолжения остаточного ресурса при расчетно-экспериментальном определении коэффициента γ_{zr} выполнены с помощью разработанного алгоритма функционально-стоимостного анализа конструктивных, технологических и эксплуатационных ограничений (рис.5.18).

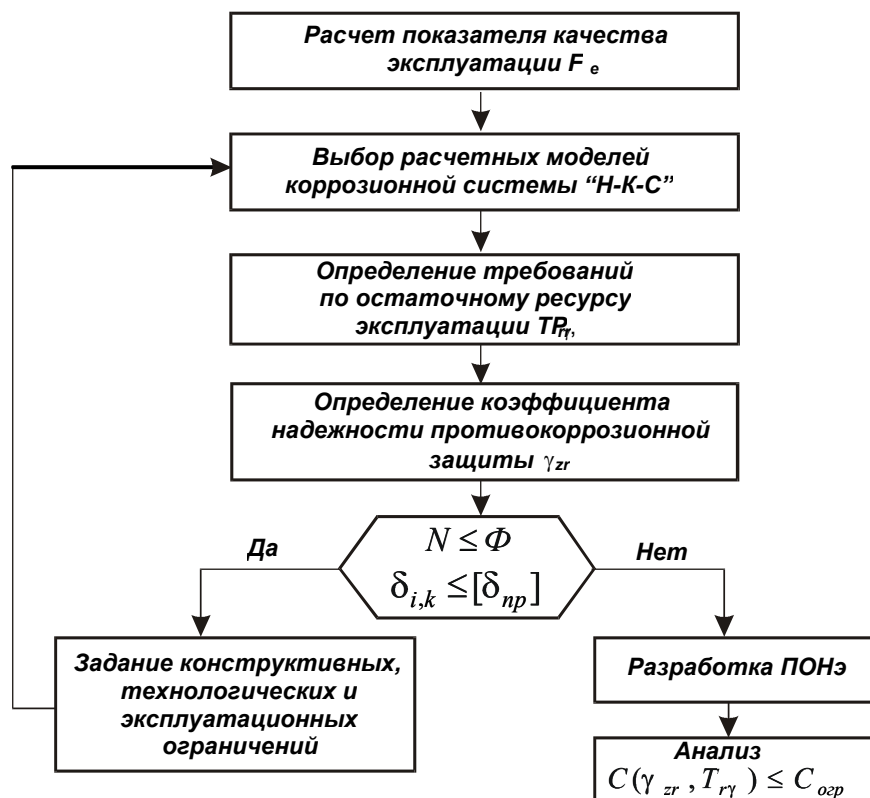


Рис. 5.18. Блок-схема функционально-стоимостного анализа коэффициента надежности противокоррозионной защиты γ_{zr} при $\Gamma \geq 1$

Численное моделирование показателей диагностирования при продолжении остаточного ресурса стальных конструкций в коррозионных средах осуществлен для построения номограммы, которое устанавливает взаимосвязь между характеристиками A_k , γ_{zr} , F_e (рис. 5.19).

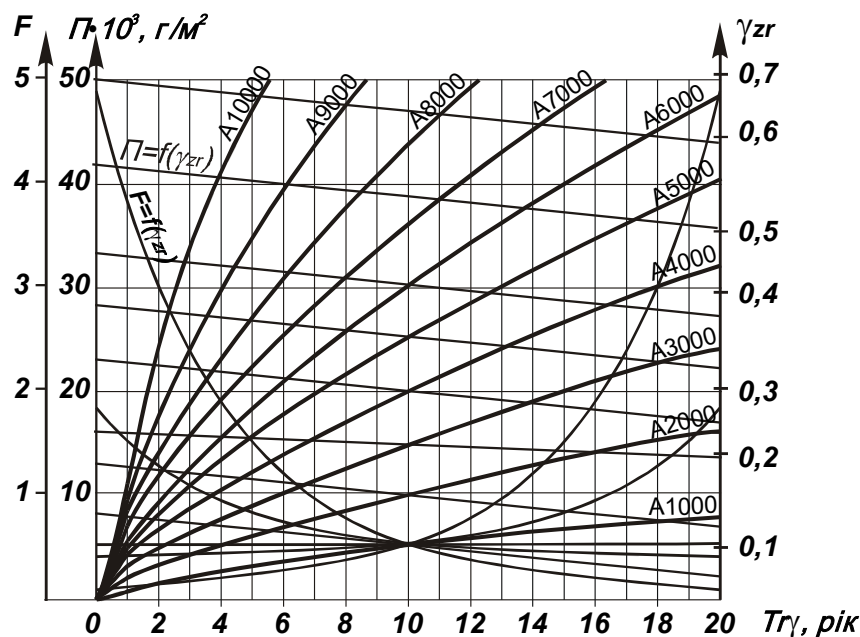


Рис. 5.19. Номограмма для определения показателей надежности и долговечности объектов, которые эксплуатируются по расчетному сроку службы

Разработанный методический подход обеспечивает сравнительный анализ эффективности корректирования типичной модели эксплуатации объекта при продолжении остаточного ресурса и обосновании мероприятий ПОНе.

5.4. Экспериментальные методы оценки гарантированных показателей долговечности

Важнейшей проблемой обеспечения надежности и долговечности легких металлических конструкций (ЛМК) является разработка прогрессивных технологий долгосрочной защиты от коррозионного разрушения. Снижение металлоемкости конструктивных элементов при установленных критериях безотказной работы в коррозионных средах должно учитывать требования действующих нормативных документов и включать анализ технологической рациональности мероприятий по противокоррозионной защите на всех стадиях жизненного цикла конструкции.

Использование трубчатых профилей для ЛМК является важным направлением повышения долговечности конструктивной формы, которая обеспечивает повышение коррозионной стойкости в среднем на 10–15%. Практика отечественного и зарубежного металлостроительства подтверждает высокую эффективность решетчатых пространственных конструкций из трубчатых стержневых элементов, предназначенных для покрытий

общественных и промышленных зданий различного назначения. Важное значение при этом отводится повышению технологичности мероприятий первичной и вторичной защиты от коррозии, что содействует снижению затрат по поддержанию показателей качества и долговечности конструкции в процессе эксплуатации.

Конструктивные решения типовых ЛМК покрытий малых пролетов с использованием круглых стальных труб и замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения развивались в 70–80 гг. XX ст. для зданий многоцелевого назначения. Концепция развития легких металлоконструкций в Украине, разработанная ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского», как приоритетные направления инвестиционных проектов определила разработку новых типов ЛМК с использованием эффективных профилей, противокоррозионной защиты тонколистового проката, внедрения современных технологий изготовления быстро монтируемых зданий-модулей с гарантированными показателями долговечности (рис. 5.20–5.23).



Рис. 5.20. Конструкция покрытия с продольными несущими пространственными фермами из труб



Рис. 5.11. Конструкция покрытия с продольными и поперечными несущими плоскими фермами из труб



Рис. 5.22. Конструкция покрытия навеса с несущими фермами арочного типа из труб



Рис. 5.23. Поддерживающие конструкции навеса

Задача обоснования мероприятий первичной и вторичной защиты для конструктивных элементов, а также этапы определения гарантированных показателей долговечности новых типов ЛМК представлены на рис. 5.24.

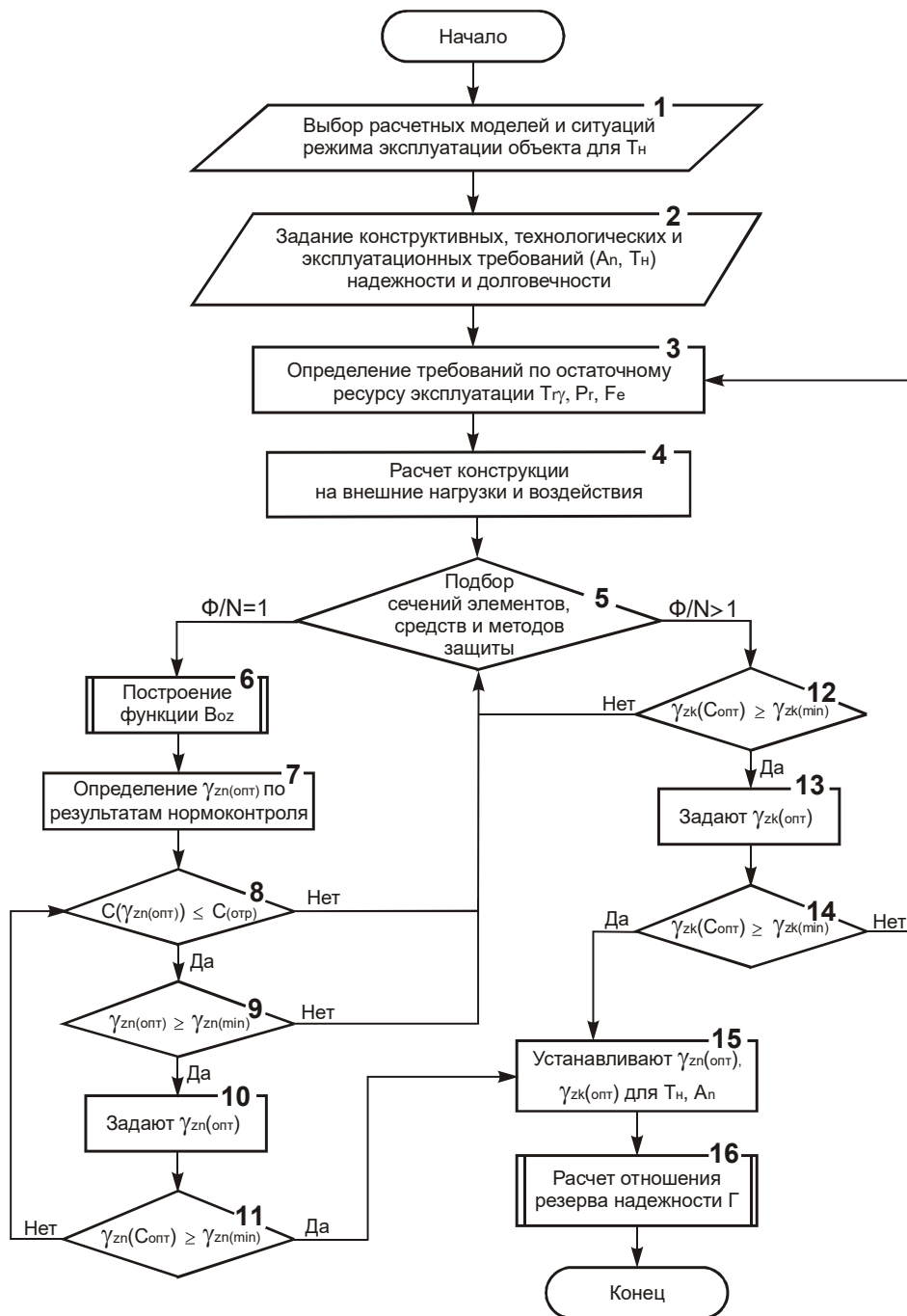


Рис. 5.24. Блок-схема вариантного проектирования первичной и вторичной защиты ЛМК с учетом предназначенного срока службы для установленной модели эксплуатации

Задача функционально-стоимостного анализа для обоснования коэффициента надежности γ_{zn} формулируется следующим образом. Оценивается коэффициент надежности исходного варианта противокоррозионной защиты металлоконструкции, устанавливаются причины его недостаточной эффективности и определяют возможные варианты повышения коэффициента надежности γ_{zn} . По каждому варианту оценивают затраты ΔC_i и возможное увеличение на ΔB_{0z} . Из всех вариантов выбирают наиболее эффективное по значению $\Delta\gamma_{zn}$. После определения оптимального значения проверяется заданное ограничение функции $\gamma_{zn}(C_{огр})$ или $C(\gamma_{znогр})$.

Точность определения показателей надежности и долговечности на основе ФСА зависит от соответствия установленной модели расчетной ситуации действительным условиям эксплуатации при выполнении технического обслуживания конструкций по фактическому состоянию.

5.4.1. Методика стендовых определительных испытаний конструкций

Основной целью экспериментального исследования фактической несущей способности и деформативности новой конструкции пространственной фермы с муфтовыми сборно-разборными соединениями является расчетная оценка отношения резерва надежности для обоснования гарантированных показателей долговечности.

Силовые испытания для проверки эффективности принципов формообразования при мелкосерийном производстве сборно-разборных трубчатых конструкций с гарантированной долговечностью проведены с целью:

- экспериментального изучения эксплуатационных свойств конструкции при предельных значениях нагружения;
- выявления элементов, в которых при максимальной контрольной нагрузке проявляются признаки предельных состояний;
- анализа работы муфтового соединения в зависимости от схемы приложения нагрузки;
- установление определения фактической несущей способности конструкции и характера ее разрушения.

Методикой экспериментального исследования предусматривается определение действительное напряженно-деформированное состояние элементов пространственной фермы и их соединений при воздействии осевой силы, приложенной с эксцентриситетом, и изгибающей силы, приложенной в одной из трех плоскостей фермы.

Установка для испытания, контроль и последовательность нагружения пространственной перекрестно-стержневой фермы-балки. Испытание пространственной фермы как балочной конструкции на воздействие узловых нагрузки осуществлялось согласно схеме, показанной на рис. 5.25.

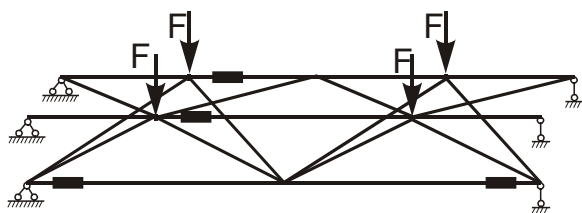


Рис. 5.25. Схема нагружения пространственной фермы-балки узловой нагрузкой

Исследуемая конструкция была установлена на опорные тумбы, которые жестко закреплены в ручьях силового пола. Для приложения испытательной нагрузки по месту изготовлены и смонтированы элементы оснастки (рис. 5.26).



Рис. 5.16. Пространственная ферма-балка перед испытанием

Для контроля величины испытательной нагрузки к опорным балкам при помощи шарниров прикреплены два предварительно протарированных динамометра, работающих на сжатие. Рабочее нагружение конструкции создавалось и поддерживалось гидравлическими домкратами, подключенными к маслостанции.

Чтобы исключить местную потерю устойчивости стенкой пояса фермы, узловые нагрузки передаются на конструкцию через балку, опираемую на верхний пояс фермы перпендикулярно оси конструкции.

Контроль измерений деформаций и перемещений исследуемой конструкции. При экспериментальном исследовании пространственной фермы-балки проводились следующие измерения:

- вертикальные, горизонтальные и угловые деформации характерных узлов и сечений поясов фермы;
- прогибы и перемещения в характерных узлах конструкции.

Для измерений относительных деформаций в наиболее характерных и напряженных зонах конструкции использовались индикаторы часового типа

Аистова с базой 50 мм. Прогибы измерялись прогибомерами типа ПАО-6 ЛИСИ.

Измерения перемещений и относительных деформаций проводились на всех этапах нагружения, вплоть до отказа конструкции.

Схема расположения измерительных приборов и приспособлений приведена на рис. 5.27.

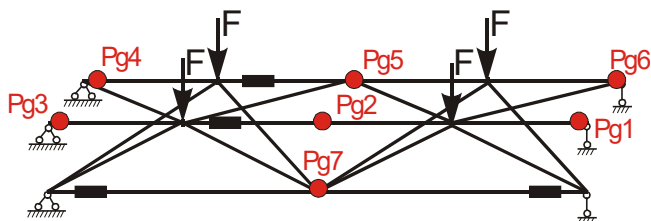


Рис. 5.27. Схема расположения измерительных приборов и приспособлений

Последовательность и циклы загрузки конструкции фиксировались в протоколе испытаний.

Установка для испытания, контроль и последовательность нагружения пространственной перекрестно-стержневой фермы-стойки. Испытание пространственной фермы как башенной конструкции на воздействие сжимающей нагрузки, приложенной с эксцентриситетом, осуществлялось согласно схеме, показанной на рис. 5.28. Исследуемая конструкция была установлена на опорные элементы, жестко закрепленные в ручьях силового поля. Для приложения испытательной нагрузки по месту изготовлены и смонтированы элементы оснастки (рис. 5.29).

Контроль измерений деформаций и перемещений исследуемой конструкции. При экспериментальном исследовании пространственной фермы-стойки проводились следующие измерения:

- вертикальные, горизонтальные и угловые деформации характерных узлов и сечений поясов фермы;
- перемещения в характерных узлах конструкции.

Для измерений относительных деформаций в наиболее характерных и напряженных зонах конструкции использовались индикаторы часового типа Аистова с базой 50 мм. Прогибы измерялись прогибомерами типа ПАО-6 ЛИСИ.

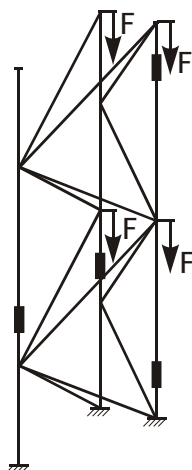


Рис. 5.28. Схема нагружения пространственной фермы-стойки сжимающей нагрузкой



Рис. 5.29. Схема расклейки тензодатчиков сопротивления и установки прогибомеров

Измерения перемещений и относительных деформаций проводились на всех этапах нагружения, вплоть до отказа конструкции.

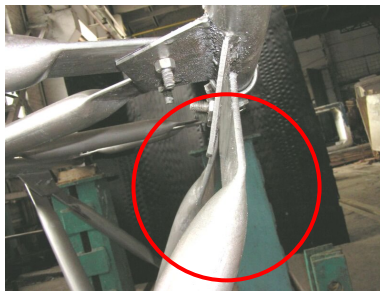
На основе разработанной программы экспериментальных исследований выполнен анализ отношения резерва надежности, даны предложения и рекомендации по совершенствованию конструктивного решения муфтового соединения пространственной фермы, произведена оценка гарантированных показателей долговечности.

5.4.2. Анализ расчетных характеристик отношения резерва надежности

Оценка прочности проводится на основании сопоставления фактической разрушающей нагрузки с контрольной разрушающей нагрузкой. Измерения перемещений и относительных деформаций элементов пространственно-стержневой конструкции фермы-балки проводились на всех этапах нагружения, которое производилось до отказа элементов конструкции (рис. 5.30).



а



б



6

Рис. 5.30. Разрушение пространственно-стрелковой конструкции балки

Разрушение конструкции произошло в результате потери местной устойчивости опорного раскоса при нагрузке 70 кН.

Измерения перемещений и деформаций элементов пространственно-стрелковой конструкции фермы-стойки проводились также на всех этапах нагружения, которое производилось до отказа элементов конструкции (рис. 5.31). Разрушение конструкции произошло в результате потери устойчивости поясного элемента при нагрузке 240 кН.



Рис. 5.31. Разрушение пространственно-стрелковой конструкции стойки

Результаты стендовых испытаний трехгранной секции-балки (рис. 5.32) и секции-стойки использованы для определения отношения резерва надежности (Γ) и назначенного срока службы конструкций (T_n) с учетом принятых мер первичной (γ_{zk}) и вторичной (γ_{zn}) защиты (табл. 5.7).

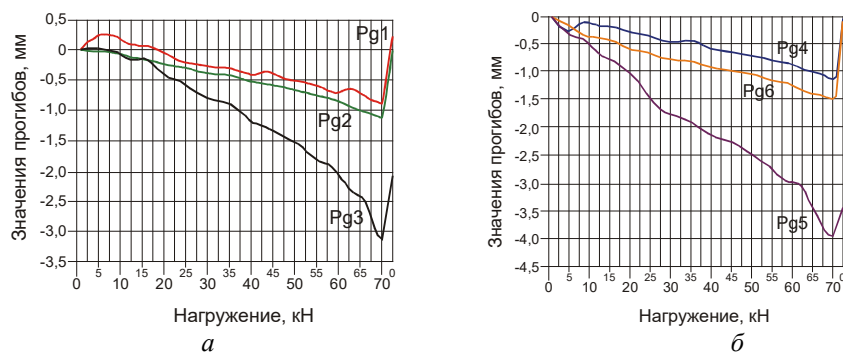


Рис. 5.32. Характер изменения значений прогибомеров при загрузении конструкции балки

Определение отношения резерва надежности и назначенного срока службы конструкций с учетом принятых мер первичной и вторичной защиты

Таблица 5.7

№ п/п	Расположение конструктивного элемента, определяющего характер разрушения	Параметры при отказе конструктивного элемента			$A_n, \text{г/(м}^2\text{год)}$	Коэффициент надежности противокоррозионной защиты		$T_n, \text{год}$
		$N, \text{кН}$	$\Phi, \text{кН}$	Γ		γ_{zk}	γ_{zn}	
1		50	70	1,40	2150	0,95	0,92	50
2		180	240	1,33				52,5

Решение комплекса задач по повышению эффективности применения стальных перекрестно-стреловых систем из трубчатых элементов основывается на расчетно-экспериментальной оценке отношения резерва надежности и долговечности, показателей коррозионной стойкости и долговечности, уточнении методики расчета конструкций с учетом функционально-стоимостного обоснования коэффициента надежности γ_{zn} (γ_{zk}), а также на экспериментальных данных по долговечности защитных электрохимических цинковых покрытий.

Выполненные стендовые определительные испытания трехгранной стреловой сборно-разборной конструкции при статическом нагружении позволили выявить отношение резерва надежности:

- установлена предельная нагрузка пространственно-стреловой балочной конструкции ($N=70$ кН), связанная с потерей местной устойчивости опорного раскоса при отношении резерва надежности $\Gamma=1,40$;

- оценка предельного сопротивления пространственно-стреловой стойки при внецентренном нагружении ($N=240$ кН) определила форму потери общей устойчивости пояса при отношении резерва надежности $\Gamma=1,33$.

Экспериментальные данные определения коэффициента надежности вторичной защиты при ускоренных коррозионных испытаниях позволяют выполнять расчетную оценку гарантированной долговечности при значениях коэффициентов для электрохимических и порошковых покрытий. Результаты натурных стендовых испытаний показали, что после 5 лет экспозиции защитные свойства исследуемых систем покрытий в сильноагрессивных средах $A_n=4000$ г/(м²год) отличаются от расчетных значений не более чем на 10–15%.

5.5. Продление срока безопасной эксплуатации оснащения

Продолжение эксплуатации оборудования осуществляется на срок до прогнозируемого перехода его в предельное техническое состояние (исчерпание остаточного ресурса) или на определенный срок (позапное продление срока безопасной эксплуатации в пределах остаточного ресурса).

Определение остаточного ресурса оборудования проводится по организационно-методическим документам с подтверждением фактической величины ресурса с помощью соответствующих средств измерительной техники.

В настоящем разделе рассмотрены результаты оценки технического состояния грузоподъемного оборудования при поэтапном продлении срока безопасной эксплуатации в пределах остаточного ресурса.

Данное заключение содержит результаты работы по технической диагностике стрелового самоходного крана на железнодорожном ходу грузоподъемностью $Q=60$ т.

Обследование проводилось в соответствии со следующими нормативными документами:

- Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ДНАОП № 0-1.03-93);
- РД 001.00-95. Краны грузоподъемные. Экспертное обследование. Оценка технического состояния;
- РД 001.02-95. Краны грузоподъемные. Экспертное обследование. Методические указания по оценке технического состояния стреловых кранов общего назначения;
- РД 001.05-95. Краны грузоподъемные. Экспертное обследование. Методические указания по оценке технического состояния железнодорожных кранов;
- ГОСТ 25546-82. Краны грузоподъемные. Режимы работы;
- ISO 4301/1. Краны и подъемные устройства. Классификация. Общие положения.

При проведении обследования кран находился в рабочем состоянии и опломбирован не был.

Обследование крана проведено в связи с истечением нормативного срока службы.

Аппаратура контроля:

- ультразвуковой толщиномер УТ-93П;
- ультразвуковой дефектоскоп типа УД 2-12;
- стандартный мерительный и оптический инструмент и приспособления.

Общая характеристика крана, условия его работы, технического надзора и ремонта:

1. Тип крана:	стреловой самоходный на железнодорожном ходу
2. Назначение крана:	для монтажных работ и ликвидации ж.д. аварий
3. Грузоподъемность крана, т:	
• главного подъема	60
• вспомогательного подъема	—
4. Высота подъема, м:	
• главного крюка	13,5
• вспомогательного крюка	—
5. Пролет крана, м	—
6. Режим работы (паспортный)	средний
7. Скорости, м/мин:	
• главного подъема	15

- вспомогательного подъема 3,0
 - передвижения крана 60
8. Температура эксплуатации, °C: от –25°C до +40 °C
9. Ветровые нагрузки, кг/м2:
- рабочего состояния 25
 - нерабочего состояния 110
10. Завод-изготовитель: Народное предприятие тяжелого машиностроения им. С.М. Кирова, г. Лейпциг
11. Дата изготовления: 1976 год
12. Заводской номер: 474
13. Регистрационный номер: 40421
14. Срок ввода в эксплуатацию: 1976 год
15. Подвод питания: дизель-электрический
16. Место управления: из кабины
17. Масса крана, т:
- общая 98
 - корпуса крана 42
 - стрелы 8,6
 - противовеса 11
18. Условия эксплуатации: сухотеплая и холодная, влажность от 20% при –25°C до 80% при –35 °C
19. Давление колеса крана на подкрановый рельс при работе, кг: 30800
20. Род электрического тока и напряжения:

Таблица 5.8

Наименование цепи	Род тока	Напряжение, В
1. Механизм подъема груза	3 ^х фазный	380
2. Механизм изменения вылета стрелы		
3. Механизм поворота		
4. Механизм передвижения		

21. Характеристика грузозахватного органа:
- главного подъема
 - грузоподъемность, т: 63

- стандарт: ТГЛ 20-363 711
- завод-изготовитель: VEB Schewermaschinenbaukombinas
«Ernst Thalmann» Magdeburg
- заводской номер: P 1246/3

22. Сведения об основных элементах
металлоконструкций крана:

Таблица 5.9

№ п/п	Наименование элементов	Марка стали	Стандарт
1	Ходовая тележка	St 30 b – 2	TGL 7960
	Подкрановая платформа	St 35 b	
2	Подкрановая платформа	St 38 – 3	
3	Подкрановая платформа	St 52 – 3	
	Стрела		
	Ходовая тележка		

23. Место установки: железнодорожный цех

24. Сведения о ремонте: 15.09.78 г. заменен грузовой трос
Ø27 мм

25. Последнее:

- полное техническое освидетельствование проведено: 04.03.1998 г.
- частичное техническое освидетельствование проведено: 03.03.2000 г.

Режим работы крана

Режим работы механизма главного подъема и крана в целом по паспорту (определяется согласно требований ИСО 4301/1): средний.

Расчет фактического режима работы крана определяется согласно ГОСТ 25546-82, Правил по кранам и ИСО 4301/1. Данные о действительном характере работы крана приведены в Приложении П2.

Расчет действительного режима работы крана

Рег. № крана

Паспортный режим работы крана
(Правила, ГОСТ, ИСО)

Номинальная грузоподъемность крана, т

Год ввода крана в эксплуатацию, год

Расчет выполнен до, год

40421	Правила	ГОСТ	ИСО
Средний	6К	Q6	
60			
1976 г.			
2001 г.			

Нагрузка крана

Таблица 5.10

Масса груза или номер материала по списку	Масса груза, т					
		10	15	20	30	45
	Количество циклов					
количество циклов или объем	в сутки	—	—	—	—	—
	в месяц	—	—	—	—	—
	в год	5	10	10	5	6
Грузозахватный орган:		крюк				

Фактическое максимальное число рабочих циклов крана за срок его службы определяется:

$$C_o = 4 \cdot 34 \cdot 25 = 3400,$$

где: 4 – число рабочих циклов в сутки; 34 – число рабочих дней в году; 25 – количество лет работы крана.

Коэффициент распределения нагрузок для крана K_p согласно ИСО 4301/1:

$$K = \sum \left[\frac{C_i}{C_o} \cdot \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^3 \right] = \frac{5}{40} \left(\frac{10,0}{60,0} \right)^3 + \frac{10}{40} \left(\frac{15,0}{60,0} \right)^3 + \frac{10}{40} \left(\frac{20,0}{60,0} \right)^3 + \frac{5}{40} \left(\frac{30,0}{60,0} \right)^3 + \frac{10}{40} \left(\frac{45,0}{60,0} \right)^3 = 0,09265,$$

где: C_i – среднее число циклов работы с частным уровнем массы груза; C_m – суммарное число рабочих циклов со всеми грузами; P_i – значения масс отдельных грузов (уровни нагрузок) при типичном применении данного крана; $P_{\max}$ – масса наибольшего груза (номинальный груз), который разрешается поднимать краном.

Результаты расчета режима работы крана

Таблица 5.11

Наименование нормативного документа	Общее число циклов работы крана за срок его службы, C_o	Коэффициент нагружения крана, K_p	Класс использования крана	Класс/режим нагружения крана	Группа классификации режима работы крана	Режим работы крана по паспорту	Режим работы крана по правилам Госгортехнадзора
ГОСТ 25546-82	$3,4 \cdot 10^3$	0,09265	C_0	$Q1$	—	Средний	—
ISO 4301/1			U_0	$Q1$	—		—

Оценка технического состояния. Стреловой самоходный кран на железнодорожном ходу грузоподъемностью $Q=60$ т, зав. № 474, рег. № 40421 по паспорту среднего режима работы фактически работает в легком режиме (кран можно отнести к типу редко используемого, потому что он

применяется только при ремонтно-аварийных работах оборудования и вагонов железнодорожного цеха), и при существующих условиях эксплуатации скорость износа основных конструкций и соединений допускает дальнейшую работу крана при условии устранения выявленных дефектов и постоянного проведения технического обслуживания в соответствии с требованиями завода-изготовителя и Правил безопасной эксплуатации грузоподъемного оборудования.

Марка стали металлоконструкции – St 52–3 позволяет эксплуатировать кран при температуре окружающей среды от –25 до +40 °С.

Местные деформации элементов металлоконструкции:

- несущие поперечные элементы, нижняя секция стрелы: изогнутости, прогибы (см. ведомости дефектов и повреждений);
- боковая грань стелы: вмятины, вогнутости, выпуклости, ведомость дефектов и повреждений);
- несущий элемент ходовых колес: трещины в основном металле (ведомость дефектов и повреждений).

Трещины в сварных швах: не обнаружены.

Болтовые и шарнирные соединения: в норме.

Крепление кабины крановщика: удовлетворительное.

Характеристика коррозионного разрушения элементов конструкций:

- карманы стрелы – равномерная коррозия;
- кабина крановщика – местный (очаговый): (общей площадью до 12500 мм²) (см. ведомость дефектов и повреждений).

Состояние противокоррозионной защиты: неудовлетворительное.

Состояние механизмов:

- механизма подъема: главного – в норме;
- вспомогательного – в норме;
- механизма передвижения крана: в норме.

Состояние приборов безопасности, электрооборудования противоугонных захватов: удовлетворительное.

Прочие дефекты: отсутствуют.

Заключение. На основании проведенного технического диагностирования стреловой самоходный кран на железнодорожном ходу грузоподъемностью $Q=60$ т, зав. № 474, рег. № 40421, принадлежащий железнодорожному цеху, может быть допущен к дальнейшей эксплуатации с грузоподъемностью до 60 т при выполнении следующих условий.

Устранения дефектов согласно ведомости дефектов и повреждений – таблицы Приложения П8.

После устранения выявленных дефектов кран должен пройти полное техническое освидетельствование согласно ДНАОП № 0-1.03-93.

Текущие осмотры и очистку от мусора металлоконструкций крана проводить не реже одного раза в 20 дней.

Периодические осмотры проводить ежеквартально.

Рекомендации владельцу крана. Подвергнуть кран внеочередному обследованию в случае появления:

- трещин в несущих металлоконструкциях;
- остаточной деформации несущих металлоконструкций при испытании крана грузом $1,5Q$ номинального.

Срок следующего обследования 30 января 2006 г.

5.6. Идентификация и вывод из эксплуатации объектов повышенной опасности

Идентификация не установленного технологического изделия для определения степени опасности в процессе технического осмотра и экспертного обследования выполняется в соответствии с требованиями Постановления Кабинета Министров Украины № 687 от 26.05.2004 «Об утверждении порядка осмотра, испытания и экспертного обследования (технического диагностирования) машин, механизмов, оснащения повышенной опасности».

Технический осмотр предусматривает контроль технического состояния для установления признаков происхождения объекта и возможного его назначения.

Программа экспертного обследования предполагает выявление эксплуатационных характеристик, связанных с механическим или коррозионным износом, наличием внутренних дефектов и повреждений, развитие которых может привести к чрезвычайной ситуации при транспортировке и утилизации не установленного объекта.

Исходные данные

Методика определения степени опасности утилизации не установленного технологического изделия.

Цель обследования – идентификация для определения степени опасности при его утилизации, с учетом технического состояния, выявленных дефектов, повреждений, фактической прочности материала объекта.

Металлический герметично закрытый предмет цилиндрической формы, темного цвета, покрытый ржавчиной (далее по тексту «объект»), был обнаружен при выполнении земляных работ на территории копрового цеха. Приказом по предприятию был определен порядок безопасного хранения и определены меры по оценке возможности последующей утилизации. На момент экспертного обследования объект размещался в металлическом коробе, заполненном песком (рис. 5.33).



Рис. 5.33. Размещение объекта в период временного хранения на территории копрового цеха

Рентгенографический контроль, выполненный специалистами центра с помощью прибора СРП-68-01 не выявил наличия внутренних устройств или механизмов, загрязнений объекта радиоактивными веществами (Акт контроля № 1127).

Исходные данные

Технический осмотр и экспертное обследование выполняются как самостоятельный вид работ при выявлении аварийно опасных объектов, имеющих значительные коррозионные повреждения.

Подготовительные работы при техническом осмотре и экспертном обследовании коррозионного состояния включают:

- сбор и анализ исходных данных о возможном происхождении объекта;
- общий осмотр с оценкой состояния объекта и выявление характерных конструктивных, технологических и эксплуатационных особенностей;
- составление рекомендаций по техническому надзору и определение возможности утилизации.

Приборы, инструменты и приспособления технического осмотра и экспертного обследования. В соответствии с программой исследования выполнены работы по неразрушающему контролю конструкций и их соединений по стандартным методикам:

- измерения твердости твердомером 54-459М универсальным №702 по ГОСТ 22761-77;
- ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений дефектоскопом УД-2-12 по ГОСТ 3442-89. Комплект стандартных образцов соответствует требованиям ОП-501, ОСТ 26.2044-81;
- магнитопорошковой дефектоскопии околошовной зоны сварных соединений и основного металла с помощью комплекта «МАГЭКС-3» с намагничивающей головкой МЭ-3 по требованиям ГОСТ 211058-87.

Экспертное обследование объекта выполнено согласно действующим нормативным и методическим документам. Натурные размеры объекта, размеры дефектов и повреждений, расстояние между ними, а также глубина коррозионного поражения металлоконструкций измерялись с помощью ультразвуковой толщинометрии.

При оценке степени опасности не установленного технологического изделия:

- поверхность объекта должна быть очищена от пыли, мусора, легко отслаивающихся продуктов коррозии;
- установлен вид коррозионного поражения металла и определена интенсивность износа;
- произведено ультразвуковое сканирование поверхности объекта на предмет обнаружения не сплошности металла, расслоения и др. внутренних дефектов.

При обнаружении дефекта или повреждения описание и инструментальные замеры с помощью приборов и инструментов фиксируются в дефектных ведомостях.

Результаты обследования представляют графическим описанием в виде чертежей и эскизов дефектов и повреждений объекта.

Требования производственной безопасности.

При выполнении работ персонал руководствуется требованиями действующих инструкций и нормативных актов:

- Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Утв. Госгортехнадзором СССР 27.11.87 г.;
- Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. Утв. Госгортехнадзором СССР 06.09.88 г.;
- ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности;
- Временные методические указания по обследованию и диагностике технического состояния установок разделения воздуха, отработавших расчетный срок службы на предприятиях металлургии. Разраб.: Ассоциация «Криогаз». Соглас. с Госгортехнадзором России 05.07.93 г.

Руководитель работ производит дополнительный инструктаж, который фиксируется в журнале по производственной безопасности специализированной организации.

Программа и объем работ. До начала осмотра объекта следует проверить выполнение мер безопасности, связанных с ограждением опасной зоны и удалением производственного персонала, не связанного с проведением испытаний.

При техническом осмотре должны быть выявлены дефекты, допущенные при изготовлении или появившиеся в результате неправильной его эксплуатации. К таким дефектам относятся трещины, расслоения, плены, вмятины, коррозионные повреждения, дефекты сварных соединений

(прожоги, незаваренные кратеры, непровары, пористость, отступления от проектных размеров шва и др.), излом или неперпендикулярность осей соединяемых элементов и другие технологические дефекты.

Наиболее опасными дефектами котлов являются трещины. Сомнительные места следует осматривать с применением лупы; эти места предварительно должны быть обработаны механическим инструментом.

В литых стальных изделиях могут быть выявлены выходящие наружу трещины, свищи, раковины и пористость.

Межкристаллитные трещины могут появляться без явных признаков хрупких разрушений (кольцевые трещины кипятильных в местах вальцовки, трещины в фланцах и др.). Поэтому программа работ включает проверку всей поверхности объекта и соединений с применением ультразвуковой и магнитнопорошковой дефектоскопии.

При техническом осмотре следует убедиться в отсутствии повреждений и износа элементов объекта, возникающих в процессе его эксплуатации. Наиболее характерными повреждениями технологических сосудов являются:

- трещины, чаще всего возникающие в местах загибов, отбортовок, в местах приварки опор и колец жесткости; коррозионные повреждения внутренних, а также наружных поверхностей сосуда, особенно в нижней части и в местах опор. Поверхностные трещины у элементов сосудов могут быть выявлены непосредственным осмотром с помощью лупы с предварительной зашлифовкой мест осмотра;

- механический (эрозионный) износ, чаще наблюдающийся у сосудов, в местах движения рабочей среды с повышенной скоростью;

- износ запорных устройств крышек с накидными болтами;

- остаточные деформации, возникающие вследствие ползучести металла у элементов сосудов, работающих при температуре стенки, превышающей 450 °С.

К выполнению экспертного обследования следует приступать только при удовлетворительных результатах внутреннего осмотра.

Результаты технического осмотра признаются удовлетворительными, если не обнаружено:

- трещин или признаков разрыва (поверхностные трещины, надрывы и др.);

- течи, «слезок» и «потения» в основном металле, сварных и вальцовочных соединениях;

- видимых остаточных деформаций.

Объекты с вредной для здоровья людей средой должны быть подвергнуты тщательной обработке (нейтрализации, дегазации) в соответствии с инструкцией по безопасному ведению работ.

Объемы работ при выполнении экспертного обследования объекта представлены в табл. 5.12.

Состав работ по экспертному обследованию не установленного
технологического объекта

Таблица 5.12

№ п/п	Наименование	Виды работ	Объемы работ	Примечание
1	2	3	4	5
1.	Металлическая поверхность объекта	1.1. Визуальный контроль	100% конструкции	
		1.2. Магнитопорошковый контроль	не менее 20% конструкции	По всей длине
		1.3. УЗК	100% основного металла, горловины, фланцевых соединений	По всей длине
		1.4. Ультразвуковой контроль толщины изделия	не менее 20% конструкции	По всей длине

Данные технического осмотра и идентификации объекта. Для проведения технического осмотра объект был извлечен из металлической емкости для хранения и размещен в безопасном месте для выполнения технического осмотра и экспертного обследования (рис. 5.34).



Рис. 5.34. Внешний вид объекта при техническом осмотре

В процессе технического осмотра установлено.

Металлическая поверхность объекта покрыта плотносцепленной ржавчиной, толщина которой составляет от 200 до 500 мкм. Геометрические размеры с указанием расположения участков однородных зон объекта представлены в Приложении (схема С1) ПЗ.

Удаление ржавчины с поверхности объекта позволило установить равномерный износ. Внешний вид объекта имеет изъязвленную структуру (очаги коррозии диаметром 1,5–2 мм.). Отсутствие сварных швов при данной конфигурации (см. рис. 5.34) свидетельствует о том, что изготовление

оболочки объекта произведено методом литья. Дефектная ведомость, составленная по результатам технического осмотра представлена в Приложении (схема С2) ПЗ.

Фланцевое соединение осуществлено с помощью 4х установочных болтов, степень коррозионного разрушения которых не позволяет произвести разъединение с использованием не разрушающих методов (рис. 5.35).

Отверстие в теле фланца не является сквозным. В процессе осмотра не удалось установить наличие сообщения между внутренним пространством объекта и отверстием во фланце. Причина закупорки возможного сквозного прохода во фланце не установлена, что позволяет предположить существование замкнутого внутреннего пространства, не связанного с внешней средой.



Рис. 5.35. Фланцевое соединение с крепежными болтами и технологическим отверстием

Результаты внешнего осмотра объекта, наличие впрессованной медной втулки в отверстии фланца подтверждают возможное назначение объекта как сосуда ресивера компрессорной установки.

Анализ результатов экспертного обследования. При экспертном обследовании поверхности объекта установлены следующие дефекты и повреждения.

Ультразвуковой контроль. Объект контроля – сплошность металлической оболочки объекта.

Контроль выполнен ультразвуковым дефектоскопом УД-2-12 зав. № 8484 (свидетельство о поверке № 589 01.10.04 г.) в соответствии с ГОСТ 14782-86 и ОСТ 26.2044-83, ДНАОП 000-1.08.94, ОП № 501ЦП 75. Преобразователь ПРИЗ Д5, угол ввода $\alpha=70^\circ$, частота прозвучивания $f=5,0$ МГц. Настройка чувствительности: зарубка $2,5 \times 1,5$ мм.

Параметры идентификации дефектов при ультразвуковом контроле

Таблица 5.13

Наименование	Тип и характеристика обнаруженных дефектов	Наибольшие допустимые размеры эквивалентного дефекта, мм ²	Оценка качества шва в баллах	Оценка степени развития дефекта
Обечайка	-2А-9-К-125	3,75	2	В пределах нормативного отклонения
	-1Б-8-П-85-230/315	3,75	1	Не допускается
	+4Д-9-П100-200/300	3,75	1	Не допускается
Днище	-1Б-8-П-85-210/315	3,75	1	Не допускается
Горловина	-1Б-8-П-85-20/105	3,75	1	Не допускается

Результаты ультразвукового контроля систематизированы в дефектных ведомостях Приложения ПЗ.

Магнитопорошковый контроль. Контроль произведен согласно ГОСТ 21105-87 комплектом дефектоскопическим «МАГЭКС-3» с намагничивающим устройством МЭ-3 (свидетельство о поверке от 30 июля 1999 года). Настройка прибора произведена по контрольному образцу МЭ-3 (паспорт № 04 от 14.05.97 г.). Условный уровень чувствительности – «Б». Вид магнитной суспензии – магнитная паста «Диагма».

Параметры идентификации дефектов при магнитопорошковом контроле

Таблица 5.14

Места замеров	Характеристики обнаруженных дефектов	Примечание
Нижнее днище	Дефектов типа поверхностных трещин не обнаружено	Размер ячейки 200×200 мм
Обечайка	Дефектов типа поверхностных трещин не обнаружено	Размер ячейки 200×200 мм
Верхнее днище	Дефектов типа поверхностных трещин не обнаружено	Размер ячейки 200×200 мм
Горловина	Дефектов типа поверхностных трещин не обнаружено	Размер ячейки 50×50 мм

Результаты магнитопорошкового контроля систематизированы в дефектных ведомостях.

Определение твердости. Измерения проведены твердомером 54–459 М универсальным № 702 (свидетельство о поверке № 813 от 30.09.04). Контроль произведен согласно ГОСТ 22761-77.

Минимальные значения твердости по Бринеллю

Таблица 5.15

Наименование элементов контроля	Твердость по Бринеллю, НВ	Предел прочности, σ_b , МПа	Примечание
Обечайка	97	339,5	
Днище	99	346,5	
Горловина	101	353,5	
Фланец	105	367,5	

Результаты контроля позволяют заключить, что физико-механические показатели материала объекта близки к стали класса С255 по ГОСТ 380-71* со следующими характеристиками:

- нормативное сопротивление по пределу текучести: $R_{ym}=2300$ кгс/см²;
- коэффициент надежности по материалу $\gamma_m=1,1$;
- коэффициент, учитывающий коррозионные повреждения, $\gamma_d=0,90$.

Толщины стенок объекта, установленные при измерениях УТ-93 П представлены в таблицах Приложения ПЗ.

Рекомендации по обеспечению безопасности до принятия решения о порядке утилизации. После проведения технического осмотра и экспертного обследования объект необходимо разместить в металлический короб, заполненный песком, где осуществлялось временного хранения до проведения испытаний в соответствии с приказом № 172 от 29.09.04 г.

Выводы. Результаты внешнего осмотра и экспертного обследования позволяют заключить, что не установленное технологическое изделие представляет собой сосуд давления, возможное применение которого было связано с баллоном ресивера компрессорной установки. Сообщение между отверстием фланца и внутренним объемом объекта не подтверждено результатами контроля и, скорее всего, отсутствует в результате закупорки мусором и продуктами коррозии.

Внутренняя полость сосуда не заполнена сжатым воздухом или другим газообразным веществом под давлением, что связано с конструктивным исполнением. Отверстие на фланце по технологическому назначению предназначено для установки измерительной аппаратуры либо устройства для сбрасывания давления. Таким образом, исключается возможность сохранения избыточного давления внутри сосуда при отсутствии запорного устройства на отверстии фланца.

Контроль с использованием ультразвуковой и магнитопорошковой дефектоскопии выявил значительные колебания толщин стенок сосуда, наличие внутренних дефектов структуры металла, что позволяет заключить о прекращении использования объекта по назначению в результате износа.

Наличие экспертных оценок служб казенного химического завода, пиротехников, специалистов санэпидемстанции, результатов рентгенографического контроля, подтверждение отсутствия загрязнения радиоактивными веществами и данных настоящего экспертного обследования позволяет произвести утилизацию объекта в соответствии с нормами и правилами, не противоречащими действующему законодательству.

Раздел 6 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

6.1. Порядок определения требований к технологической безопасности конструкций зданий и сооружений

Использование в строительстве методики нормирования, основанной на коэффициентах надежности, теоретически обеспечивает необходимую безопасность строительных конструкций и, следовательно, населения и окружающей среды. По ориентировочным оценкам специалистов, вероятность отказа зданий и сооружений составляет примерно 10^{-3} для предельных состояний второй группы и 10^{-5} для состояний с катастрофическими последствиями.

В действительности вероятность катастрофических отказов значительно выше. Только для промышленных объектов бывшего СССР за последние 20 лет она составляла $5 \cdot 10^{-4}$ для многоэтажных зданий и $2 \cdot 10^{-4}$ для сооружений. Указанная аварийность существенно выше в зонах развития техноприродных ЧС, где даже небольшие по интенсивности воздействия практически мгновенно выявляют все упущения инженерных изысканий, проектных решений и дефекты строительства.

Необходимость проведения оценки или контроля уровня безопасности на различных стадиях цикла существования предприятия, а также перечень оцениваемых или контролируемых при этом показателей определяется нормативными документами и должен быть приведен в задании на проектирование предприятия.

Оценивание и контроль безопасности предприятия выполняют на всех стадиях цикла существования:

- во время проектирования с целью прогноза ожидаемого уровня безопасности предприятий и дальнейшем проведении экспертизы проектной документации на безопасность определяют проектную оценку уровня безопасности;
- во время отвода земельного участка под строительство предприятия проверяют принципиальную возможность обеспечения безопасности на отведенной и близлежащих территориях;
- во время строительства или модернизации осуществляют авторский надзор или технический контроль за строительством;
- во время введения предприятия в эксплуатацию и во время исследовательской и промышленной эксплуатации с целью определения фактически достигнутого уровня безопасности предприятия и проверки его соответствия требованиям безопасности, установленным в техническом задании, выполняют апостериорное оценивание и вероятностный прогноз безопасности на основании анализа работы предприятия;

- во время функционирования предприятия с целью определения оперативного уровня безопасности предприятия проводят оперативный контроль;

- в случае снятия из эксплуатации проводят технический контроль по определенной процедуре ликвидации предприятия.

Проектное оценивание безопасности предприятия в зависимости от его особенностей и стадии проектирования проводят с учетом свойств:

- только технологического, вспомогательного и другого оснащения, а также систем их защиты;

- технологического, вспомогательного и другого оснащения, а также систем их защиты с учетом композиционных факторов;

- технологического, вспомогательного и другого оснащения, а также систем их защиты с учетом композиционных и эргатических факторов.

Проектная оценка безопасности, полученная в начале проектирования и учитывающая только свойства технологического оснащения, является ориентировочной и используется только для определения принципиальной возможности сооружения предприятия.

Проектная оценка безопасности, полученная с учетом технических и композиционных факторов, позволяет оценить возможность обеспечения необходимого уровня безопасности предприятия, которое сооружается в этой местности по предложенному проекту.

Проектная оценка безопасности, полученная с учетом технических, композиционных и эргатических факторов, используется для уточнения состава, структуры и размещения систем (приспособлений, элементов) безопасности, состава и структуры задач работников в обеспечении безопасности.

Проектное оценивание уровня безопасности предприятия допускается осуществлять такими методами:

- аналитическими;

- вероятностного моделирования;

- комбинированными, представляющими собой соединение аналитических методов и методов моделирования;

- экспертными.

Апостериорное оценивание уровня безопасности предприятия может осуществляться методами, приведенными в п. 6.2 данного раздела или экспериментальными методами.

Экспериментальное оценивание (контроль) уровня безопасности предприятия допускается проводить путем собирания и обработки статистических данных о безопасности в условиях исследовательского и промышленного функционирования предприятия.

Для отдельных комплексов технологического оснащения по согласованию с проектировщиком предприятия допускается организация и проведения специальных испытаний на безопасность.

Во время прогнозов аварий должен использоваться консервативный подход, состоящий в том, что для параметров и характеристик объекта принимают значения и пределы, о которых заведомо известно, что они приводят к наиболее неблагоприятным результатам. Во время проведения оценивания или контроля безопасности предприятия используют программы и методики, аттестованные в установленном порядке.

Организационное, инструктивное и методическое обеспечение деятельности инженерно-технических работников служб эксплуатации для обеспечения технологической безопасности конструкций зданий и сооружений должно соответствовать требованиям стандарта ИСО 9001/МЭК 300-1. Научно-техническое сопровождение проблем ресурса при использовании методов FMECA (анализа характера, последствий и критичности отказов) включает работы по менеджменту безопасности в контексте следующих задач:

- оценка надежности, технологической безопасности производственных объектов;
- моделирование стратегии обслуживания с целью предупреждения аварийных ситуаций;
- мониторинг технического состояния конструкций с целью обеспечения установленных показателей безопасности.

При анализе вопросов безопасности и надежности часто используется Марковский подход (рис. 6.1), служащий наиболее простым аналитическим методом, который позволяет рассматривать стохастические процессы (процессы, в которых могут происходить случайные события).

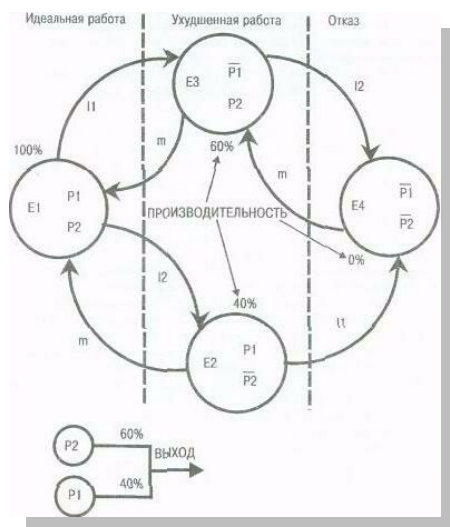


Рис. 6.1. Оценка выхода продукции (E1-E4) для производственных объектов (P1,P2) в зависимости от параметров интенсивности отказов (I1,I2) и интенсивности восстановления (m) в результате ремонтных работ

Ограниченность исходных данных в области безопасности и послеремонтной готовности вызывает необходимость смешивать данные, извлекаемые из различных источников: банки данных, результаты экспериментальных оценок и наблюдений, знания экспертов и т.д. В таком случае применение классического статистического подхода затруднено. Поэтому частотный подход (объективная оценка), как правило, заменяется байесовской оценкой, допускающей возможность аналитического подхода (субъективная оценка).

Гарантии оценки уровня безопасности могут быть установлены дополнительно при страховании зданий, сооружений и инженерных сетей в целях обеспечения конструктивной безопасности на основе объективной экономической необходимости защиты имущественных интересов владельцев основных фондов в современных экономических условиях.

Большая часть социальных и экономических потерь от возникновения техноприродных ЧС связана с разрушением и деформациями строительных объектов из-за их недостаточной надежности и защищенности. Возникновение техноприродных ЧС представляет реальную угрозу не только безопасности, но и нормальному, т.е. устойчивому развитию общества.

Сокращение потерь от техноприродных ЧС в современных условиях связано с научным обоснованием и установлением в законодательном порядке приемлемых (допустимых) для общества на определенный период времени значений техноприродного риска, а также дифференцирование по критериям риска территорий и производственных объектов повышенной опасности.

Переход от не реализуемой на практике из-за огромных материальных затрат концепции абсолютной надежности зданий к нормативному или законодательному принятию концепции допустимого техноприродного риска позволит:

- установить безопасность зданий и сооружений исходя из единого критерия допустимого риска, учитывая при этом все реально возможные воздействия техноприродных ЧС и их социальные, экономические и другие последствия;
- производить по указанному критерию обоснованные сравнения вариантов проектных и предпроектных решений по строительству и освоению новых территорий;
- перейти от существующей практики фиксации опасностей и ликвидации их последствий к государственному управлению риском от техноприродных ЧС.

Такое управление предполагает ограничение всех видов новой и существующей деятельности, включая строительство и модернизацию гражданских объектов, в зонах повышенного риска без осуществления комплекса профилактических мероприятий по снижению его допустимого уровня.

Методический подход, связанный с покрытием убытков при производстве строительно-монтажных работ или в процессе эксплуатации объектов повышенной опасности направлен на обеспечение возможности маневрирования финансовыми ресурсами с целью обеспечения инженерной защиты строительных конструкций и возмещения ущерба в случае наступления аварийных событий. Использование новых форм страхования, основанных на данных экспертной оценки технического состояния объектов с привлечением специализированных организаций, связано с внедрением принципов экономической ответственности и заинтересованности владельцев основных фондов в снижении эксплуатационных затрат при установленных показателях безотказной работы.

6.2. Методика оценки рисков при декларировании безопасности объектов

Для реального обеспечения строительных объектов и безопасности населения необходимо в первую очередь повысить обоснованность проектных решений, особенно в части прогноза негативных воздействий техноприродных ЧС. С недоработками и ошибками проектно-изыскательских этапов связаны около 33% аварий зданий и сооружений. Но для районов развития техноприродных ЧС, в том числе и террористических воздействий от взрывов ВВ и т.п. указанных очевидных мер будет явно недостаточно. Здесь необходимо переходить на новые вероятностные методы нормирования надежности с использованием показателей риска. Последние позволяют с единых позиций и в прямом виде учитывать социальные, экономические и экологические последствия опасностей любого характера. Требуемая устойчивость объектов строительства и территорий определяется при таком подходе исходя из нормативно или законодательно установленных значений допустимого (приемлемого) риска.

Методика определяет порядок проведения анализа опасности и оценки риска объектов повышенной опасности, устанавливает методические принципы, термины и понятия анализа риска, определяет критерии приемлемых рисков и их уровни.

Оценка рисков производится:

- для разработки декларации безопасности объектов повышенной опасности;
- для принятия решений относительно расположения и эксплуатации объектов повышенной опасности;
- для разработки мероприятий по предотвращению аварий и подготовки к реагированию на них;
- для определения объема ответственности и страховых тарифов при страховании гражданской ответственности субъектов хозяйственной деятельности за вред, который может быть причинен авариями на объектах

повышенной опасности в соответствии с требованиями Закона Украины «Об объектах повышенной опасности» и Закона Украины «О страховании».

Степень конструктивных рисков определяется на основании существующих расчетных методов оценки резервов несущей способности и остаточного ресурса по результатам диагностики технического состояния в зависимости от вероятности наступления аварийных событий и стоимости ущерба, вызываемого наступлением аварии.

Конструктивный риск определяется совокупностью критических дефектов и повреждений, накопленных на всех стадиях жизненного цикла строительных конструкций и используется в качестве комплексного показателя обеспечения надежности в процессе эксплуатации.

Оценка конструктивных рисков включает в себя:

- определение факторов риска (этапы и работы, при которых риск возникает);
- установление потенциальных областей риска;
- идентификацию всех возможных рисков и ранжирование их по степени опасности;
- определение количественной меры риска, определяемой уровнем потерь, измеряемых в денежном выражении.

Конструктивные риски по характеру воздействия являются составными и рассматриваются как композиция простых рисков. Простые риски определяются полным перечнем не пересекающихся событий, т.е. каждое рассматривается не зависящем от других.

Процедура мониторинга, паспортизации и реестризации объектов включает формирование информационной базы, по наименованиям видов строительных конструкций, условиям эксплуатации, классификации дефектов и повреждений конструкций, а также справочных материалов для оценки технического состояния конструкций по внешним признакам.

Оценка уровня риска и экспертизы решений по безопасности потенциально опасных объектов, выполняется при необходимости:

- разработки новых технологий и конструирования оборудования;
- проектирования и размещения новых производств;
- реконструкции действующих производств;
- экспертизы действующих производств и тех, которые реконструируются и проектируются;
- разработки планов локализации и ликвидации аварий;
- организации страховой защиты имущества предприятий;
- рассмотрения конфликтов между субъектом хозяйственной деятельности, который эксплуатирует или планирует эксплуатацию потенциально опасного объекта, и любыми заинтересованными сторонами, для которых аварии на объектах повышенной опасности могут иметь отрицательные последствия.

Данные непрерывного мониторинга для каждого объекта определяют перечень простых рисков, которые устанавливают условия страхования зданий и сооружений.

Уровень конструктивной безопасности определяется по данным статистической оценки выявленных дефектов и повреждений на основании технического освидетельствования объектов. Анализ режима эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений включает:

- исследование эксплуатационной нагруженности конструкций;
- уточнения характеристик материалов;
- анализ условий работы;
- анализ причин отказов и повреждений;
- организация системы технической диагностики и дефектоскопии;
- разработка мероприятий, противодействующих отрицательному влиянию конструктивных рисков.

На момент оценки технического состояния проводится идентификация рисков и определяется удельный вес каждого простого риска во всей совокупности конструктивных рисков.

Оценка вероятности наступления событий, относящихся к простому риску осуществляется на основании определения степени поврежденности конструкций и расчета остаточного ресурса несущей способности.

В соответствии с нормативными документами о порядке обследования и паспортизации объектов установлены следующие категории технического состояния объекта:

- I – нормальное безопасное состояние;
- II – весьма удовлетворительное безопасное состояние;
- III – удовлетворительное условно безопасное состояние;
- IV – предаварийное состояние;
- V – аварийное состояние.

Страхованию подлежат здания и сооружения, относящиеся к I, II и III категориям.

Анализ опасности и риска аварий на объекте повышенной опасности включает такие основные этапы:

- постановка задачи анализа опасности и оценки риска;
- анализ опасности и условий возникновения аварий;
- оценка риска (вероятности) возникновения аварий;
- анализ условий и оценка вероятности развития аварий;
- определение масштабов последствий;
- оценка вероятности последствий аварий;
- оценка приемлемости риска и принятие решений относительно уменьшения риска.

Постановка задачи содержит в себе такие основные этапы:

- определение цели и задачи исследования риска;

- выделение объектов, для которых необходимо, исходя из целей и задач исследования, выполнить анализ опасности и риска;

- определение реципиентов и выделение из них объектов, подлежащих анализу по конструктивным рискам.

Задачами исследования риска являются:

- установление уровня риска, который обусловлен эксплуатацией объекта повышенной опасности;

- управление риском путем сопоставления уровня риска с приемлемым и выбор решений относительно его снижения.

При выделении объектов, для которых необходимо при выполнении исследования риска с целью разработки декларации выполнить анализ опасности и риска, надлежит:

- определить те аппараты или установки, на которых возможны аварии с наибольшим выбросом опасных веществ;

- определить те из них, на которых аварии с поражением и нанесением убытков возможны за пределами предприятия;

- установить зоны максимального поражения, вид и масштаб возможных последствий отрицательных влияний;

- определить реципиенты, которые попадают в зону поражения, и определить объекты по группам конструктивных рисков.

С учетом особенностей опасных веществ, применяемых на объекте повышенной опасности, аппаратурного и технологического оформления объекта повышенной опасности, географического расположения, рельефа и климатических условий местности и т.п., местные администрации могут устанавливать приемлемый риск для других объектов с признаками конструктивных рисков. Как объекты потенциально опасные следует рассматривать:

- социально важные объекты;
- элементы экосистемы;
- имущество юридических и физических лиц.

Для каждого объекта анализа оценивается возможность влияния внешних сил, исходя из особенностей места его расположения.

Внешние влияния и их вероятность не зависят от условий эксплуатации объекта повышенной опасности. Поэтому определяется достаточность мер по обеспечению стойкости объекта к внешним влияниям и уменьшению негативных последствий. Количественная оценка риска при этом не выполняется. Составляется перечень возможных внешних влияний.

Анализ опасности и условий возникновения аварий выполняется только для тех опасностей, которые связаны с нарушением условий безопасной эксплуатации объекта.

В каждом объекте повышенной опасности анализируются технологическая среда и наличие в ней опасных веществ, их физико-химические, химические, теплофизические и другие свойства, приведенные в

научно-технической, справочной и нормативно-технической литературе, которые свидетельствуют об их опасности. При этом рассматривается не только возможность проявления опасных свойств при выходе веществ за границы аппаратуры и контакте с атмосферой, но и возможность опасных процессов в аппаратах и трубопроводах, в том числе возможность протекания неуправляемых реакций.

Для оценки риска (вероятности) возникновения аварий для каждого инициирующего аварию события на потенциальном источнике аварии выполняется оценка вероятности ее реализации на протяжении одного года. Во время рассмотрения возможных отклонений параметров процесса могут использоваться:

- дерево «отказов»;
- анализ видов и последствий, обработка статистических данных об аварийности технологической системы, которые отвечают специфике объектов повышенной опасности или виду деятельности;
- экспертные оценки вероятности возникновения рассматриваемого события, выполненные по определенной методике;
- другие обоснованные методы оценки.

Во время рассмотрения причин отклонений рассматриваются отказы оборудования, арматуры, поломки, возможные технологические причины, обусловленные нарушением режимов работы функционально связанных систем, а также ошибки персонала.

Если вероятность возникновения аварии есть неприемлемой величиной, то отыскиваются решения относительно ее снижения.

Следующим этапом оценки риска является анализ условий и оценка вероятности и развития аварий.

В случае реализации хотя бы одного из рассмотренных инициирующих аварию событий, предотвратить ее с помощью контролирования и регулирования параметров технологического процесса становится невозможным. Развитие опасных неконтролируемых процессов может привести к всяческим направлениям развития аварий с разными масштабами поражения и с последствиями, в зависимости от того, какие средства сдерживания аварии (противоаварийной защиты и локализации аварии) применяются и от результатов их реализации.

На этом этапе анализа риска на основе оценки вероятности срабатывания и отказа средств сдерживания аварии и ошибок персонала определяется вероятность разнообразных последствий аварии. Для этого можно использовать:

- дерево событий;
- анализ видов и последствий отказов;
- экспертные оценки вероятности возникновения рассматриваемого события, выполненные по определенной методике;
- другие обоснованные методы оценки.

Определение масштабов последствий аварий включает анализ возможных влияний на людей, имущество и окружающую природную среду. Для оценки возможных последствий и последующей оценки риска необходимо моделировать аварии для каждого возможного ее результата, определенного при выполнении анализа развития аварий.

Во время моделирования взрывов рекомендуется рассматривать:

- взрывы при разрушении оболочки или аппаратов трубопроводов в результате повышения давления в оборудовании вследствие неконтролируемых физических или химических процессов;
- взрывы при разрушении оболочки и вскипании сжиженных газов, которые находятся в аппаратах под давлением, или перегретых жидкостей;
- взрывы конденсированных веществ в оборудовании, в атмосфере при выбросах;
- объемные взрывы газовых и паровых туч при выбросах сжатых или сжиженных газов перегретых жидкостей;
- другие взрывные явления, возможные на рассмотренном объекте при возникновении аварийных ситуаций.

При моделировании пожаров рекомендуется рассматривать:

- горение свободных и ограниченных разливов горючих и легковоспламеняющихся жидкостей;
- диффузное или дефлаграционное сгорание несмешанных облаков при выбросах сжиженных газов под давлением и перегретых жидкостей («огневой шар»);
- факельное горение струи пара, газа или диспергированной жидкости;
- другие виды пожара, возможные на рассмотренном объекте при возникновении аварийных ситуаций.

При моделировании выбросов вредных и токсичных веществ в атмосферу учитываются погодные условия, состояние атмосферы, направление и скорость ветра, условия выброса и другие параметры.

В процессе анализа обнаруживаются другие опасные физические и химические процессы, которые могут реализоваться при возникновении и развитии аварии, и оценивается их отрицательное влияние на население, социально важные объекты.

Если на предприятии есть несколько объектов повышенной опасности и на каждом объекте повышенной опасности есть несколько источников (аппаратов), на которых возможны аварии с выходом за границы территории этого предприятия, должны быть оценены последствия всех возможных видов аварий на этих источниках.

При оценке уровня риска последствий аварии необходимо определять для выявленных в процессе анализа направлений ее развития и для каждого этапа ее развития, может ли она на этом этапе быть локализована и ликвидирована.

Для оценки территориального риска по полученным при моделировании аварии значениям поражающего фактора в определенной точке пространства определяется условная вероятность летального результата для человека в случае его пребывания в этой точке.

Если известна вероятность появления человека в определенной точке пространства, то определяется индивидуальный риск гибели в этой точке человека, который проживает в рассматриваемом регионе.

Подытоживая индивидуальные риски по всей территории рассмотренного региона, определяется индивидуальный риск проживания в нем, обусловленный возможными авариями на объекте повышенной опасности.

По значению территориального риска в выделенном регионе и плотности населения в нем определяется ожидаемое число погибших на протяжении одного года в рассмотренном регионе, или вероятность гибели в регионе на протяжении одного года более определенного количества людей, обусловленные возможными авариями на объекте повышенной опасности.

Расчет запасов времени от момента осмотра до перехода объекта в следующую худшую категорию технического состояния и в состояние, требующее капитального ремонта, исходя из фактических значений и допускаемых интервальных оценок поврежденности. Оценивание техногенного риска включает всесторонний анализ риска и определение его значимости в соответствующем контексте. Сумма ущерба определяется в результате моделирования аварийных ситуаций и включает убытки от повреждения (обрушения) строительных конструкций, повреждения оборудования и убытков (потери прибыли) от остановки производства на период восстановительных и ремонтных работ. Величина ущербов определяется по специально составленным сметам на восстановительные работы.

Экономическая эффективность мероприятий в процессе эксплуатации при обосновании программы обеспечения надежности (ПОНэ) определяется путем сопоставления допустимых и фактических затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ. Такой подход при продлении остаточного ресурса конструкций зданий и сооружений позволяет учесть все основные факторы, включающие конструктивные, технологические и эксплуатационные ограничения. Условием эффективности продления остаточного ресурса является соблюдение следующего неравенства:

$$Z_{kj} \leq Z_{dkj}, \quad (6.1)$$

где Z_{kj} – сметная стоимость очередного j -го капитального ремонта (реконструкции), выполненных по ПОНэ, грн; Z_{dkj} – допустимые затраты на проведение очередного j -го капитального ремонта при продлении остаточного ресурса T_{ry} , грн.

На практике вопрос об эффективности и целесообразности реализации ПОНэ тремя основными путями: в результате уменьшения затрат на

усиление, а также путем введения конструктивных, технологических и эксплуатационных ограничений, либо заменой в результате физического и морального износа.

Решение вопроса о целесообразности продления остаточного ресурса или замены изношенных конструкций сводится к определению сравнительной экономической эффективности эксплуатации конструкций до выполнения ремонтно-восстановительных работ по отношению к конструкциям после капитального ремонта (реконструкции):

$$\frac{S_n - S_l}{C_c - C_n} \leq T_{r\gamma}, \quad (6.2)$$

где S_l – ликвидационная стоимость конструкции, грн; S_n – остаточная стоимость конструкции с учетом затрат на капитальный ремонт, грн; C_c – эксплуатационные затраты до капитального ремонта, грн/год; C_n – эксплуатационные затраты после продления остаточного ресурса, грн/год.

6.3. Расчет предельных состояний конструкций по критериям технологической безопасности промышленных объектов

Требования технологической безопасности определяют исходя из расчетной ситуации, при которой отсутствует недопустимый риск, связанный с возможностью нанесения ущерба. Безопасность производственного процесса (эксплуатации конструкций здания или сооружения) устанавливается в нормативно-технической документации как свойство обеспечить условия безопасности труда производственного (эксплуатационного) персонала. Таким образом, технологическая безопасность, включая факторы производственной безопасности, дополнительно устанавливает условия, при которых не допускается ущерб, вызванный остановкой производственного процесса, связанный с техническим обслуживанием или ремонтно-восстановительными работами при поддержании заданных показателей качества строительных конструкций, зданий, сооружений или технического оснащения.

Мониторинг ЧС и анализ риска, т.е. определение плотности вероятности и частоты (повторяемости) возникновения опасных воздействий (источников) является исходной информацией для последующих процедур, включающих разработку сценариев развития ЧС к рассматриваемому объекту (объектам) и оценку вероятности ущерба того или иного уровня в случае реализации того или иного сценария аварийной ситуации.

Оценка вероятности ущерба предполагает проверку условия:

$$R \leq R_{np}, \quad (6.3)$$

где R – степень риска нанесения объекту ущерба определенного уровня при опасном воздействии данной интенсивности; R_{np} – предельное значение допустимого риска.

Степень риска, при количественном оценивании значимости мер обеспечения технологической безопасности, представляет собой расчетную оценку возможного материального ущерба (убытка) в негативном случае или возможной эффективности (выгоды) в положительном случае:

$$R = H * S \quad (6.4)$$

где R – степень риска (грн/год), как мера технологической безопасности; H – относительная частота возникновения события, связанного с материальным ущербом или возможной эффективностью (1/год); S – размер ущерба или положительных последствий, приведенные к стоимостному эквиваленту (грн).

В основном существует четыре различных стратегии регулирования риска:

- предупреждение риска, например, путем введением конструктивных, технологических или эксплуатационных ограничений;
- перенос риска, например, на контролирующие или надзорные органы, договоры страхования;
- минимизация риска, например, путем использования эффекта диверсификации (рассредоточения) рисков;
- принятие на себя риска, например, путем установления системы мониторинга, технического обслуживания и ремонта и т.п.

Целью традиционного расчета возникновения риска является необходимость в определении общей степени риска.

При таком расчете риск определяется в качестве продукта (произведения) из вероятности его возникновения и ожидаемого убытка, т.е. средней ожидаемой величины убытков.

При дискретных случайных величинах X , которые можно предположить равным величинам $x_1, x_2, \dots$ с соответствующими вероятностями $p_1, p_2, \dots$ вычисляется математическое ожидание $E(X)$.

Для дифференциации общей величины риска (математическое ожидание) необходимо объективное определение как величин $x_1, x_2, \dots$, так и соответствующих величин вероятностей $p_1, p_2, \dots$. Если таковые величины отсутствуют необходимо использовать «объективные» экспертные знания.

При этом величина риска может принять два различных выражения:

- количественный учет риска;
- качественный учет риска.

Существовавший до настоящего времени анализ степени риска связан с двумя подходами:

- детерминированный анализ степени риска;
- вероятностный анализ степени риска.

Информационное построение данных для управления технологической безопасностью на основе анализа степени риска и использовании современных методов менеджмента качества, представлено на рис. 6.2–6.4.

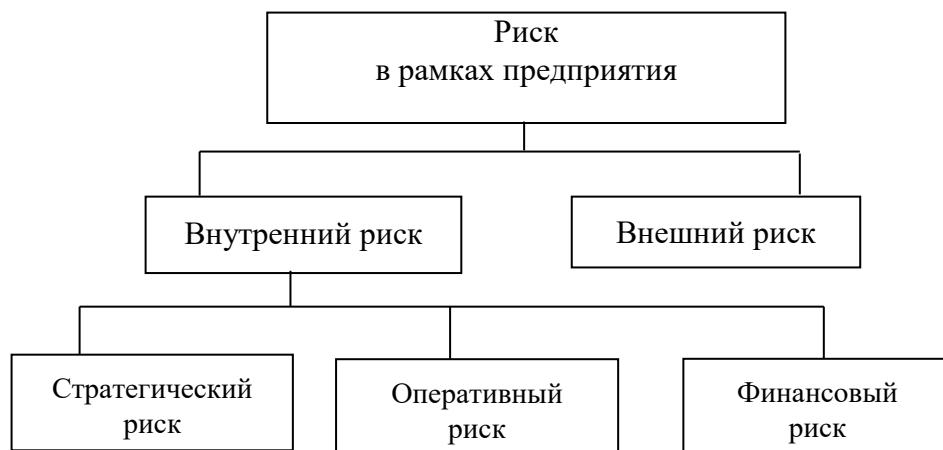


Рис. 6.2. Категории риска

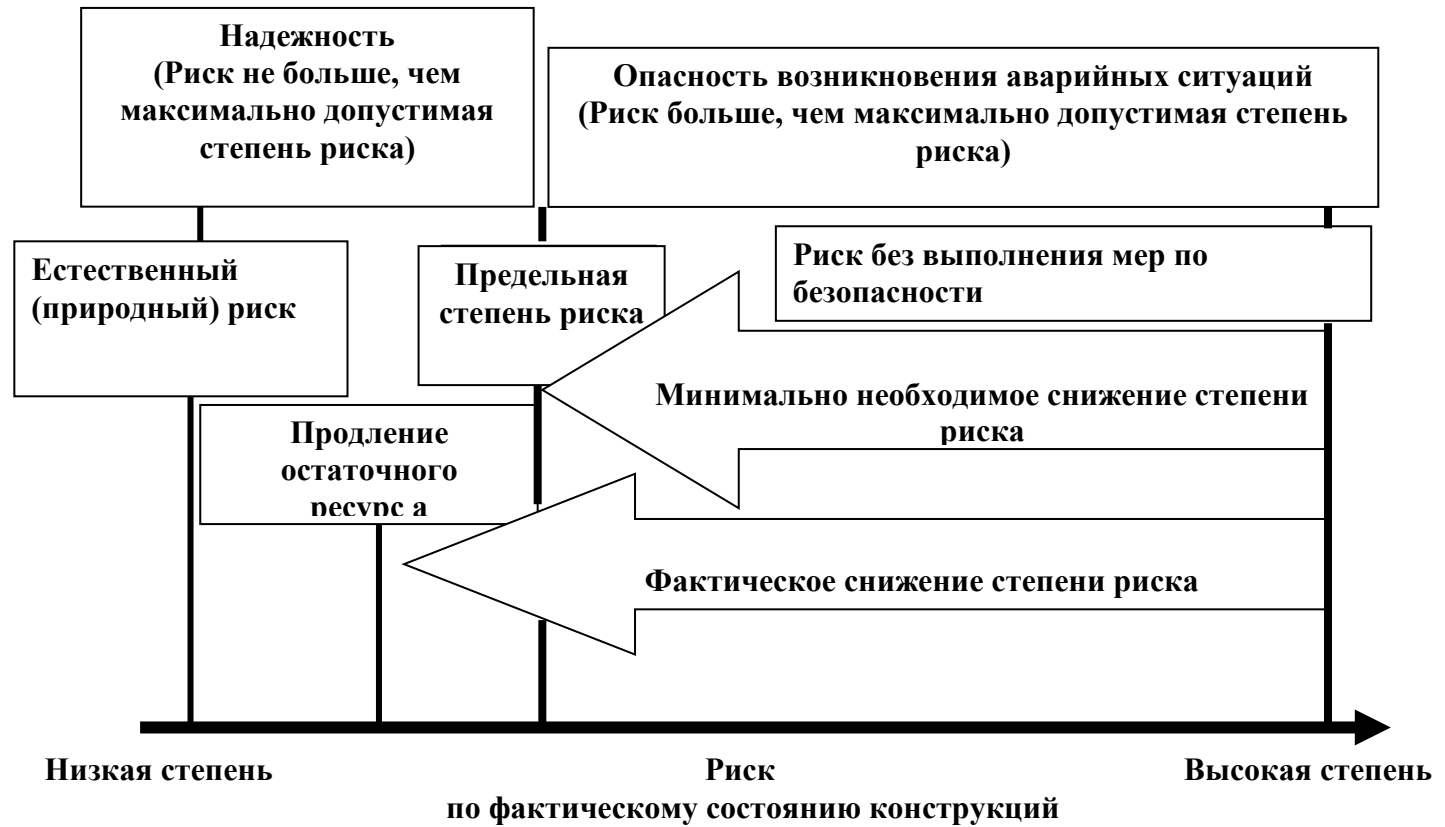


Рис. 6.3. Схема управления рисками при техническом обслуживании





Рис. 6.4. Детерминированный анализ степени риска

6.4. Организация технического обслуживания и ремонтов по фактическому состоянию

Ведущей концепцией, на основе которой решается задача продолжения остаточного ресурса конструкций, является системность определения деградационных процессов при разработке программы обеспечения надежности строительных металлоконструкций зданий и сооружений. Практическая реализация этого подхода связана с совершенствованием национальной нормативной базы, реализацией принципов, которые разрешают учитывать конструктивные риски для предупреждения аварийных ситуаций, на основе комплексного рассмотрения вопросов безопасной эксплуатации.

В настоящее время по Поручения Президента Украины (№ 1-1/509 от 17 апреля 2002 года) разработана Концепция национальной программы технологической безопасности для основных отраслей экономики. Одновременно проводится работа по формированию соответствующих отраслевых и региональных программ. В соответствии с поставленными задачами обеспечения технологической безопасности основным методом повышение эксплуатационной надежности конструкций зданий и сооружений должна стать организация технического обслуживания по фактическому состоянию.

При продолжительной эксплуатации конструкций в результате деградации свойств материала развиваются процессы старения, приводящие к снижению эксплуатационной надежности. Техническое состояние фонда строительных металлоконструкций в Украине стал предметом обсуждения научно-технического совета Госстроя Украины, на котором поддержано предложение ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановського» относительно разработки проекта нормативного документа ДБН «Техническая эксплуатация строительных конструкций и сооружений, оценка технического ресурса, эксплуатация и инженерная защита».

При подготовке указанного нормативного документа следует определить принципы идентификации фактического состояния конструкций зданий и сооружений, что обеспечит системный подход к проблемам обследования, оценки технического состояния и усиления конструкций, разрешит осуществить организационное регулирование деятельности служб эксплуатации зданий и сооружений, контролирующих органов относительно поддержки установленных показателей качества и долговечности.

Решение задачи обслуживания по фактическому состоянию связано с использованием стандартных моделей припускового контроля, устанавливающих ограничения на конструктивные, технологические и эксплуатационные факторы. Предполагается разработка математического аппарата проверки статистических гипотез с целью принятия решений по

прекращению или продолжению эксплуатации с учетом установленных доверительных интервалов конструктивных рисков.

Обеспечение безаварийной эксплуатации зданий и сооружений невозможно без выполнения требований научного обоснования норм и способов содержания, обслуживания, текущего и капитального ремонта несущих и ограждающих конструкций. Проблема рациональной эксплуатации является важной составной частью повышения эксплуатационной надежности на основе улучшения организации обслуживания. Повышение объемов работ по обследованию, оценке технического состояния, усилению конструкций зданий и сооружений является следствием отсутствия регламентированных требований относительно поддержки показателей качества и долговечности основных фондов в процессе функционирования зданий и сооружений. Нормативные документы, в том числе ГОСТ 18322-73 «Система технического обслуживания и ремонта техники» и ДБН А1.1-93 «ССНБ. Основные положения» не определяют сущность термина «эксплуатация». Действующее «Положение о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений», разработанное Госстроем СССР в 1974 году не отражает требований организации обслуживания и, с учетом высокого уровня износа строительной части основных фондов, препятствует эффективной работе эксплуатационного персонала по предотвращению деградационных процессов на основе технологий обслуживания по фактическому состоянию.

Внедрение подхода, основанного на оценке показателей качества эксплуатации, определяет последовательность принятия решений для предотвращения аварийных ситуаций, контроля и инженерной защиты от последствий отказов, связанных с ослаблением функций контроля эксплуатационного персонала и созданию методологических основ предотвращения отказов при обслуживании промышленных и гражданских объектов по фактическому состоянию. Выбор конструктивных, технологических и эксплуатационных ограничений обеспечивает возможность управления показателями надежности и остаточного ресурса с учетом результатов оценки эксплуатационного состояния конструкций (рис. 6.5).

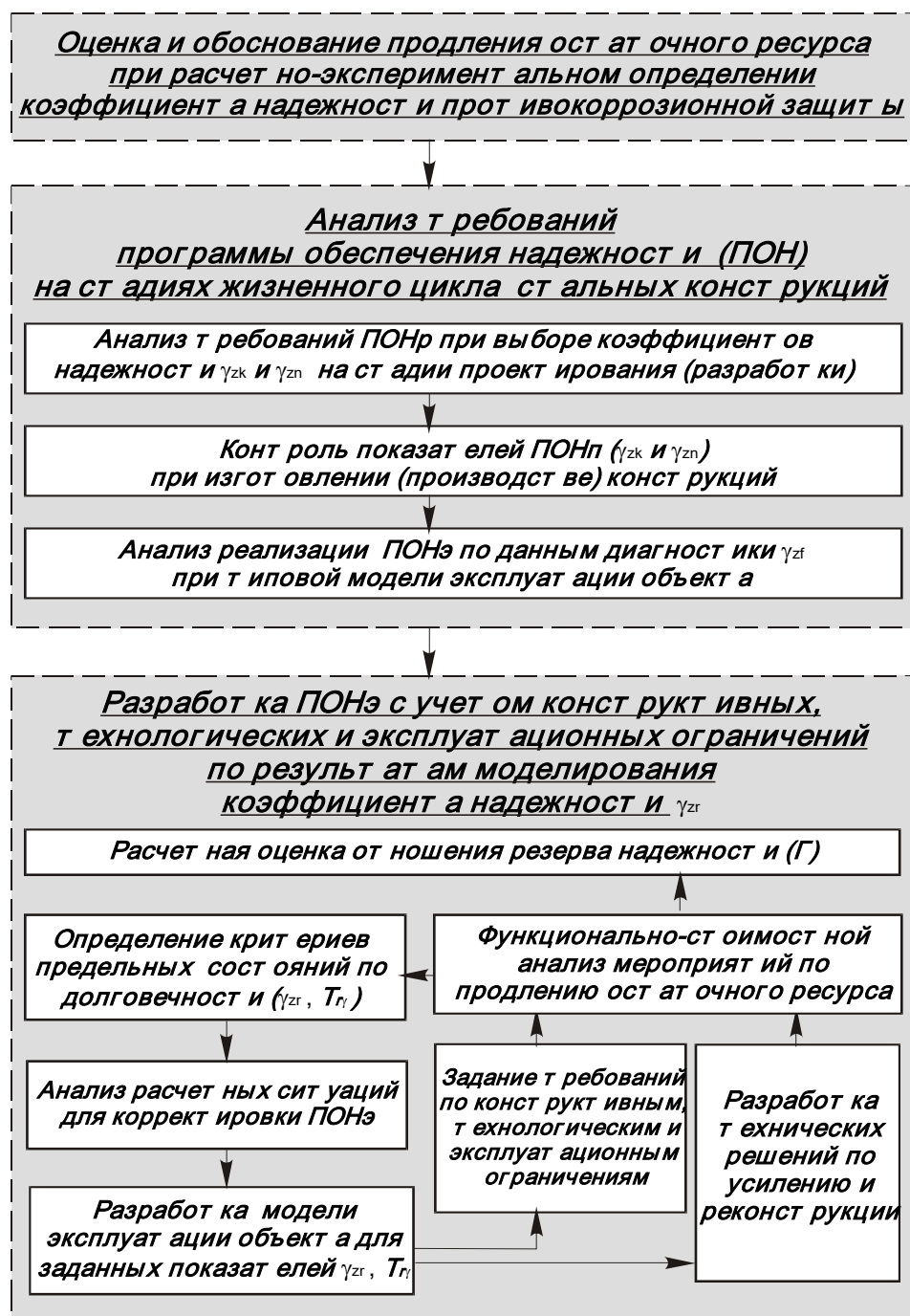


Рис. 6.5. Последовательность расчетно-экспериментального определения ресурса конструкций при разработке программ обеспечения надежности при эксплуатации (ПОНэ)

Разработка проекта ДБН «Техническая эксплуатация строительных конструкций и сооружений, оценка технического ресурса, эксплуатация и инженерная защита» разрешит обеспечить возможность решения вопросов страховой защиты и привлечения внебюджетных средств для предупреждения аварийных ситуаций и техногенных катастроф. Материалы разработки предназначены для усовершенствования функционально-элементной структуры принятия решений для предотвращения контролю и инженерной защиты от последствий отказов, связанных с ослаблением функций контроля эксплуатационного персонала и созданию методологических основ предотвращения отказов при обслуживании промышленных и гражданских объектов по фактическому состоянию. Использование превентивного подхода, обеспечивающего выявление и устранение дефектов в процессе эксплуатации технических систем отображает международный опыт (программа Ф. Кросби, США; К. Исигава, Япония и др.) в обеспечении безотказности по результатам системного объективного контроля и корректирующих изменений при реализации ПОН.

Проблема обеспечения надежности строительных металлоконструкций на современном этапе связана с необходимостью обоснования остаточного ресурса на методологической основе, определенной на международном уровне требованиями стандарта ИСО 9001/МЭК 300-1. Совершенствование национальной нормативной базы предусматривает реализацию принципов, связанных с разработкой технических регламентов предупреждения аварийных ситуаций, комплексное рассмотрение вопросов безопасной эксплуатации на основе программы обеспечения надежности (ПОН) на всех стадиях жизненного цикла, использования экономических методов оценки эффективности продления остаточного ресурса. Указанный подход диктуется также интересами собственника зданий и сооружений, обусловленными необходимостью страховой защиты на рынке услуг, связанных с оценкой технического состояния, паспортизацией, разработкой проектно-технологической документации на ремонт, усиление и реконструкцию промышленных объектов.

Проблема продления остаточного ресурса стальных конструкций в коррозионных средах металлургических предприятий связана с комплексным подходом, включающим технический надзор, диагностику и мониторинг эксплуатационного состояния конструкций на основе системных методов обеспечения надежности зданий и сооружений.

Как правило, функции технического надзора, включающие систематические осмотры и обследования строительных конструкций, проверку условий их функционирования с целью своевременного выявления дефектов и повреждений, оценки степени их износа, определения объемов и видов ремонтных работ, выполняются персоналом отдела смотрителя зданий и сооружений. К компетенции специализированных организаций относится техническая диагностика и определение остаточного ресурса объектов, в том числе с подготовкой и проведением испытаний, разработками нормативно-

технической и методической документации, подготовкой и аттестацией персонала лабораторий.

Для организации работ по техническому освидетельствованию и паспортизации зданий и сооружений разрабатывается график с определением объектов, которые подлежат техническому диагностированию; видов и сроков обследования; лиц, которые отвечают за составление договора и за организационно-техническое обеспечение работ, источники финансирования. Методы и объемы отдельных видов работ и исследований детализируются в техническом задании, прилагаемом к договору. В договорах обуславливаются также обязательства сторон относительно выполнения подготовительных и вспомогательных работ. Результаты технического освидетельствования и проверочного расчета конструкций здания (сооружения) представляются специализированными организациями в виде технических отчетов.

Переход от системы планово-предупредительных ремонтов к техническому обслуживанию конструкций по фактическому состоянию определяет изменение функций деятельности служб эксплуатации, изменяет традиционные подходы к взаимодействию со специализированными организациями и обуславливает необходимость разработки ПОН, направленных на обеспечение заданных требований к надежности сооружений предприятия.

Обеспечение технологической и эксплуатационной безопасности промышленных предприятий ставит в качестве основной задачи перед службой технической эксплуатации предприятия разработку системы мониторинга по фактическому состоянию, в соответствии со схемой, представленной на рис. 6.6.

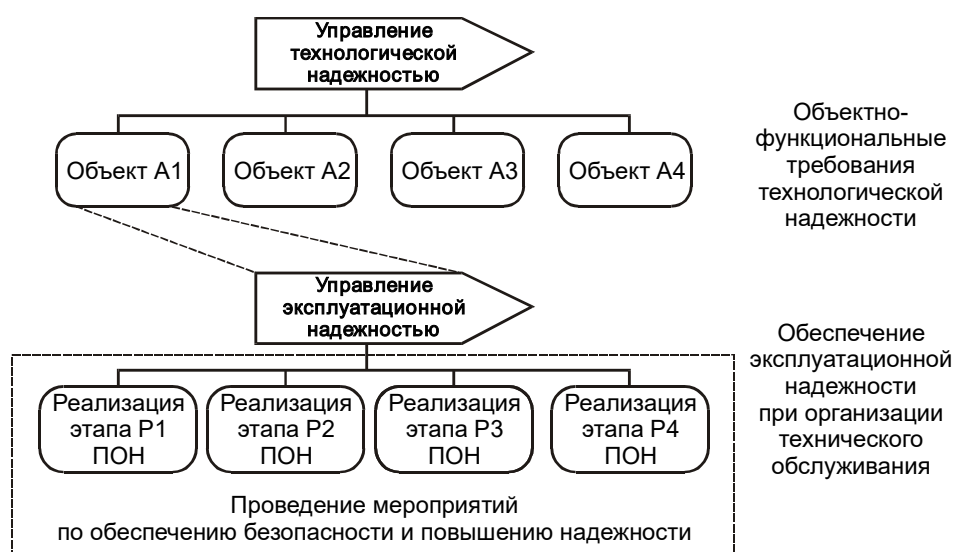


Рис. 6.6. Иерархия уровней технологической и эксплуатационной безопасности

В зависимости от состава исходных данных и поставленных задач необходимо рассматривать два основных подхода к анализу надежности объектов:

- анализ показателей сохраняемости, долговечности и ремонтпригодности по результатам мер, установленных на этапах проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации, согласно программы обеспечения надежности;

- количественная оценка показателей надежности объекта, по данным анализа режима эксплуатации, выявление причин отказов и повреждений конструктивных элементов, организации и проведения ремонтов по фактическому состоянию, направленных на продление остаточного ресурса конструкций.

Программа работ по обеспечению надежности металлических конструкций в процессе эксплуатации включает комплекс организационно-технических мероприятий, представленных на схеме (рис. 6.7).

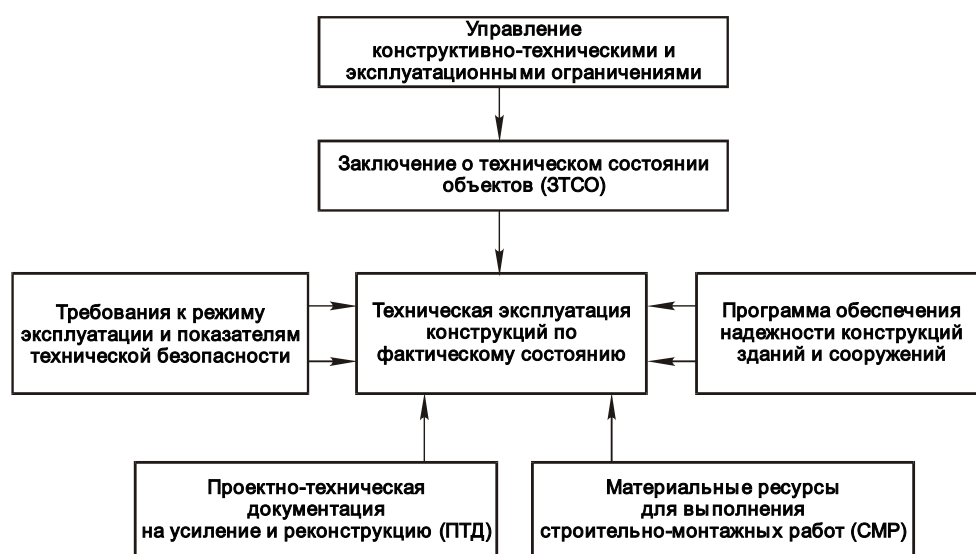


Рис. 6.7. Организационно-технические мероприятия при обслуживании конструкций по фактическому состоянию

Учитывая, что в нормативно-технической документации не регламентированы требования по надежности металлических конструкций, связанные с проектированием, технологией изготовления и монтажа, правилами сервисного обслуживания, гарантийные сроки обеспечения безаварийной эксплуатации и долговечности устанавливаются при проведении мероприятий по паспортизации, оценке технического состояния объекта, а также в проектно-технологической документации на основе технического задания, определяющего перспективу технического переоснащения и реконструкции производственных мощностей.

Концепция безопасной эксплуатации по техническому состоянию имеет определяющее значение для современных тенденций развития предприятий металлургического комплекса. Развитие технологической базы металлургических комбинатов с полным циклом и совершенствование инфраструктуры мини-заводов определяют необходимость продления ресурса существующих конструкций зданий и сооружений с учетом тенденций реструктуризации черной металлургии (рис. 6.8).



Рис. 6.8. Новые конструктивные и технологические решения агрегата для внепечной обработки стали при реконструкции мартеновского цеха

Определение периодичности технического диагностирования при обслуживании по фактическому состоянию включает анализ данных табл. 5.2.

Среди основных этапов, создающих благоприятные предпосылки для разработки ПОН является системный анализ режима эксплуатации, определение перечня отказов и предельных состояний, уточнение состава параметров при экспертном диагностировании, разработка математических моделей показателей надежности на основе методов функционально-стоимостного анализа.

Результатом практической реализации основных этапов ПОН должны стать информационные данные, представленные в табл. 6.1.

Формирование структуры документов по контролю за обеспечением
технологической безопасности

Таблица 6.1

№	Цель организационно-технических мероприятий ПОН
Для руководителей верхнего уровня	
1.1.	Формирование системы взаимодействия со специализированными и подрядными организациями, обеспечивающими технологическую и эксплуатационную безопасность
1.2.	Распределение обязанностей, ответственности и полномочий между руководителями и подразделениями при реализации ПОН
1.3.	Разработка графика технического обслуживания зданий и сооружений по фактическому состоянию
1.4.	Создание механизмов (процедур и методик) управления технологической и эксплуатационной безопасностью на основе страховой защиты объектов
1.5.	Разработка структуры показателей, методик и оценка эффективности реализации ПОН
Для руководителей среднего звена	
2.1.	Разработка нормативных документов, регламентирующих требования технологической и эксплуатационной безопасности
2.2.	Формирование базы данных технического обслуживания конструкций зданий и сооружений по фактическому состоянию
2.4.	Обучение персонала по вопросам, связанным с технической эксплуатацией зданий и сооружений
Для специалистов	
3.1.	Создание инструкций и методик, определяющих деятельность при обслуживании по фактическому состоянию конструкций зданий и сооружений

На рис. 6.9 представлена последовательность формирования технической документации, связанной с реализацией программы обеспечения надежности для условных объектов А1–А4 при создании регламента выполнения работ по обеспечению технологической и эксплуатационной надежности.

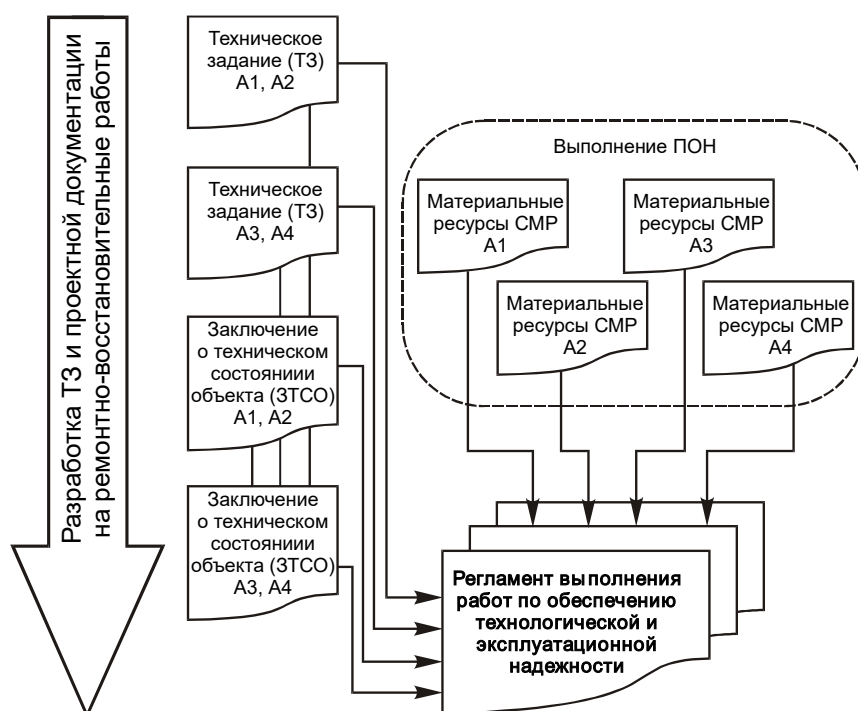


Рис. 6.9. Построение этапов реализации ПОН

Формирование принципов взаимоотношений всех участников процесса предупреждения аварийных ситуаций, обозначенных на схеме (см. рис. 1), обеспечивает возможность для разработки системы мониторинга технического состояния конструкций зданий и сооружений, управление которой осуществляется на основе требований технического задания службы эксплуатации зданий и сооружений. При этом значительный объем информационных данных, связанных с организационно-техническими мероприятиями ПОН, накапливается и систематизируется с помощью современных средств построения баз данных.

Методическое обеспечение задач управления технологической и эксплуатационной безопасностью регламентируется типовыми этапами построения программ обеспечения надежности на основе критериев технического диагностирования конструкций (см. табл. 5.2), экспериментальных данных контроля технического состояния конструкций при паспортизации зданий и сооружений различного назначения.

6.5. Экспертиза конструктивных рисков при оценке технологической безопасности

Эффективность мероприятий ПОНэ в значительной степени определяется возможностями сопоставления различных вариантов технико-экономических показателей конструктивных решений при обосновании мероприятий по продлению ресурса конструкций.

Дополнительные возможности практического приложения функционально-стоимостного анализа при оценке эффективности мероприятий противокоррозионной защиты связаны с численным моделированием коэффициента надежности γ_{zn} . Построение оптимальной функции «безопасность – стоимость» связано с расчетно-экспериментальным обоснованием гарантированных показателей долговечности T_{zy} ($T_{m\gamma}$), T_{vy} для назначенного срока службы T_n и расчетных ситуаций режима эксплуатации объекта при заданных ограничениях функции γ_{zn} ($C_{огр}$) или $C(\gamma_{znогр})$.

Системный анализ условий эксплуатации стальных конструкций промышленных зданий, выполненный на основе разработанного расчетно-теоретического метода обеспечения гарантированных показателей надежности и долговечности, является объективной основой для разработки противокоррозионных мероприятий на всех стадиях: от проектного задания до восстановления защитных покрытий.

Существующее разнообразие технических решений стальных конструкций в агрессивных средах определяется сложной структурой элементов противокоррозионной защиты. Поэтому на заключительном этапе задача расчетно-аналитического описания затрат, связанных с поддержанием установленных показателей качества и долговечности стальных конструкций, заключается в экономико-математическом моделировании конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, описывающих начальные условия в зависимости от установленной расчетной ситуации.

Использование расчетного метода при оценке надежности и безопасности стальных конструкций включает выполнение следующих операций:

- определение фактического характера нагрузок и особенностей режима эксплуатации промышленных зданий и сооружений в виде иерархической системы «объект – конструктивный элемент»;
- составление функциональной модели режима эксплуатации стальных конструкций в виде логической или табличной модели расчетных ситуаций;
- классификации конструктивных элементов по критериям отказов и выбор соответствующих методов расчета;
- выполнение детерминированных расчетов (по показателям коррозионной стойкости, долговечности, ремонтпригодности и послеремонтной прочности) при наиболее неблагоприятном сочетании факторов и условий эксплуатации; определение численных значений показателей надежности вероятностными методами.

Структура показателей надежности стальных конструкций в коррозионных средах включает технический контроль, диагностику и

расчетно-экспериментальную оценку ниже перечисленных условий эксплуатации промышленных объектов (рис. 6.10):

А – событие, заключающееся в сохранении объектом исправного состояния в период нормальной эксплуатации;

В – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния технологического оборудования и связанное с изменением состава и концентрации агрессивных воздействий;

С – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния ограждающих конструкций;

Д₁ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния противокоррозионной защиты;

Д₂ – событие, заключающееся в восстановлении работоспособного состояния противокоррозионной защиты;

Е – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния противокоррозионной защиты;

Г₁ – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния при появлении коррозионных повреждений;

Г₂ – событие, заключающееся в восстановлении исправного состояния в процессе усиления конструктивного элемента;

Г₁ – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния в результате отклонения фактического состояния конструкции от предусмотренного проектом;

Г₂ – событие, заключающееся в восстановлении исправного состояния в процессе усиления конструктивного элемента;

Р – событие, заключающееся в переходе объекта в предельное состояние;

Н – событие, заключающееся в нарушении работоспособности состояния стальных конструкций.

Возможные состояния строительных металлоконструкций определяются в соответствии с установленными признаками коррозионного состояния по данным обследования или на основе методов технической диагностики при расчетно-экспериментальной оценке долговечности.

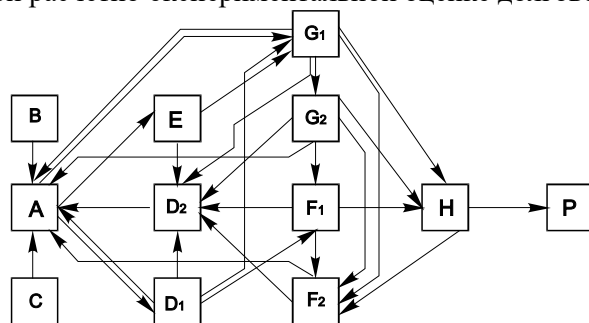


Рис. 6.10. Структура «дерева событий» при обосновании программы работ по обеспечению ремонтпригодности и послеремонтной прочности конструкций

Логические модели, представленные ориентированными графами (см. рис. 6.10), включают в себя вершины, соответствующие событиям, устанавливающим причинно-следственную связь между дискретными промежутками времени, характеризующими возможные варианты технического обслуживания конструкций по фактическому состоянию для поддержания требуемых показателей качества и долговечности. Каждая дуга преобразует входные параметры, отражающие особенности соответствующих подсистем Н–К–С, в выходные параметры, являющиеся слагаемыми при определении гарантированной долговечности, или назначенного срока службы конструктивного элемента.

Состав и структура задачи оценки показателей надежности металлических конструкций с помощью логических моделей режима эксплуатации в терминах теории графов может быть рассмотрена на основе моделирования поведения системы состоящей из двух элементов:

А – конструктивный элемент, характеризующийся отношением резерва надежности Γ ;

В – защитное покрытие, с коэффициентом надежности противокоррозионной защиты γ_{zn} с учетом взаимодействия подсистем Н–К–С.

Моделирование по схеме включает анализ четырех состояний процесса:

- 1 – оба элемента работоспособны;
- 2 – элемент А отказал, элемент В работоспособен;
- 3 – элемент В отказал, элемент А работоспособен;
- 4 – оба элемента отказали.

Установленные принципы вероятностно-аналитического моделирования (табл. 6.2) расчетных ситуаций при оценке показателей надежности и долговечности противокоррозионной защиты стальных конструкций позволяет решать две группы задач на единой методологической основе анализа технологических систем:

- прикладные, ориентированные на разработку новых конструктивных форм, средств и методов противокоррозионной защиты в агрессивных средах с заданными параметрами интенсивности воздействий;

- проблемные, отражающие тенденции в металлостроительстве на основе причинно-следственных связей подсистем Н–К–С.

Вероятность диагноза D_i по комплексу признаков X_i
 $P(D_i / X_i^*) = P(D_i) P(X_i^* / D_i) / P(X_i^*)$
 Системный анализ комплекса признаков $X=(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_g)$

Таблица 6.2

Возможные последствия отказов	Обозначение классификационных признаков	Группа предельных состояний	Возможность и способ восстановления технического ресурса (срока службы)	
			не ремонтируемые	ремонтируемые
X41	X11, X31, X51 X63, X72, X81	I	γ_{zn}, γ_{zk}	γ_{zn}, γ_{zf}
		II	T_n	$T_{m\gamma}, T_{z\gamma}, T_{n\gamma}, T_{np\gamma}$
X42		I	γ_{zk}	γ_{zf}
		II	T_n	$T_{m\gamma}, T_{z\gamma}, T_{n\gamma}$

Выбор расчетных ситуаций для обоснования ПН и гарантированной долговечности в соответствии со схемой (см. рис. 6.5) предполагает аналитическое описание подсистем Н–К–С и определение экономической эффективности $Q(t)$ при заданных значениях коэффициента γ_{zn} .

Экономическая эффективность эксплуатации объектов в коррозионных средах $Q(t)$ имеет вид:

$$Q(t) = \dot{I}(t) - [C_r + (\delta C_y / \delta t) * \Delta t], \quad (6.5)$$

где: $\dot{I}(t)$ – суммы амортизационных отчислений в соответствии с нормами по основным фондам промышленности, грн; C_n – затраты на изготовление конструкции или объекта; $\delta C_y / \delta t$ – изменение затрат на эксплуатацию за промежуток времени Δt , грн./год.

Увеличение затрат на изготовление при использовании более эффективных материалов приводит, с одной стороны, к уменьшению экономического эффекта (6.7), а с другой – к его увеличению за счет повышения надежности и долговечности и соответствующего снижения эксплуатационных затрат. Математически это выражается зависимостями:

$$\gamma_{zn}(C_r) = \gamma_{zn0} + \sum_{i=1}^n [(\delta \gamma_{zn} / \delta C_{ii}) \cdot \Delta C_{ii}]; \quad (6.6)$$

$$\delta \tilde{N}_y / \delta t = \varphi[\tilde{N}_{ii} \gamma_z(\tilde{N}_i) t], \quad (6.7)$$

где γ_{zn0} – коэффициент надежности противокоррозионной защиты при первоначальных затратах на создание конструкции или объекта; $\delta \gamma_z / \delta C_{ii}$ – коэффициент влияния стоимости i -го элемента на его надежность; ΔC_{ni} – затраты на увеличение надежности за счет повышения качества и долговечности i -го элемента; $\delta C_y / \delta t$ – скорость изменения эксплуатационных затрат; $\gamma_z(C_n)$ – коэффициент надежности противокоррозионной защиты с учетом затрат на изготовление (C_n).

При условии определения технологически целесообразного срока эксплуатации t_{opt} срок службы T_n назначается с учетом экономической

эффективности противокоррозионных мероприятий на стадии проектирования на основании зависимостей:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\max}(t) &= \dot{I}(t) - [C_i + (\delta C_y / \delta t) \cdot \Delta t] \\ \dot{O}_i &= \arg Q_{\max} \\ \delta C_y / \delta t &= \dot{O}[C_{ii}, \gamma_{zn}(C_i), t] \\ \gamma_{zn}(C_e) &= \gamma_{zn0} + \sum_{j=1}^n [(\delta \gamma_{zn} / \delta C_{ei}) \cdot \Delta C_{ei}] \\ C_e &= \arg \gamma_{zn}(C_e) \rightarrow \min \\ \dot{I}(t) &= f[C_e(\delta C_y / \delta t) \cdot \Delta t; \gamma_{zn}(C_e), t] \end{aligned} \right\}. \quad (6.8)$$

Нормальная эксплуатация строительных металлоконструкций в коррозионных средах включает проведение следующих мероприятий:

- нанесение всей системы защитного покрытия, предусмотренного проектом, не позднее чем через 6 месяцев после их изготовления;
- регулярное восстановление защитных покрытий в процессе текущих и средних ремонтов по данным контроля технического состояния;
- капитальные ремонты строительных конструкций и оборудования;
- нанесение систем защитных покрытий на элементы усиления конструкций;
- выполнение мероприятий по защите от коррозии новых конструктивных элементов, поступивших с завода-изготовителя в соответствии с проектом реконструкции.

Нарушения режима нормальной эксплуатации, как правило, вызваны изменением степени агрессивности воздействий вследствие повреждений технологического оборудования, ограждающих конструкций и т.п.

6.5.1. Результаты оценки показателей безопасности объектов коксохимического производства

В соответствии с порядком, приведенном в разделе 5.3 определен остаточный ресурс однородных конструктивных элементов ректификационной колонны коксохимического предприятия. Расчетные данные, установленные при экспертном диагностировании технического состояния приведены в табл. 6.3.

Результаты оценки остаточного ресурса ректификационной колонны по
однородным зонам эксплуатации

Таблица 6.3

Однородная зона	Статистические данные измерения толщин по зонам	γ_{zr}	A_k , г/м ² год	T_{ry} , лет
1	$t_k = 8,9 \dots 9,1$ мм язвы глубиной от 0,5 до 1,0 мм	0,27	4780	3,9
2	$t_k = 7,8 \dots 8,1$ мм язвы глубиной от 0,5 до 2,5 мм	0,24	4500	3,2
3	$t_k = 6,1 \dots 7,3$ мм язвы глубиной от 1,0 до 3,5 мм	0,11	4900	1,1

Оптимальной периодичность диагностирования выбирается из следующих критериев: минимума удельных издержек, связанного с эксплуатацией конструкции; максимального периода эксплуатации конструкции; минимума удельных затрат при обеспечении безотказной работы конструкции.

Периодичность диагностирования при экспертном диагностировании объектов коксохимического производства установлена в зависимости от степени агрессивности воздействий (табл. 6.4).

Рекомендуемая периодичность диагностирования

Таблица 6.4

Кодировка	γ_{zr}	Степень агрессивности воздействий				
		2 ¹	3	4	5	6
1.1.1	$< 0,15$	2	2	1	1	1
	$\geq 0,15$	4	4	2	2	2
1.1.2	$< 0,15$	4	4	2	2	2
	$\geq 0,15$	4	4	2	2	2

Комплекс конструктивных, технологических и эксплуатационных ограничений для объектов, представленных в табл. 6.5, установлен на основании функционально-стоимостного анализ коэффициента надежности γ_{zr} , использованного при расчетной оценке остаточного ресурса T_{ry} .

Статистическое моделирование результатов экспертного диагностирования коррозионного состояния конструкций (γ_{zf}) выполнено для оценки показателей диагностирования (γ_{zr} , T_{ry}) с учетом установленного уровня вероятности безотказной работы $P_r=0,95$.

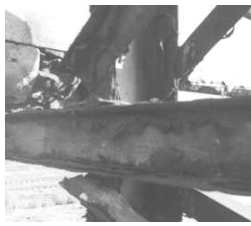
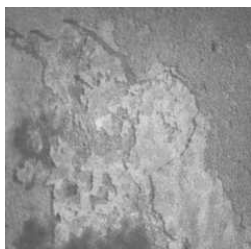
¹Примечание. 2 – слабоагрессивная среда; 3 – низкоагрессивная среда; 4 – среднеагрессивная среда; 5 – высокоагрессивная среда; 6 – сильноагрессивная среда

Результаты оценки показателей диагностирования
стальных конструкций объектов коксохимического предприятия

Таблица 6.5

Наименование объекта диагностирования	Общий вид	Характеристика степени агрессивности режима эксплуатации, $A_r (L, G, S)$, г/м ² год	γ_{sr}	Остаточный ресурс конструкции T_{ry} , год
1	2	3	4	5
Пролетное строение транспортной галереи наклонного моста (коксовый цех)		4400–5000	0,25	8,5–6,4
Промежуточная опора эстакады трубопроводов (цех ректификации)		3400–4000	0,22	20,1–15,8
Стропильная ферма покрытия цеха углеподготовки		2900–3200	0,07	2,1–1,8
Листовые конструкции ректификационных колонн		4500–5100	0,2	3,9–1,1
Пролетное строение крана-перегрузчика угольного склада		3100–3650	0,21	8,1–6,4

Продолжение табл. 6.5

1	2	3	4	5
Опорный узел стропильной конструкции эстакады цеха углеподготовки		4400–5000	0,19	5,7–4,8
Листовые конструкции резервуара в цехе газопередачи		5600–6200	0,09	1,4–1,2

Для рассмотренных конструкций на основе оценки показателя качества эксплуатации и результатов зонирования определен остаточный ресурс $T_{гг}$. При необходимости корректировки типовой модели эксплуатации на основе допустимых конструктивных, технологических и эксплуатационных ограничений разрабатывается ПОНэ с учетом требований по продлению остаточного ресурса.

6.5.2. Моделирование коррозионных воздействий для гражданских объектов

Для определения характера и степени влияния агрессивности режима эксплуатации зданий и сооружений на степень риска и безопасности необходимо уточнение внешних климатологических воздействий, параметров технологического режима эксплуатации и внутренних факторов, влияющих на показатели коррозионной стойкости. Анализ результатов обрушений конструкций гражданских объектов за последние годы свидетельствует о необходимости выполнения контроля технического состояния и регламентации мер по техническому обслуживанию несущих и ограждающих конструкций покрытий зданий спортивного, зрелищного, административного назначения, где имеет место значительная концентрация населения или обслуживающего персонала. В качестве примера, приведем анализ возможного изменения несущей способности легких металлоконструкций покрытия здания средней емкости.

Характеристика конструктивных решений здания. Конструкция структурной плиты атриума размещается в осях F-L/11-14, имеет размеры в

плане 18000×18000 мм, высота плиты составляет 1500 мм, коньковый узел находится на отметке +23,260 м. Низ конструкции находится на высоте +19,66.

Несущая конструкция зимнего сада размещается в осях G-N/5-10, имеет размеры в плане 21000×21000 мм, коньковый узел находится на отметке +23,260 м. Высота плиты составляет 1500 мм. Низ конструкции находится на высоте +19,66 м.

Структурной конструкция патио размещается в осях O-Q/3-6, имеет размеры в плане 10000×15000 мм, высота плиты составляет 3000 мм, коньковый узел находится на отметке +11,50 м. Низ конструкции находится на высоте +8,50 м.

В зависимости от места расположения при эксплуатации конструктивные элементы классифицируются по категориям размещения (рис. 6.11, табл. 6.6).

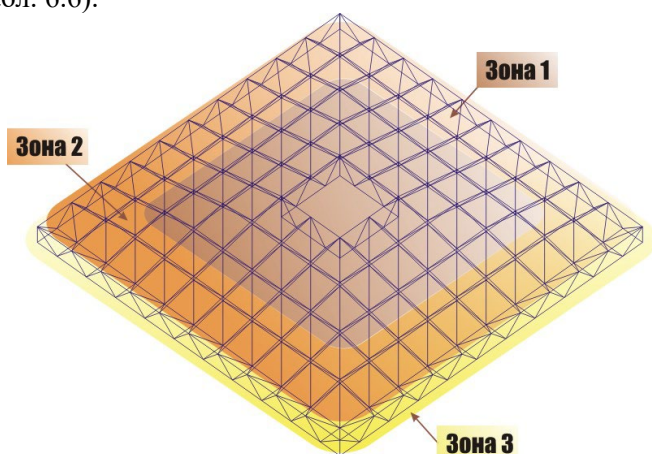


Рис. 6.11. Зонирование режима эксплуатации по степени агрессивности коррозионных воздействий

Расчетная оценка параметров коррозионной агрессивности производится на основе зонирования эксплуатационных сред на основе установленных характеристик строительной климатологии.

Программа и методика выполнения работы была основана на имеющемся опыте диагностики коррозионного разрушения стальных конструкций сооружений различного назначения. В процессе экспериментального исследования выполнено зонирование режима эксплуатации несущих и ограждающих конструкций атриума, патио и зимнего сада, определен состав агрессивных воздействий на элементы конструкций покрытия и характерные особенности коррозионного разрушения конструктивных элементов.

Установлено, что процессы старения и разрушения защитных покрытий являются причиной развития коррозионных поражений, которые

свидетельствуют о снижении показателей пригодности к нормальной эксплуатации.

Расположение коррозионных поражений и состояние защитных покрытий (по ГОСТ 9.407-80) в пределах установленных однородных зон эксплуатации представлено в табл. 6.6, на рис. 6.12, 6.13.

При обследовании и оценке эксплуатационного состояния несущих конструкций покрытия банка выявлены повреждения, при дальнейшем развитии которых несущие конструкции покрытий будут иметь неудовлетворительное состояние. Перечень, классификация и описание дефектов сведены в табл. 6.6.

Повреждения, выявленные при обследовании и оценке фактического состояния несущих конструкций покрытия

Таблица 6.6

№ п/п	Описание повреждения	Месторасположение повреждения
1	Нарушение сплошности и снижение защитных свойств противокоррозионного покрытия ($A_3=0,35-0,45$) узловых элементов структурной плиты атриума: до 20% узлов (см. рис. 4.6)	По осям: F-L/11, L/11-14, F-L/14, F/11-14
2	Нарушение сплошности и снижение защитных свойств противокоррозионного покрытия ($A_3=0,35-0,45$) узловых элементов структурной плиты атриума: до 10% узлов	Диагональные направления структуры атриума
3	Разрыв монтажного (прихваточного) сварного шва	По оси: G-N/5
4	Нарушение сплошности и снижение защитных свойств противокоррозионного покрытия ($A_3=0,35-0,45$) узловых элементов структурной плиты зимнего сада: до 20% узлов	По осям: G-N/5, N/5-10, G-N/10, G/5-10
5	Нарушение сплошности и снижение защитных свойств противокоррозионного покрытия ($A_3=0,35-0,45$) узловых элементов структурной плиты зимнего сада: до 10% узлов	Диагональные направления структуры зимнего сада
6	Нарушение сплошности и снижение защитных свойств противокоррозионного покрытия ($A_3=0,35-0,45$) узловых элементов структурной плиты патио: до 20% узлов	По осям: O-Q/3, O-Q/6
7	Нарушение сплошности и снижение защитных свойств противокоррозионного покрытия ($A_3=0,35-0,45$) узловых элементов структурной плиты патио: до 10% узлов	Коньковые узловые элементы структуры патио

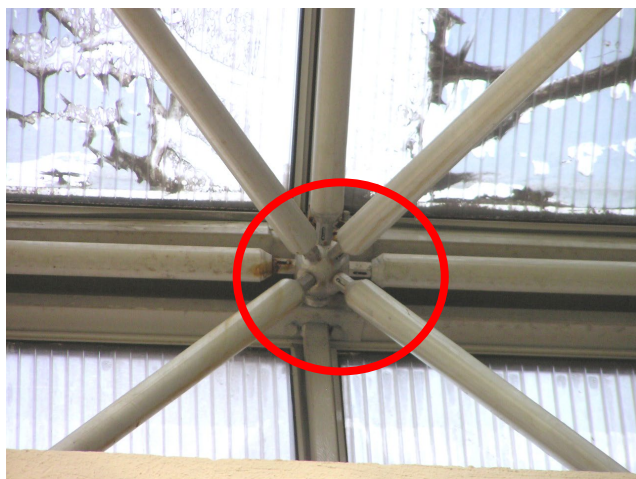


Рис. 6.12. Разрушение противокоррозионного защитного покрытия узловых элементов структурной плиты

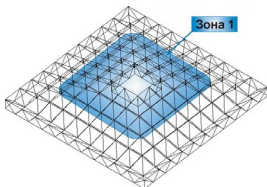
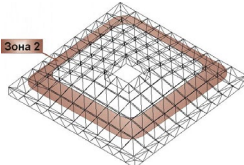
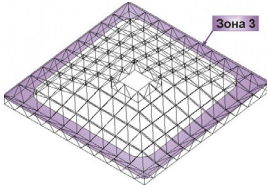


Рис. 6.13. Разрушение противокоррозионного защитного покрытия узловых элементов каркаса ограждения.

Систематизация расчетных характеристик для выполнения проверочного расчета конструкций покрытия на коррозионную стойкость представлена в табл. 6.7.

Характеристики однородных зон режима эксплуатации

Таблица 6.7

№ зоны	Схема расположения	Описание	Численные характеристики однородных зон
1	2	3	4
Зона 1		Центральная зона расположения конструктивных элементов с однородными параметрами агрессивных воздействий (внутри помещения)	$\tau_{адс}=1750$ час $\tau_{фаз}=180$ час $K=0,04$ мм/год $A_3=0,6-0,9$
Зона 2		Краевая приопорная зона по периметру шириной до 1,5 м (внутри помещения)	$\tau_{адс}=2150$ час $\tau_{фаз}=230$ час $K=0,06$ мм/год $A_3=0,55-0,7$
Зона 3		Зона вертикальных конструктивных элементов несущих конструкций и вертикальные ограждающие конструкции (внутри помещения)	$\tau_{адс}=2360$ час $\tau_{фаз}=250$ час $K=0,07$ мм/год $A_3=0,35-0,45$
Зона 4		Атмосферные воздействия на ограждающие конструкции	$\tau_{адс}=3280$ час $\tau_{фаз}=670$ час $K=0,12$ мм/год $A_3=0,35-0,45$

Полученные численные значения R_p использованы для определения типовых моделей эксплуатации несущих конструкций покрытий, регламентирующих состав контрольных мероприятий, связанных с оценкой коррозионного состояния объектов.

Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов покрытия, выполненная с использованием ПК SCAD, что позволило определить показатели эксплуатационного состояния трубчатых конструкций и покрытий, для повышения эффективности мер первичной и вторичной защиты (табл. 6.8).

Расчетные характеристики
остаточного ресурса конструктивных элементов

Таблица 6.8

Наименование объекта	Характеристическое значение годовых коррозионных потерь A_n , г/м ²				Показатель качества эксплуата- ции, F_e	Расчетный срок ресурса до возможного отказа i -го конструктив- ного элемента, лет	Количество элементов с признаками предельных состояний после 10 лет эксплуатации, шт	Степень поврежден- ности в результате коррозионных воздействий, %
	зоны							
	1	2	3	4				
Атриум	345	490	575	955	0,05	$\frac{9}{6}$	$\frac{32}{56}$	$\frac{3\%}{6\%}$
Зимний сад	370	505	585	970	0,1	$\frac{7}{4}$	$\frac{48}{144}$	$\frac{5\%}{15\%}$
Патиио	310	470	550	940	0,05	$\frac{9}{6}$	$\frac{136}{186}$	$\frac{12\%}{16\%}$

Примечание.* в числителе представлены характеристики для СНиП 2.01.07-85; в знаменателе – для проекта ДБН В.1.2.-...-200...

Сравнительный анализ эксплуатационного состояния при коррозионных воздействиях выполнен с учетом определения степени повреждаемости ПСС:

$$R_p = \frac{N_p}{N_o} 100\%, \quad (6.9)$$

где N_p – количество элементов с признаками предельных состояний, вызванных коррозионным разрушением; N_o – общее количество элементов в структуре.

Для установления текущего технического состояния объекта выполнены:

- оценка фактического НДС основных элементов конструкции объектов, выполненную расчетным путем с учетом всех режимов нагружения и действующих нагрузок (включая температурные и коррозионные воздействия), фактической геометрии конструкции, фактических толщин ее несущих элементов, имеющихся и выявленных концентраторов напряжений и экспериментальных результатов исследований НДС, полученных при диагностировании;

- анализ механизмов образования и роста обнаруженных дефектов и повреждений, возможных отказов, в результате развития дефектов и повреждений; при этом особое внимание подтверждению отсутствия возможности внезапных отказов, при которых невозможна расчетная оценка остаточного ресурса;

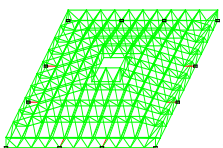
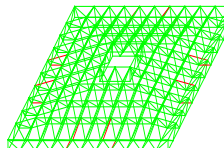
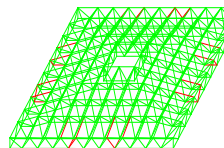
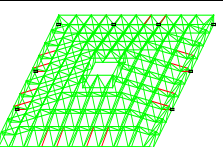
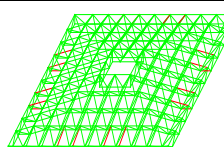
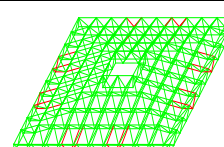
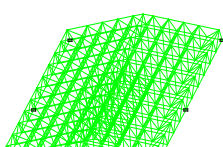
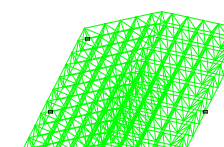
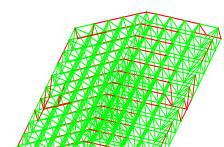
- оценка параметров технического состояния и проверка их соответствия величинам регламентированным в нормативной литературе и конструкторской документации;

- расчет и экспериментальные исследования НДС конструкции.

Результаты расчетной оценки представлены в табл. 6.9, 6.10.

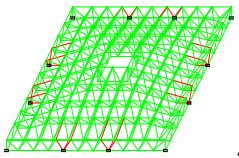
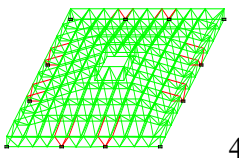
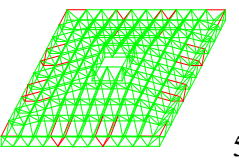
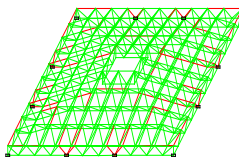
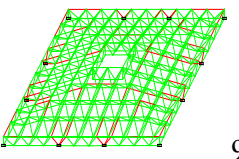
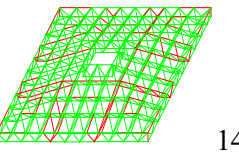
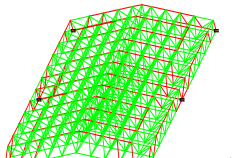
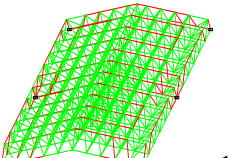
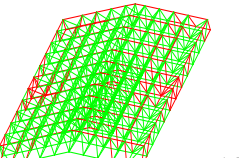
Результаты оценки остаточного ресурса конструктивных элементов после отказа защитных покрытий

Таблица 6.9

Наименование	Расположение и количество конструктивных элементов с признаками предельных состояний в зависимости от расчетных ситуаций		
	действующие нормы расчета	расчет с учетом воздействия коррозионных сред через 1 год эксплуатации	расчет с учетом воздействия коррозионных сред через 10 лет эксплуатации
1	2	3	4
Атриум	 8	 16	 32
Зимний сад	 24	 24	 48
Патиио	 0	 0	 136

Результаты оценки остаточного ресурса конструктивных элементов после отказа защитных покрытий

Таблица 6.10

Наименование	Расположение и количество конструктивных элементов с признаками предельных состояний в зависимости от расчетных ситуаций		
	расчет согласно 1 редакции проекта ДБН В.1.2.-...-200...	расчет с учетом воздействия коррозионных сред через 1 год эксплуатации	расчет с учетом воздействия коррозионных сред через 10 лет эксплуатации
1	2	3	4
Атриум	 40	 40	 56
Зимний сад	 9	 96	 144
Патиио	 162	 162	 186

6.6. Автоматизированные системы мониторинга показателей надежности и безопасности конструкционных систем

Интеллектуализация системы технологических процессов в основных отраслях экономики предусматривает широкое использование интегрированных автоматизированных методов управления производственными ситуациями, включая вопросы технического регулирования безопасности.

Системы автоматизированного сбора, хранения и оценки информации для предупреждения негативных природных, техногенных факторов, мониторинга технического состояния объектов повышенной опасности и принятия управленческих решений при возникновении чрезвычайных ситуаций получают широкое внедрение в отечественной и международной практике.

Автоматизированные системы технического диагностирования (АСТД) строительных конструкций (СК), соответственно требованиям проекта ДСТУ Б В.2.6-...-2002, состоят из средств автоматизации контроля, прогнозирования и/или диагностирования технического состояния строительных конструкций

и персонала системы. АСТД должна выполнять, как минимум, одну из основных функций контроля, прогнозирования или диагностирования технического состояния СК соответственно назначению системы. Временной регламент (непрерывный, периодический и эпизодический) и режимы (автоматический, автоматизированный и неавтоматизированный) выполнения указанных функций устанавливаются в ТЗ на конкретную систему. АСТД должна выполнять дополнительную функцию (само)диагностирования работоспособности программно-технического комплекса (ПТК) системы с оповещением о возникающих отказах в элементах ПТК и возможным отключением элементов, которые отказали, и/или ПТК в целом. Полнота (само)диагностирования и глубина поиска места отказа (неисправности) устанавливается в техническом задании (ТЗ) на конкретную систему.

АСТД должна создаваться как многоуровневая система обработки информации:

- к нижнему уровню АСТД должны относиться подсистемы сбора, предыдущей обработки и сохранения входной информации АСТД о нагрузке и влияниях на СК, а также о техническом состоянии СК. Информация нижнего уровня должна поступать в верхний уровень;
- к верхнему уровню АСТД должны относиться подсистемы преобразования информации нижнего уровня в исходную информацию АСТД о техническом состоянии СК и ее сохранение. Исходная информация АСТД должна быть доступна оперативному персоналу системы и уполномоченным лицам при удаленном администрировании (доступе).

Степень централизации (децентрализации) системы, методы и средства связи, предназначенные для информационного обмена между средствами нижнего и верхнего уровней, устанавливаются в ТЗ на конкретную систему.

Соответствие АСТД своему назначению должно устанавливаться по таким показателям назначения:

- количество и состав контролируемых системой параметров технического состояния СК (как сосредоточенных, так и распределенных по СК);
- количество и состав контролируемых системой параметров нагрузок и воздействий окружающей (внутренней и внешней) среды на СК. Нагрузки и воздействия на СК целесообразно разделять на естественные (природные) и технологические;
- количество и состав физических величин (или параметров процессов), которые измеряются системой; метрологические требования и временной регламент выполнения измерений; форма предоставления результатов измерений. Результаты измерений рекомендуется разделять на полученные в автоматическом (или автоматизированном) режиме по соответствующим измерительным каналам ПТК (далее – ВК) и полученные в неавтоматизированном режиме при инструментальном обследовании СК контрольным персоналом системы;

• состав технических состояний СК, которые принадлежат к нормальному, удовлетворительному, непригодному для эксплуатации и аварийному видам технического состояния СК (или разбивка множества возможных технических состояний СК на указанные виды), которые устанавливаются «Правилами обследований, оценки технического состояния и паспортизации производственных зданий и сооружений». Допустимый (или недопустимый) вид технического состояния СК может быть определен объединением нормального и удовлетворительного (или непригодного для эксплуатации и аварийного) видов технического состояния СК;

• количество, состав и содержание критериев предельного состояния СК, по которым системой определяется причина и место фактического и/или ожидаемого отказа СК при диагностировании технического состояния СК. Целесообразно использовать критерии предельных состояний I и II групп по ГОСТ 27751. Допустимый (или недопустимый) вид технического состояния СК может быть определен множеством технических состояний, которые удовлетворяют всем критериям (или не удовлетворяют хотя бы одному критерию) предельного технического состояния СК;

• количество и состав показателей надежности СК, значения которых определяются системой при прогнозировании технического состояния СК. В качестве показателей надежности СК целесообразно использовать: срок следующей безотказной эксплуатации СК (остаточный ресурс) с заданной вероятностью и вероятность следующей безотказной эксплуатации СК на протяжении заданного времени по каждому критерию предельного технического состояния СК;

• параметры климатических, механических, физических и др. внешних действующих факторов на ПТК системы, при которых обеспечивается ее нормальная эксплуатация;

• параметры электрического питания ПТК системы, при которых обеспечивается ее нормальная эксплуатация;

• средства передачи и защиты исходной информации АСТД при отдаленном администрировании (доступе).

Надежность ПТК системы должна обеспечиваться на всех этапах жизненного цикла.

На стадии проектирования системы могут быть использованы такие методы:

• резервирование элементов ПТК, ответственных за выполнение основных функций, в том числе обеспечение бесперебойного электроснабжения ПТК системы;

• комплектования ПТК высоконадежными изделиями, не требующими демонтажа и замены при ремонте на протяжении всего срока службы системы (первичные преобразователи закладного типа и т.п.);

• техническое (само)диагностирование работоспособности ПТК;

• обеспечение ремонтпригодности ПТК;

- защита программного обеспечения ПТК от несанкционированного доступа;

- дублирование информации базы данных;
- формирование необходимой номенклатуры комплекта запасных изделий и приборов ПТК (далее – ЗИП).

Основные и вспомогательные функции системы должны быть реализованы с помощью решения совокупности основных и вспомогательных задач, к которым можно отнести:

- получение и обработку входной информации;
- протоколирование и архивирование исходной информации;
- обеспечение операторского интерфейса с предоставлением информации в визуальной и звуковой формах, удобных для восприятия и анализа;
- обеспечение обмена информацией с другими системами;
- изменение временного регламента и режима функционирования системы в зависимости от достигнутого вида технического состояния СК (например, переключения системы в автоматический режим непрерывного контроля технического состояния при отказе СК и т.п.);
- определение эксплуатационных запасов по каждому критерию предельного состояния;
- формирование визуальной и звуковой сигнализации по результатам (само)диагностирования трудоспособности системы.

Перечень функций и задач должен устанавливаться в ТЗ на конкретную систему исходя из ее назначения.

Математическое обеспечение системы должно содержать:

- математическую модель СК (по необходимости);
- постановку задач, которые решаются математическими методами;
- алгоритмы решения задач математическими методами.

Математическое обеспечение АСТД должно обеспечивать реализацию функций системы с учетом требований к точности и достоверности решения задач, которые устанавливаются в ТЗ на конкретную систему.

В зависимости от назначения конкретной АСТД рекомендуется ее создание на методологической основе функционирования экспертных, самообучающихся, моделирующих, и других типов систем обработки информации, которые используют соответствующее математическое обеспечение.

Математическое обеспечение АСТД может применять алгоритмы фильтрации и алгоритмы устранения шумов, использовать методы и средства математической обработки входной информации, с целью уменьшения ее искажения.

Математическое обеспечение АСТД должно включать такие алгоритмические методы и средства обработки входной информации, которые обеспечивают определение распределенных контролируемых

параметров СК по результатам прямых измерений сосредоточенных (по месту измерения) физических величин (или параметров процессов).

Решения по математическому обеспечению системы должны содержаться в документации на систему, которая должна включать:

- схему функциональной структуры;
- описание постановки задач (комплекса задач);
- описание алгоритма.

Информационная база системы должна содержать:

• заданные (не подлежащие коррекции) параметры математической модели СК (неизменные геометрические характеристики СК согласно проекту, геодезические привязки на местности, физические константы материалов, характеристики сред или веществ, влияющие на СК, массогабаритные характеристики установленного оборудования, начальные напряжения и повреждения, выявленные при введенные в эксплуатацию и т.п.);

- заданные критерии предельного состояния СК;
- заданные виды технического состояния СК;
- заданные (нормативные) нагрузки и влияния на СК;
- заданные критерии (признаки) отказов технических и программных средств ПТК;

• паспортные характеристики датчиков и координаты мест их установки (по необходимости);

• результаты измерения физических величин (или параметров процессов), полученные по вычислительному комплексу (ВК);

• результаты инструментального обследования СК контрольным персоналом системы.

В области систем представления знаний для решения подобного рода задач разрабатываются модели, в рамках которых объединены средства логического вывода, являющиеся в свою очередь составной частью архитектуры экспертных систем (рис. 6.14).

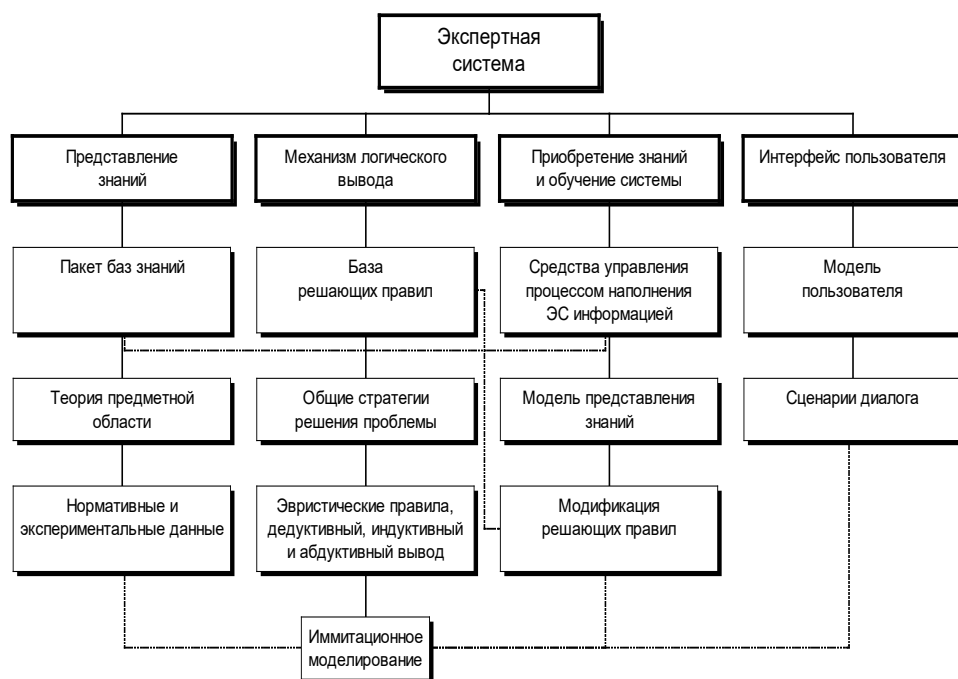


Рис. 6.14. Архитектура построения экспертной системы

Рассматривая задачу расчета стальных конструкций на коррозионные воздействия по предельным состояниям с точки зрения архитектуры экспертных систем, можно выделить следующие этапы создания такого рода системы.

Знания в виде набора фактов (предметное знание) и эвристических приемов (эмпирические правила) вводятся в базы знаний и базы решающих правил. В качестве баз знаний в данном случае выступают данные нормативной литературы; библиотеки сортамента, поперечных сечений, параметров пространственной компоновки; характеристики материала конструкций (рис. 6.15). Базы данных составляют данные натурных обследований режима эксплуатации, характеристики агрессивности среды, параметры коррозионного воздействия на конструктивные элементы (рис. 6.16). Решающие правила описываемой экспертной системы объединены в логическую модель процесса коррозионного разрушения конструктивной формы, которая представляет собой абстрактное описание состава и структуры процесса, свойств элементов, вида и степени взаимодействия между его элементами. Пример логической модели для описания параметров температурно-влажностного режима приведен на рис. 6.17.

Характеристики материала - таблица

Код	Материал	Плотность	Уд.теплое	К.теплоп	Относ	Относ	К.теплоп	К.теплоп	К.теплоп	К.теп
127	Плиты торфяные тепло	200	2,3	0,052	15	20	0,06	0,064	1,6	
128	Пакля	150	2,3	0,05	7	12	0,06	0,07	1,3	
129	Маты минераловатные	125	0,84	0,056	2	5	0,064	0,07	0,73	
130	Маты минераловатные	75	0,84	0,052	2	5	0,06	0,064	0,55	
131	Маты минераловатные	50	0,84	0,048	2	5	0,052	0,06	0,42	
132	Плиты мягкие, полужесткие	350	0,84	0,091	2	5	0,09	0,11	1,46	
133	Плиты мягкие, полужесткие	300	0,84	0,084	2	5	0,087	0,09	1,32	
134	Плиты мягкие, полужесткие	200	0,84	0,07	2	5	0,076	0,08	1,01	
135	Плиты мягкие, полужесткие	100	0,84	0,056	2	5	0,06	0,07	0,64	
136	Плиты мягкие, полужесткие	50	0,84	0,048	2	5	0,052	0,06	0,42	
137	Плиты минераловатные	200	0,84	0,064	1	2	0,07	0,076	0,94	
138	Плиты полужесткие минераловатные	200	0,84	0,07	2	5	0,076	0,08	1,01	
139	Плиты полужесткие минераловатные	125	0,84	0,056	2	5	0,06	0,064	0,7	
140	Плиты из стеклянного изоляционного материала	50	0,84	0,056	2	5	0,06	0,064	0,44	
141	Маты и полосы из стеклотекстолита	150	0,84	0,061	2	5	0,064	0,07	0,8	
142	Пенополистирол	150	1,34	0,05	1	5	0,052	0,06	0,89	
143	Пенополистирол	100	1,34	0,041	2	10	0,041	0,052	0,65	
144	Пенополистирол	40	1,34	0,038	2	10	0,041	0,05	0,41	
145	Пенопласт ПХВ-1 и ПХВ-2	125	1,26	0,052	2	10	0,06	0,064	0,86	
146	Пенопласт ПХВ-1 и ПХВ-2	100	1,26	0,041	2	10	0,05	0,052	0,68	
147	Пенополиуретан	80	1,47	0,041	2	5	0,05	0,05	0,67	

Записи: 1 из 196

а

l	h	b	s	t	r	G	A	Jx
мм	мм	мм	мм	мм	мм	кг/м	см ²	см ⁴
1051	100	55	4	6	7	8,27	10,54	176
1251	118	64	4	5	7	8,75	11,14	258
1252	120	64	4	6	7	9,75	12,42	303
1451	137	73	4	6	7	11,13	14,18	457
1452	140	73	5	7	7	13,3	16,94	552
1651	157	82	4	6	9	12,82	16,34	697
1652	160	82	5	7	9	15,29	19,48	837
1851	177	91	4	7	9	15,66	19,96	1109
1852	180	91	5	8	9	18,41	23,46	1306
2051	200	100	6	9	12	23,67	30,16	2041
2351	230	110	6	9	12	26,5	33,76	3027
2651	258	120	6	9	12	29,23	37,24	4211
2652	261	120	6	10	12	31,16	39,7	4654

б

Рис. 6.15. Формирование базы знаний нормативных характеристик материалов:
а – теплотехнические свойства материалов по СНиП II-3-79*; б – геометрические характеристики сортамента металлопроката

Температурно-влажностный режим

Период	Контроль	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5	AB6	AB7	AB8	AB9	AB10	AB11	AB12	AB13	AT
Весна		98	98	98	96	94	92	84	66	58	53	50	44	58	
*		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Записи: 1 из 1

Период	Контроль	AT1	AT2	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8	AT9	AT10	AT11	AT12	AT13	AT
Весна		6	4	4	2	1	0	-1	-2	-1	7	11	13	14	
*		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Записи: 1 из 1

Код	Точки	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17
XT_01_тест		80	80	80	78	75	75	80	90	90	90	86	85	85	80	80	80	7
XT_02_тест		70	67	65	65	65	60	60	69	63	64	60	57	60	54	54	53	50

Записи: 1 из 2

Код	Точки	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
XT_01_тест		26	27	24	23	22	22	22	27	26	27	28	29	28	28	30	30	2	
XT_02_тест		23	23	23	24	24	24	21	23	23	23	25	27	27	32	31	30	29	3

Записи: 1 из 2

Рис. 6.16. Формирование баз данных натурных обследований режима эксплуатации конструкций

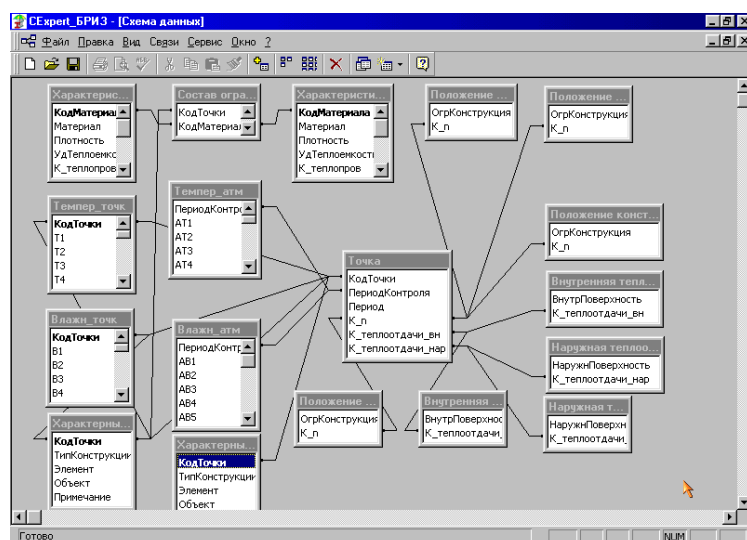


Рис. 6.17. Логическая модель для описания параметров температурно-влажностного режима

Рассматривая задачу нормирования коэффициента надежности противокоррозионной защиты с точки зрения архитектуры экспертных систем, можно выделить следующие этапы создания такого рода системы (рис. 6.18).

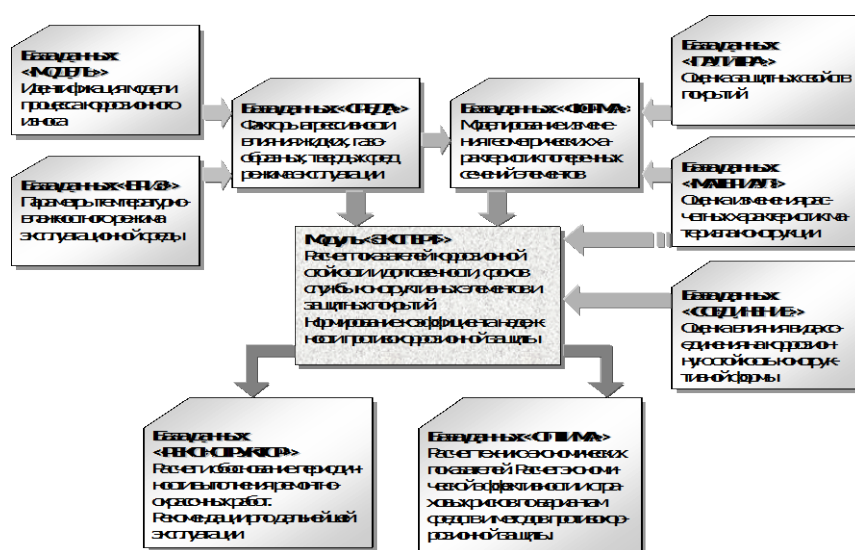


Рис. 6.18. Структура построения информационной экспертной системы «Диагностика – Противокоррозионная защита – Реконструкция»

В качестве базы знаний в данном случае выступают данные нормативной литературы, библиотеки сортамента, поперечных сечений, параметров пространственной компоновки, а также модули обслуживания библиотек. Сюда же входят данные натурных обследований режима эксплуатации, характеристики агрессивности среды, параметры коррозионного воздействия на конструктивные элементы. Решающие правила описываемой экспертной системы объединены в логическую модель процесса коррозионного разрушения конструктивной формы, которая представляет собой абстрактное описание состава и структуры процесса, свойств элементов, вида и степени взаимодействия между его элементами.

Практическая реализация задачи расчетной оценки коэффициента надежности противокоррозионной защиты $\gamma_{\text{кр}}$ и срока службы выполняется на основе методов экспертных систем.

Структурные составляющие ЭС представляют собой самостоятельные программные блоки, решающие локальные задачи, а объединенные между собой каналами обмена данными – действующие согласно глобальной концепции функционирования экспертной системы. Программная реализация ЭС осуществляется при помощи системы управления реляционными базами данных MS Access 97 из поставки MS Office 97. Имитационное моделирование вычислительной системы произведено на основе MathConnex 2000 из пакета MathSoft MathCAD 2000 Professional.

Реализация описанной структуры с помощью средств имитационного моделирования в системе MathSoft MathConnex 2000 представлена на рис. 6.19.

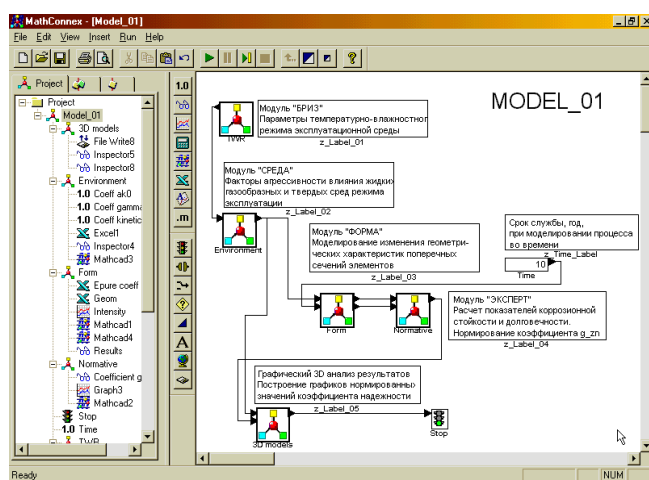


Рис. 6.19. Реализация структуры построения ЭС в системе моделирования MathConnex 2000

Структурные составляющие ЭС представляют собой самостоятельные программные блоки, решающие локальные задачи, а объединенные между

собой каналами обмена данными – действующие согласно глобальной концепции функционирования экспертной системы. Теоретической основой построения каждого отдельного модуля являются разработанные в предыдущих главах расчетные положения и алгоритмические описания.

Программная реализация ЭС осуществляется при помощи системы управления реляционными базами данных MS Access 97 из поставки MS Office 97. Имитационное моделирование вычислительной системы произведено на основе MathConnex 2000 из пакета MathSoft MathCAD 2000 Professional.

Программный модуль «Бриз»

Программный модуль «Бриз» предназначен для оценки параметров температурно-влажностного режима эксплуатационной среды. Главная кнопочная форма модуля представлена на рис. 6.20.

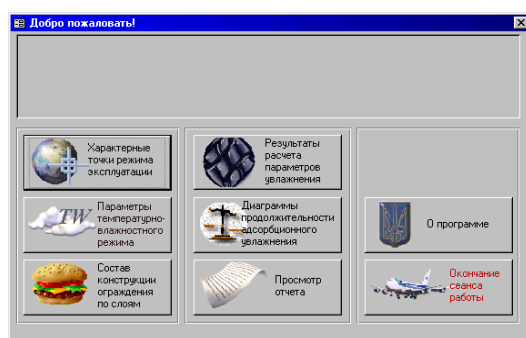


Рис. 6.20. Окно главной кнопочной формы программного модуля «Бриз»

а

б

Рис. 6.21. Формы для описания характерных точек при зонировании режима эксплуатации стальных конструкций: *а*– с учетом теплотехнических характеристик; *б* – общие данные

На данном этапе выполняется расчет продолжительности адсорбционного и фазового увлажнения поверхности конструкций. Исходными данными для расчета являются сведения о зонировании режима эксплуатации конструкций, описания характерных точек (рис. 6.21, а, б); данные натурных замеров суточной атмосферной влажности и температуры в характерных точках. Для оценки сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции необходимо описание состава ограждения по слоям согласно форме, представленной на рис. 6.22.

Таким образом формируется состав компонентов модуля в виде таблиц базы данных (рис. 6.23), содержащих как статичные данные (данные нормативной литературы, теплотехнические характеристики материалов), так и динамичные данные (сведения о зонировании, натурные замеры параметров температурно-влажностного режима, продолжительность контроля).

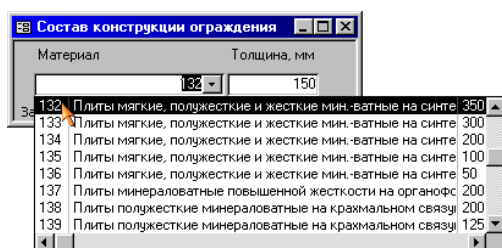


Рис. 6.22. Описание состава ограждающей конструкции по слоям

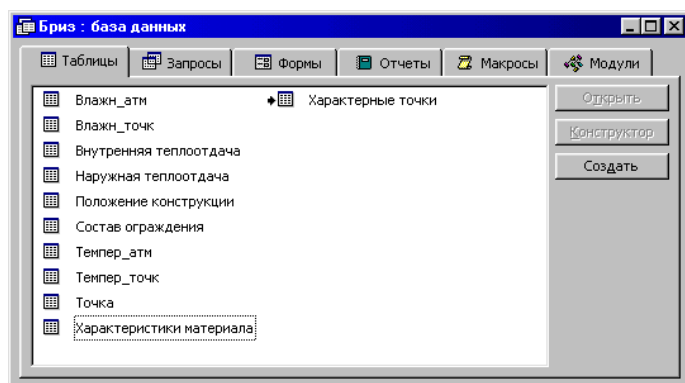


Рис. 6.23. Компонентный состав таблиц базы данных «Бриз»

Схема организации данных в модуле представлена на рис. 6.24.

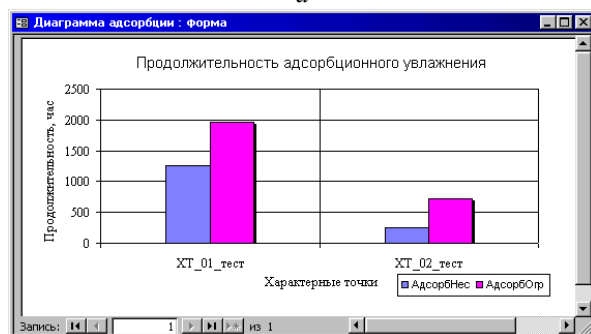
Результатом работы модуля являются рассчитанные продолжительности пребывания адсорбционной и фазовой пленок влаги на поверхности несущих и ограждающих конструкций и соответствующие коэффициенты продолжительности воздействия, а также оценка зависимости параметров ТВРХТ от характера технологического процесса и суточного колебания атмосферных явлений (см. рис. 6.24).

Параметр	Значение
Код точки контроля:	ХТ_01_тест
Температура поверхности:	26,05
Разность температур:	0,53
Влажность поверхности:	95,41
Длительность контроля, сут:	90
Продолжительность адсорбционного увлажнения для несущих конструкций, час:	1265
Продолжительность адсорбционного увлажнения для ограждающих конструкций, час:	1966
Коэффициент продолжительности воздействия на несущие конструкции:	0,59
Коэффициент продолжительности воздействия на ограждающие конструкции:	0,91

Кнопки: < Назад, [Print]

Запись: 1 из 2

а



б

Рис. 6.24. Результаты работы модуля: а – численные значения параметров увлажнения; б – гистограммы продолжительности увлажнения

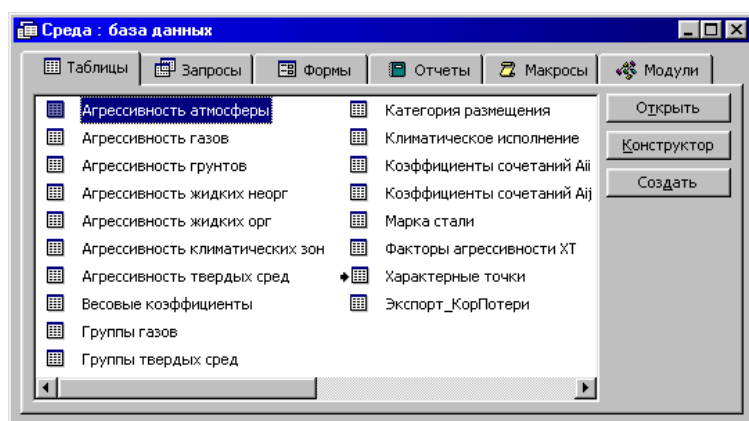
Модуль связан каналом обмена данными с модулем «Среда», по которому передает значения коэффициентов продолжительности воздействия для соответствующих характерных точек режима эксплуатации.

Программный модуль «Среда»

Программный модуль «Среда» представляет собой инструмент для численного моделирования режима эксплуатации, включающего факторы агрессивности жидких, газообразных и твердых сред $A(L, G, S)$, рис. 6.25.



а

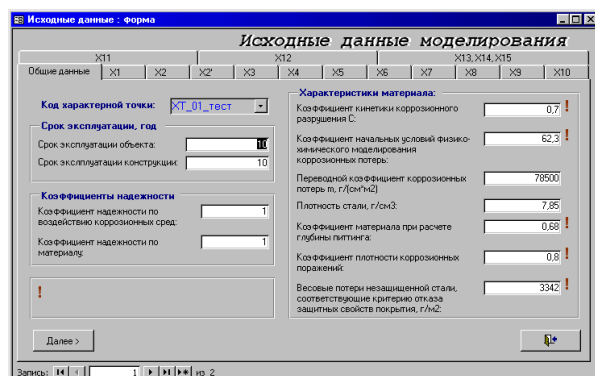


б

Рис. 6.25. Главная кнопочная форма (а) и компонентный состав таблиц (б) базы данных «Среда»

Теоретической основой моделирования являются разработанные расчетные положения и алгоритмические описания.

В модуле реализованы алгоритмы расчетов показателей агрессивности эксплуатационных сред с соответствующим составом исходных данных факторов агрессивности внешних воздействий $A(L, G, S)$ и параметров конструктивной формы $A(f)$ (рис. 6.26). Результатом работы модуля являются полученные значения степени агрессивности эксплуатационной среды, показатели коррозионной стойкости конструктивных элементов (рис. 6.27). Полученные значения используются в дальнейшем при моделировании изменения геометрических характеристик поперечных сечений элементов в программном модуле «Форма» ЭС «ДАЗР».



а

б

Рис. 6.26. Исходные данные для моделирования режима эксплуатации стальных строительных конструкций

Рис. 6.27. Результаты расчета показателей коррозионной стойкости при моделировании режима эксплуатации во времени

Концептуальная модель экспертной системы ЭС «ДАЗР» построена в среде MathConnex из пакета MathSoft MathCAD 2000 Professional. Выбор данной среды обусловлен необходимостью первоначального создания модели ядра ЭС, формирования идеологии построения ЭС и взаимодействия компонентов, организации потоков вычислений, а также проведения необходимого тестирования. Описанным задачам в наибольшей степени соответствует интегратор приложений MathConnex. MathConnex представляет интерес для разработки ядра ЭС «ДАЗР» в связи с необходимостью блочного представления и описания сложной системы, работу которой необходимо имитировать, т.к. в системе MathConnex на новом (цифровом) уровне реализована идея аналоговых ЭВМ (таких, как МН-7): подготовка блок-схем моделируемых устройств и имитация (или симуляция) их работы.

Специфика функционирования экспертных систем обусловлена интенсивным использованием баз данных. В связи с этим, для разработки законченного программного продукта – ЭС «ДАЗР» – реализованные и проверенные алгоритмические описания увязываются с технологией СУБД для интеграции управляющей структуры с базами данных. Примеры создания структуры базы данных и разработки реляционных запросов показаны на рис. 6.28 и рис. 6.29.

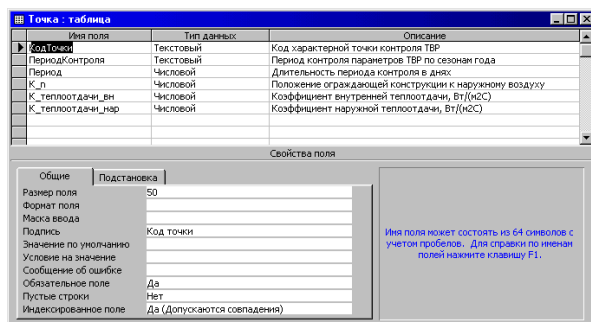


Рис. 6.28. Создание структуры базы данных в среде MS Access 97

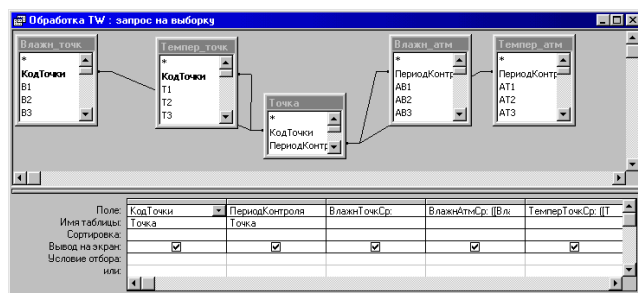


Рис. 6.29. Разработка реляционного запроса по нескольким базам данных.

Управляющая структура системы разрабатывается с использованием внутреннего формата языка MS Access 97, написание программных модулей осуществляется при помощи языка VBA (рис. 6.30), запросы в базе данных формируются при помощи языка программирования SQL.

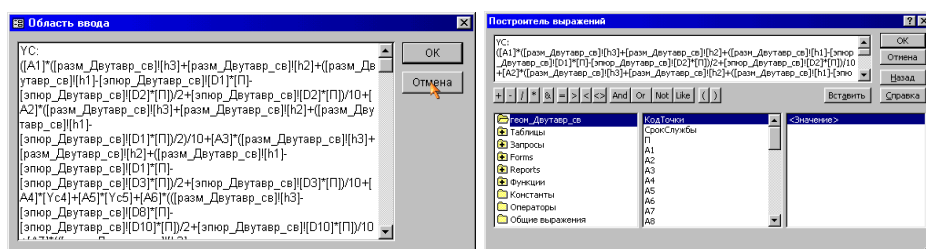


Рис. 6.30. Формирование управляющей структуры ЭС «ДАЗР»:

a – посредством ручного ввода директив; $\bar{b}$ – при помощи построителя выражений

**ВЕДОМОСТЬ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ
Металлоконструкций колонн, ферм, подкрановых балок,
тормозных балок и вспомогательных конструкций
в пролете А-Б/1-17 электросталеплавильного цеха**

Ведомость дефектов металлоконструкций колонн по ряду «А»

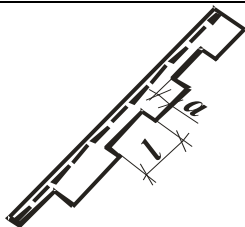
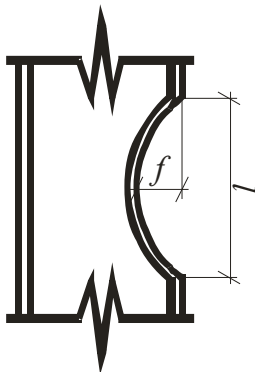
Кодировка дефектов:

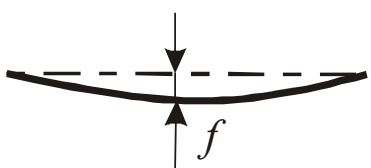
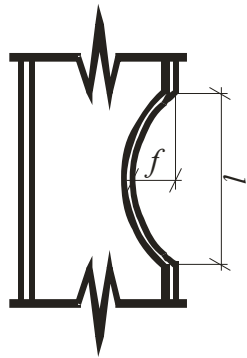
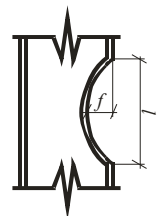
- К1 – местная погибь полки колонны по внутренней ветви с А на Б;
- К2 – разрыв сварного шва крепления тормозной балки;
- Ф1 –трещина по фундаментной плите базы колонны;
- К3 – вмятина по стенке ветви колонны;
- К4 – погибь элементов крестовой связи;
- К5 – пластовая коррозия полок и стенки;
- К6 – разрыв металла полки ветви колонн;
- К7 – погибь элементов решетки колонны;
- К8 – вырез свободной полки элемента крестовой связи.

Кодировка обозначений:

- СК – стенка ветви колонны;
- ЛП – левая полка ветви колонны с А на Б;
- ПП – правая полка ветви колонны с А на Б;
- ТБ – тормозная балка.

Продолжение приложения 1

№ п/п	Эскиз дефекта	Местонахождение дефекта		Описание дефекта и количественный показатель	Код дефе кта	Способ устранения
		№ колонны	элемент			
1	2	3	4	5	6	7
1.		К-А/1		Дефектов не обнаружено		
2.		К-А/2	Крестовая вязь в осях 1 - 2	Вырез в свободной полке L = 3500 мм; a = 60 мм	К8	Выполнить постановку дублирующего элемента равнопрочного сечения
3.		К-А/3		Дефектов не обнаружено		
4.		К-А/4		Дефектов не обнаружено		
5.		К-А/5	П П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны L = 800 мм; f = 40 мм; на отм. +7.000	К1	Установить накладку на поврежденный участок равнопрочного сечения
6.		К-А/6	П П – ветвь сА на Б	Погибь ветви колонны L = 200 мм; f = 15 мм; на отм. +7.900	К1	
			П П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны L = 300мм; f = 20 мм; на отм. +7.300	К1	
			П П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны L = 250 мм; f = 10 мм; на отм. +0.200	К1	
			К-А/7	Л П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны L = 800 мм; f = 30 мм; на отм. +6.800	
7.		П П – ветвь с А на Б		Погибь ветви колонны L = 400 мм; f = 60 мм; на отм. + 7.000	К1	

		К-А/7-8	Крестовая связь в осях 7 - 8	Общая погибь элемента $f_{\text{н}} = 45 \text{ мм};$ $L = 1500 \text{ мм}; f_{\text{в}} = 120$ $\text{мм}; L = 6000 \text{ мм}$	К4	Выполнить постановку дублирующего элемента равнопрочного сечения
8.		К-А/8	Л П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны $L = 400 \text{ мм}; f = 35 \text{ мм};$ на отм. +5.000	К1	Установить накладку на поврежденный участок равнопрочного сечения
Л П – ветвь с А на Б			Погибь ветви колонны $L = 400 \text{ мм}; f = 80 \text{ мм};$ на отм. + 3.800			
9.		К-А/9	П П – ветвь с А на Б	$L = 300 \text{ мм}; f = 40 \text{ мм};$ на отм. + 5.200	К1	
			П П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны $L = 400 \text{ мм}; f = 30 \text{ мм};$ на отм. + 4.200	К1	
			Л П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны $L = 400 \text{ мм}; f = 80 \text{ мм};$ на отм. +3.800	К1	
10.		К-А/10	П П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны $L = 250 \text{ мм}; f = 20 \text{ мм};$ на отм. + 6.700	К1	Оставить без изменения
			Л П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны $L = 400 \text{ мм}; f = 45 \text{ мм};$ на отм. + 3.500	К1	Установить накладку на поврежденный участок равнопрочного сечения
			П П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны $L = 250 \text{ мм}; f = 20 \text{ мм};$ на отм. + 6.700	К1	Оставить без изменения
			Л П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны $L = 700 \text{ мм}; f = 20 \text{ мм};$ на отм. + 7.200	К1	Оставить без изменения
			П П – ветвь с А на Б	Погибь ветви колонны $L = 240 \text{ мм}; f = 30 \text{ мм};$ на отм. + 0.400	К1	Оставить без изменения

В е д о м о с т ь д е ф е к т о в м е т а л л о к о н с т р у к ц и й п о д к р а н о в ы х б а л о к
п о р я д у « А »
(ш и х т о в ы й п р о л е т)

Кодировка дефектов:

Б1 – трещина в сварном шве в примыкании ребра жесткости

к верхнему поясу балки;

Б2 – разрыв основного металла ребра жесткости;

Б3 – трещина по основному металлу стенки балки;

Б4 – трещина в сварном шве в сопряжении стенки и верхнего пояса балки;

Б5 – отсутствуют соединительные болты в сопряжении балок между собой;

Б6 – разболчены болты крепления в сопряжении балок;

Б7 – повреждение узла сопряжения балок с ветвью колонн по верхнему поясу.

Кодировка обозначений:

ВП – верхний пояс;

НП – нижний пояс;

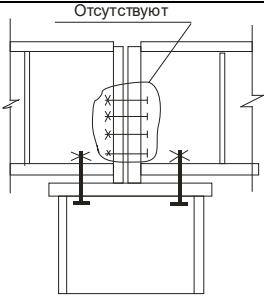
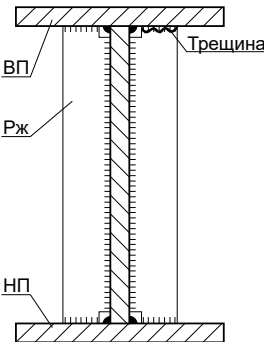
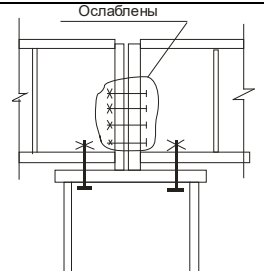
ОРБ – опорное ребро балки;

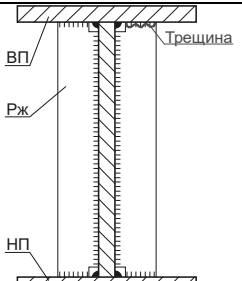
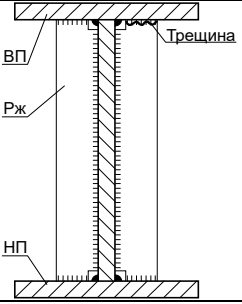
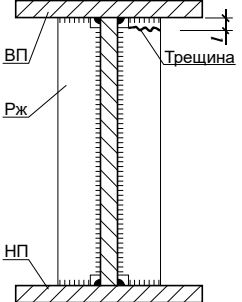
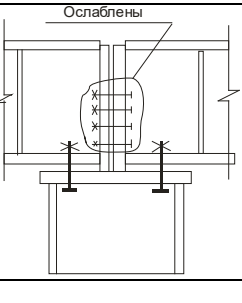
РЖ – ребра жесткости;

СБ – соединительные болты
крепления;

ГКС – горизонтальная
крестовая связь;

ОМБ – основной металл
балки;

№ п/п	Эскиз дефекта	Местонахождение дефекта		Описание дефекта и количественный показатель	Код дефе кта	Способ устранения
		№ балки	элемент			
1	2	3	4	5	6	7
1.		ПБ – А/1-2		Дефектов и повреждений не обнаружено		
2.		ПБ – А/2-3	ОРБ	Отсутствует 1 болт крепления балок по оси 3	Б5	Установить недостающие болты и произвести обтяжку согласно п. «Рекомендации»
3.		ПБ – А/3-4	РЖ 16-17	Трещина в сварном шве примыкания ребра жесткости к верхнему поясу	Б1	Восстановить сварной шов
			ОРБ	Ослабление болтов опорного ребра балки	Б6	Установить недостающие болты и произвести обтяжку согласно п. «Рекомендации»

4.		ПБ – А/4-5	РЖ 16-17	Трещина в сварном шве примыкания ребра жесткости к верхнему поясу	Б1	Восстановить сварной шов
5.		ПБ – А/5-6	РЖ 3-20	Трещина в сварном шве примыкания ребра жесткости к верхнему поясу	Б1	Восстановить сварной шов
			РЖ 6-17	Трещина по основному металлу ребра жесткости	Б2	Оставить без изменения
			РЖ 4-19	Трещина по основному металлу ребра жесткости	Б2	Восстановить сварной шов
			ОРБ	Ослабление болтов опорного ребра балки, отсутствует 1 болт по оси 6	Б6 Б5	Установить недостающие болты и произвести обтяжку согласно п. «Рекомендации»

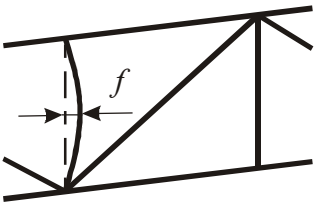
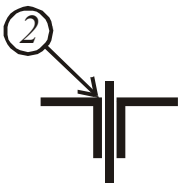
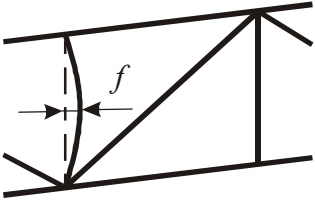
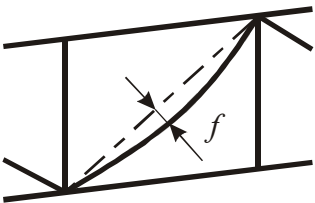
В е д о м о с т ь д е ф е к т о в м е т а л л о к о н с т р у к ц и й ф е р м п р о л е т а А – Б
(ш и х т о в ы й п р о л е т)

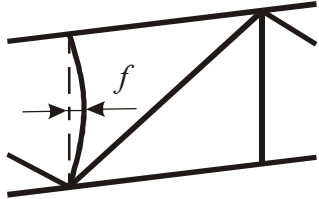
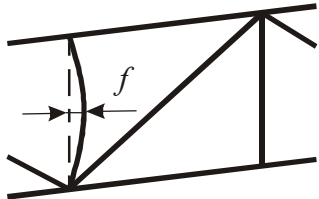
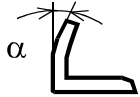
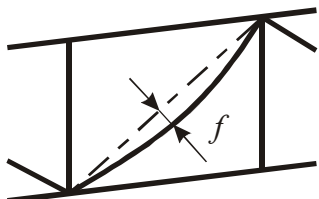
Кодировка дефектов:

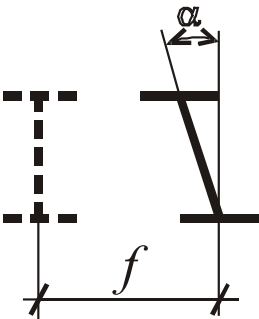
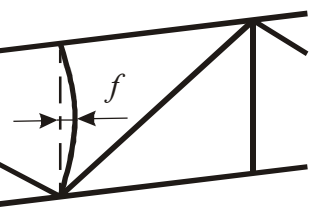
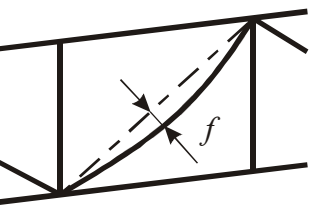
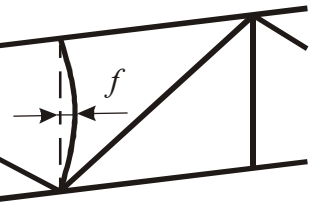
- Ф1 – локальная погибь элемента фермы;
- Ф2 – разрыв сварного шва крепления к сухарю;
- Ф3 –смалковка уголков;
- Ф4 – повреждение узла крепления фермы к колонне;
- Ф5 – отсутствуют болты крепления фермы к верхнему поясу колонны.

Кодировка обозначений:

- Ф – ферма;
- ВПФ – верхний пояс фермы;
- НПФ – нижний пояс фермы;
- Эл-т – элемент фермы;
- У – узел фермы.

№ п/п	Эскиз дефекта	Местонахождение дефекта		Описание дефекта и количественный показатель	Код дефек та	Способ устранения
		№ фермы	элемент			
1	2	3	4	5	6	7
1.		Ф-А-Б/1		Дефектов не обнаружено		
2.		Ф-А-Б/2	Элемент 10-17	Погнутость элемента, $l=2000$ мм, $f_x=30$ мм	Ф1	Оставить без изменения
3.		Ф-А-Б/3	Элемент 10-17	Погнутость элемента, $l=300$ мм, $f_x=15$ мм	Ф1	
4.		Ф-А-Б/4	Элемент 7- 7*	Разрыв сварных швов крепления 2-х соединительных элементов к соединительной прокладке (сухарику)	Ф2	Оставить без изменения
5.		Ф-А-Б/5	Элемент 4- 21	Погнутость элемента, $l=1000$ мм, $f_x=25$ мм	Ф1	Оставить без изменения
6.		Ф-А-Б/6	Элемент 4- 21	Погнутость элемента, $l=1000$ мм, $f_x=10$ мм	Ф1	
7.		Ф-А-Б/7		Дефектов и повреждений не обнаружено		
8.		Ф-А-Б/8	Элемент 3- 21	Погнутость элемента, $l=1000$ мм, $f_x=10$ мм	Ф1	Оставить без изменения

			Элемент 7-7*	Погнутость элемента, $l=600$ мм, $f_x=10$ мм	Ф1	
9.		Ф-А-Б/9		Дефектов и повреждений не обнаружено		
10.		Ф-А-Б/10		Дефектов и повреждений не обнаружено		
11.		Ф-А-Б/11	Элемент 5-20	Погнутость элемента, $l=1000$ мм, $f_x=25$ мм	Ф1	Оставить без изменения
12.		Ф-А-Б/12	Элемент 7-18	Смалковка полки уголка раскоса $\alpha = 10^\circ$ в зоне узла 18 на участке длиной 150 мм	Ф3	
			Элемент 5-20	Погнутость элемента, $l=1000$ мм, $f_x=25$ мм	Ф1	

13.		Ф-А-Б/13	Узел 1	Выгиб из плоскости фасонки крепления верхнего пояса фермы к ветви колонны $\alpha = 20^0$	Ф4	См. «Рабочую документацию»
14.		Ф-А-Б/14	Узел 1	Выгиб из плоскости фасонки крепления верхнего пояса фермы к ветви колонны $\alpha = 30^0$	Ф4	
15.		Ф-А-Б/15	Узел 1	Отсутствуют болты крепления в узле, ферма не закреплена	Ф5	Установить болты крепления и выполнить затяжку при помощи динамометрического ключа с усилием не менее 20кН
			Элемент 5-20	Погнутость элемента, $l=1000$ мм, $f_x=25$ мм	Ф1	Оставить без изменения
16.		Ф-А-Б/16	Элемент 3-21	Погнутость элемента, $l=300$ мм, $f_x=15$ мм	Ф1	
17.		Ф-А-Б/17	Элемент 3-21	Погнутость элемента, $l=300$ мм, $f_x=15$ мм	Ф1	

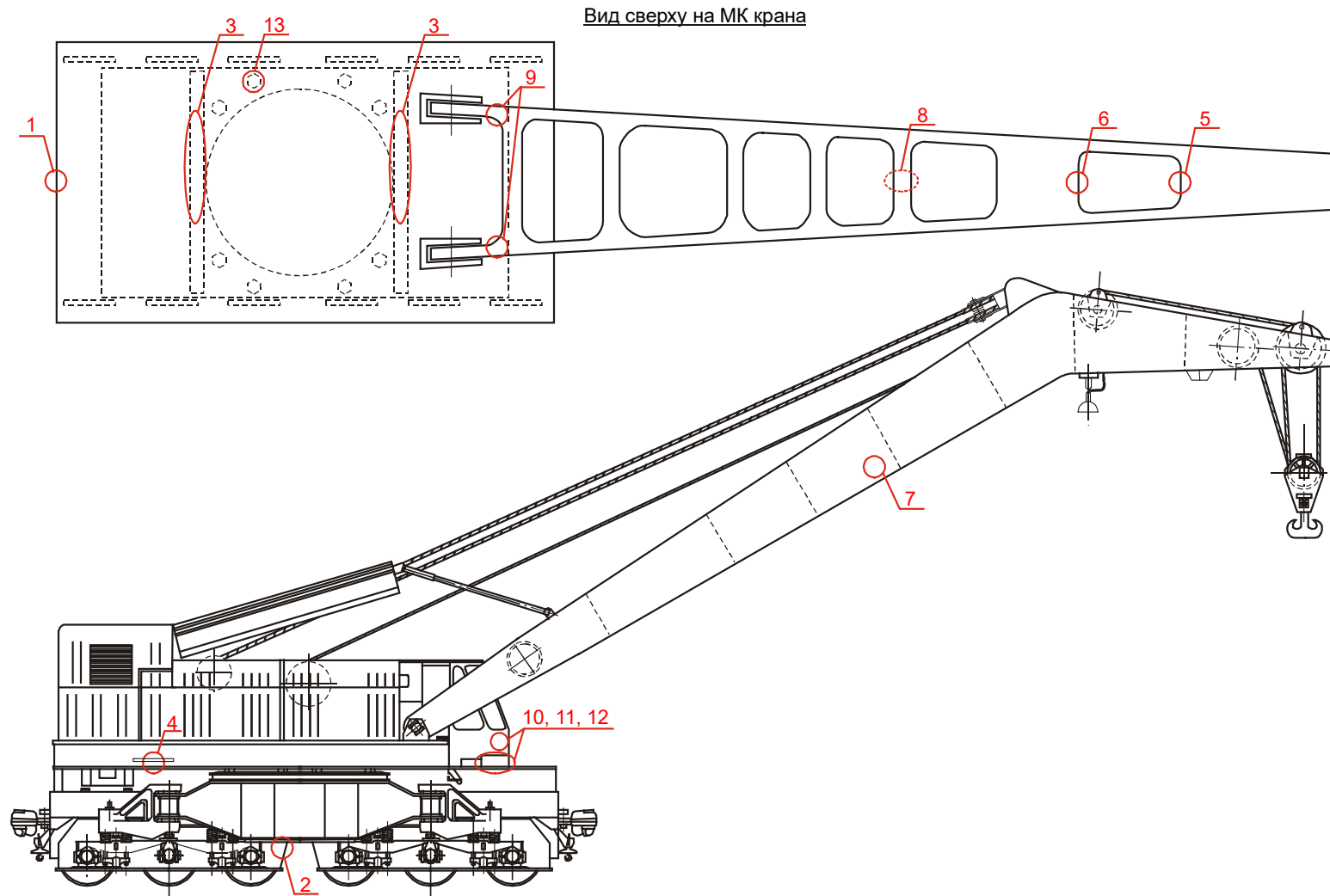
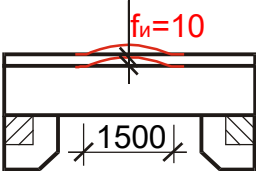
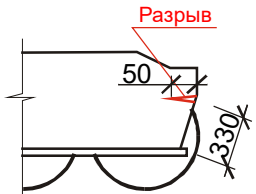
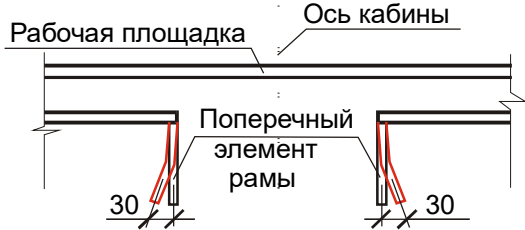


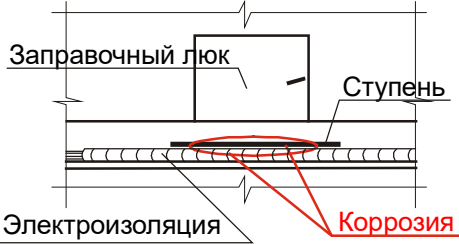
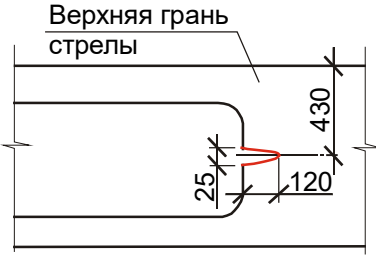
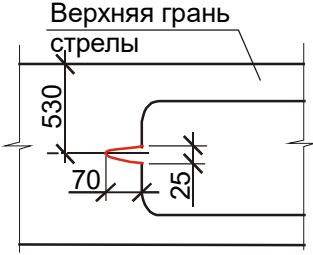
Рис. П 2.1. Схема крана рег. № 404 с указанием мест расположения дефектов

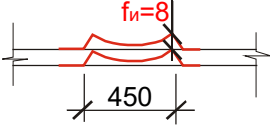
ВЕДОМОСТЬ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ

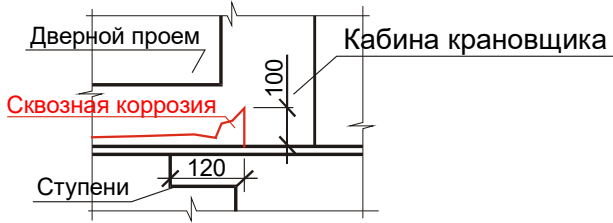
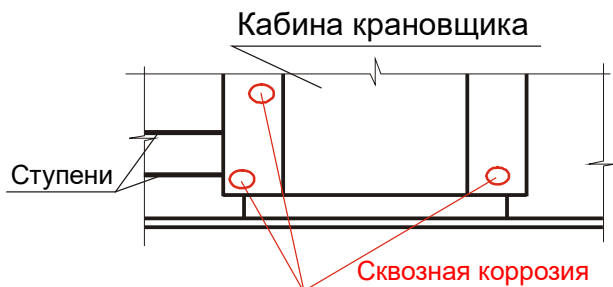
стрелового крана на железнодорожном ходу г/п 60 т зав. № 474, рег. № 404 выпуска 1976 г.

Таблица П 2.1

№	Место расположения дефекта	Эскиз дефекта	Описание дефекта	Заключение о дефекте
1	2	3	4	5
1.	Несущая рама крана		Местная погибь $f_{и}=10\text{мм}$	Оставить без изменений
2.	Защита ходовых колес крана		Разрыв основного металла защиты ходовых колес крана	Выполнить ремонтную заварку
3.	Несущая рама крана		Местная погибь $f_{и}=30\text{мм}$ поперечных несущей рамы элементов	Оставить без изменений

1	2	3	4	5
4.	Несущая рама и кабина крана		Сквозная коррозия ступени и электроизоляции под заправочным люком крана	Заменить ступень, электроизоляционную защиту проводки
5.	Стрела крана		Механический износ сечения несущей конструкции стрелы	Выполнить заварку или усиление сечения
6.	Стрела крана		Механический износ сечения несущей конструкции стрелы	Выполнить заварку или усиление сечения

1	2	3	4	5
7.	Стрела крана		Местная деформация (вмятина) стрелы крана $f_{и}=15\text{мм}$	Оставить без изменений
8.	Стрела крана		Местная деформация (погибь) нижней секции стрелы крана $f_{и}=15\text{мм}$	Оставить без изменений
9.	Стрела крана		Пластовая коррозия «карманов» вертикальной и горизонтальной поверхностей стрелы	Восстановить противокоррозионную защиту поверхностей стрелы. Прочистить дренажные отверстия стрелы

1	2	3	4	5
10.	Несущая рама и кабина крана		Сквозная коррозия ограждения кабины крановщика под дверным проемом кабины общей площадью $S \approx 10000 \text{ мм}^2$	Выполнить ремонт поврежденного участка кабины
11.	Несущая рама и кабина крана		Отсутствие сварного шва, прикрепляющего лист настила к кабине крановщика под дверным проемом кабины	Восстановить отсутствующий участок сварного шва
12.	Несущая рама и кабина крана		Сквозная коррозия ограждения кабины крановщика под дверным проемом кабины общей площадью $S \approx 2500 \text{ мм}^2$	Выполнить ремонт поврежденного участка кабины

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КРАНА

Таблица П 2.2

№ п/п	Вид контроля и применяемый прибор	Контролируемый элемент	Результаты проверки
1.	Ультразвуковой контроль толщин элементов, недоступных прямым измерениям УТ-93П	Вертикальная стенка стрелы	9,9 – 10,1 мм
2.	УЗК и МПД сварных швов УД2-12	Элементы металлоконструкций (выборочно)	Величины дефектов в пределах допусков

Контроль выполнил дефектоскопист

СОСТОЯНИЕ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ КРАНА

Таблица П 2.3

Вид дефектов и допустимое значение	Фактическое значение	Метод устранения
1	2	3
Барабаны канатные		
Трещины	Не обнаружены	Оставить без изменений
Износ гребня канавок (≤ 2 мм)	До 1,0 мм	-//-
Уменьшение толщины стенок ($\leq 10\%$)	До 0,5%	-//-
Блоки канатные		
Износ радиуса ручья (по профилю и глубине - $\leq 40\%$ толщины)	в норме	Оставить без изменений
Частичные обломы реборд (≤ 75 мм по длине)	отсутствуют	Оставить без изменений
Крюк		
Усталостные трещины	отсутствуют	Оставить без изменений
Износ крюка	в норме	-//-
Коррозионный износ крюка	отсутствует	-//-
Стальные канаты		
Обрыв и истирание проволок	отсутствует	Оставить без изменений
Коррозионный износ	отсутствует	-//-
Тормоза		
Износ обкладки тормозов ($\leq 50\%$ первоначальной толщины)	Износ обкладок тормозов незначительный	Оставить без изменений
Концевые выключатели и блокировочные устройства		
Подъёма груза	В исправном состоянии	Замечаний нет
Хода моста	В исправном состоянии	Замечаний нет
Хода тележки	В исправном состоянии	Замечаний нет
Блокировки люка	В исправном состоянии	Замечаний нет

КАРТА ОСМОТРА

стрелового железнодорожного крана г/п 60 т зав. № 474, рег. № 404

Таблица П 2.4

Место осмотра	Предполагаемый дефект	Результаты осмотра
1	2	3
Стрела (металлоконструкции) Опорно-поворотное устройство Портал и другие элементы металлоконструкций	– трещины в сварных швах	см. Ведомость дефектов и повреждений
	– трещины в основном металле	см. Ведомость дефектов и повреждений
	– пластические и другие деформации	см. Ведомость дефектов и повреждений
	– местные деформации	
	– коррозия	см. Ведомость дефектов и повреждений
	– коррозионный износ	см. Ведомость дефектов и повреждений
	– ослабление болтовых и шарнирных соединений	не обнаружены
Крюк, крюковая подвеска	– трещины, механический износ	износ зева в пределах допусков
Канатные блоки	– трещины, механический износ, деформации	износ в пределах допусков
Барабаны канатные	– трещины, механический износ	износ в пределах допусков
Канаты стальные	– отрыв проволок, механический и коррозионный износ	износ в пределах допусков
Механизмы крана, в том числе тормоза	– износ нарушение регулировок	износ не превышает регламентированные допуски
Крепление механизмов, канатов, блоков	– трещины, деформации, выработка отверстий	выработка отверстий проушин под оси в пределах нормы
Электрооборудование	– нарушение изоляции, регулировок	сопротивление изоляции в норме
Расположении и крепление эл. оборудования	– трещины, деформации	не обнаружены
Кабели	– нарушение изоляции	не обнаружено
Устройства управления (командоконтроллеры, автоматы, реле, и т.д.)	– исправность контактов, нормальная работа	в норме
Предохранительные устройства (концевые выключатели, ограничитель грузоподъемности, упоры, указатели)	– нормальная работа	в норме

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

(контрольный формуляр)

Владелец:

Изготовитель: **Народное предприятие
тяжелого машиностроения им. С.М.
Кирова, г. Лейпциг**

Состав бригады и их полномочия:

Тип: **стреловой железнодорожный
самоходный**

Грузоподъемность: $Q_{max}=60$ т при $L_{стр}=15$ м на
выносных опорах

Год изготовления: **1976 г.**

Вид контроля	Замечания
Визуальный осмотр:	Замечаний нет
расположение и крепление аппаратуры	Тоже
устройства управления	--/--
автоматы, контакторы, реле, командоконтроллеры	--/--
осветительные приборы и звуковые сигналы	--/--
пульты и шкафы управления	--/--
источники питания	--/--
заземления	--/--
кабели	--/--
токосъемники	--/--
электродвигатели	--/--
сопротивление изоляции	--/--
генераторы	--/--

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

(контрольный формуляр)

Владелец:

Изготовитель: **Народное предприятие
тяжелого машиностроения им. С.М.
Кирова, г. Лейпциг**
Состав бригады и их полномочия:

Тип: **стреловой железнодорожный
самоходный**

Грузоподъемность: $Q_{max}=60$ т при $L_{стр}=15$ м на
выносных опорах

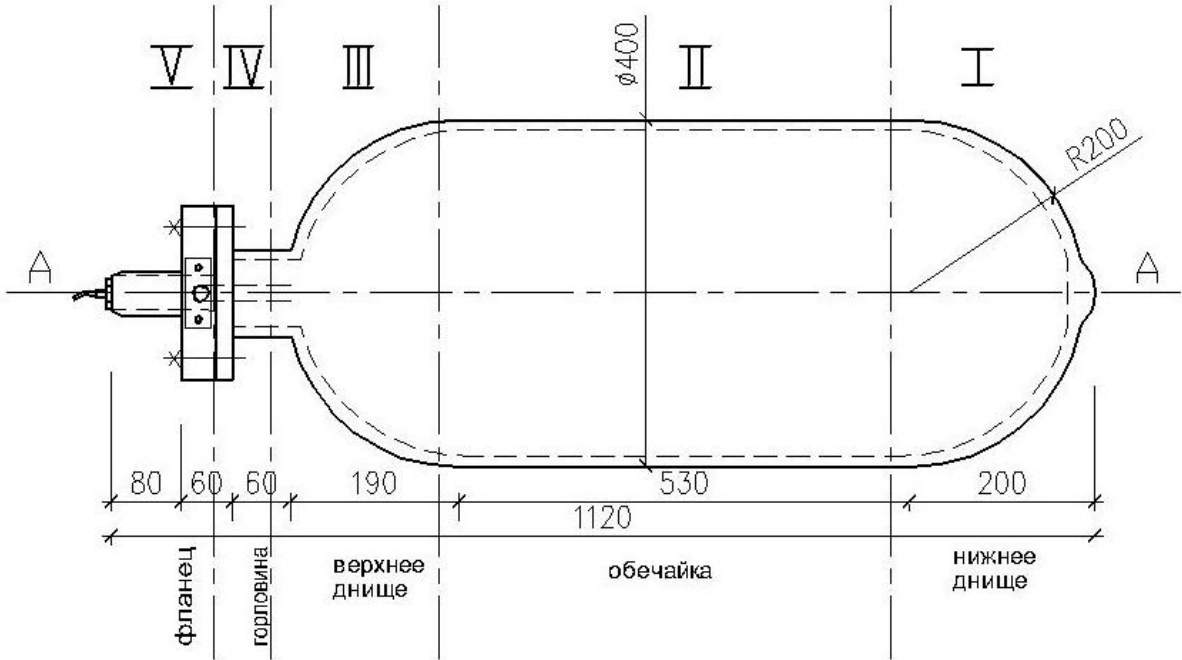
Год изготовления: **1976 г.**

Вид контроля	Замечания
Визуальный осмотр:	Замечаний нет, кроме нижеперечисленных
двигатель	Замечаний нет
муфта, редуктор двигателя	Тоже
грузовая лебедка	--/--
стреловая лебедка	--/--
редуктор грузовой лебедки	--/--
редуктор стреловой лебедки	--/--
редуктор поворота	--/--
муфта	--/--
тормоз грузовой лебедки	--/--
тормоз стреловой лебедки	--/--
тормоз поворота вращения	--/--
тормоз передвижения	--/--
барабаны канатные	износ гребня канавок на до 2 мм
блоки канатные	ручьи блоков изношены на 20-25%
канаты стальные	Замечаний нет
крепление канатов	Тоже
крюк	износ зева 2-3 мм (в норме)
ограничитель высоты подъема крюка	Замечаний нет
ограничитель min/max вылета стрелы	Тоже
ограничитель грузоподъемности	--/--
ограничитель натяжения грузового каната	Замечаний нет
крепление механизмов	Тоже
прижимные ролики	--/--
опорно-поворотное устройство	--/--
стопорное устройство основной стрелы	--/--
ходовые колеса, шины	--/--

ДЕФЕКТНЫЕ ВЕДОМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛА				Приложение С4	
Обозначение поверхности	Схема расположения контрольных участков на поверхности не установленного технологического изделия		Обозначение зон, тип и характеристика дефекта	Оценка металла в зоне дефекта	
В-В			I .1 - 1Б-8-П-85-210/315	не годен	
			II .1 - 2А-9-К-125	допустимый	
			II .2 - 1Б-8-П-85-230/315	не годен	
			II .3 +4Д-9-П100-200/300	не годен	
			III .1 +8Д-12-П85-20/105	не годен	
			IV .1 - 1Б-8-П-85-20/105	не годен	
Инв.№ подл. / Подп. и дата / Взам. инв.№		Разработал дефектоскопист		Дата	
				Подпись	

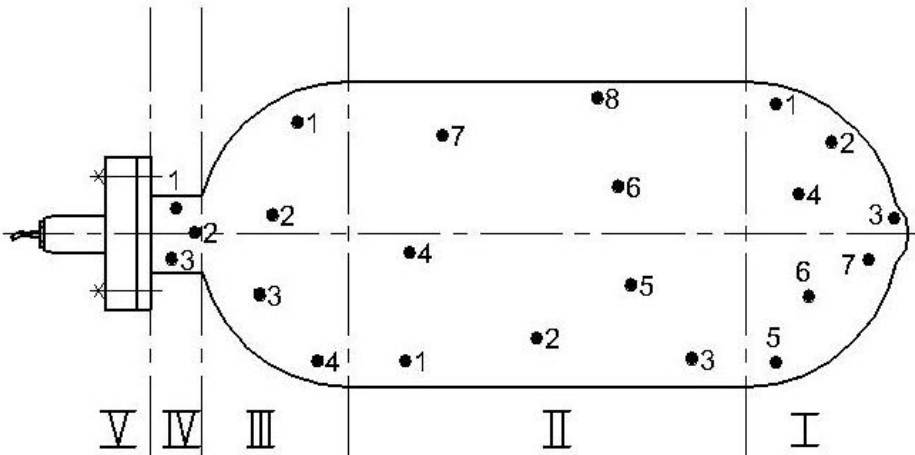
Приложение С8

ДЕФЕКТНЫЕ ВЕДОМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ
НЕ УСТАНОВЛЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗДЕЛИЯ



Обозначение зоны	Описание состояния металла на поверхности не установленного технологического изделия	Характеристика поверхности изделия	Примечания
I	1. Сплошной коррозионный износ поверхности на глубину до 1 мм; 2. Язвенная коррозия, язвы диаметром 3-7 мм. на глубину 2-5 мм;	не удовлетворительное	
II	1. Сплошной коррозионный износ поверхности на глубину до 1,5 мм; 2. Язвенная коррозия, язвы диаметром 3-7 мм. на глубину 2-5 мм;	не удовлетворительное	
III	1. Сплошной коррозионный износ поверхности на глубину до 1,5 мм; 2. Язвенная коррозия, язвы диаметром 3-7 мм. на глубину 2-5 мм; 3. В местах переменного сечения перехода металла дна на горловину наблюдается утонение металла на глубину до 7 мм;	не удовлетворительное	
IV	1. Сплошной коррозионный износ поверхности на глубину до 2 мм; 2. Коррозионный износ в сопряжении с фланцем до 5 мм; 3. В местах переменного сечения перехода металла горловины на днище наблюдается утонение металла на глубину до 3 мм;	не удовлетворительное	
V	1. Коррозионный износ поверхности составляющих фланцевого соединения до 1мм; 2. Отверстие под вводной штуцер с медной втулкой - под установку измерительной аппаратуры; 3. Коррозионное повреждение соединительных болтов фланца и заглушки до 1,5 мм.	не удовлетворительное	внутреннее давление отсутствует

Инв.№ подл. Погр. и дата Взам. инв.№

ДЕФЕКТНЫЕ ВЕДОМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОЛЩИНОМЕТРИИ				Приложение С3	
Обозначение поверхности	Схема расположения контрольных точек на поверхности не установленного технологического изделия		Обозначение контрольных точек измерений по зонам	Значение замеров мм.	
C-C			I. 1	10,9	
			I. 2	7,3	
			I. 3	16	
			I. 4	5,2	
			I. 5	8,7	
			I. 6	7,6	
			I. 7	13,2	
			II. 1	10	
			II. 2	4,6	
			II. 3	7,3	
			II. 4	8,9	
			II. 5	10	
			II. 6	4,8	
			II. 7	8,2	
			II. 8	9,8	
			III. 1	12,4	
			III. 2	3,8	
			III. 3	5,5	
			III. 4	12	
			IV. 1	7,8	
			IV. 2	9,8	
			IV. 3	3,7	
Разработал дефектоскопист			Дата	Подпись	

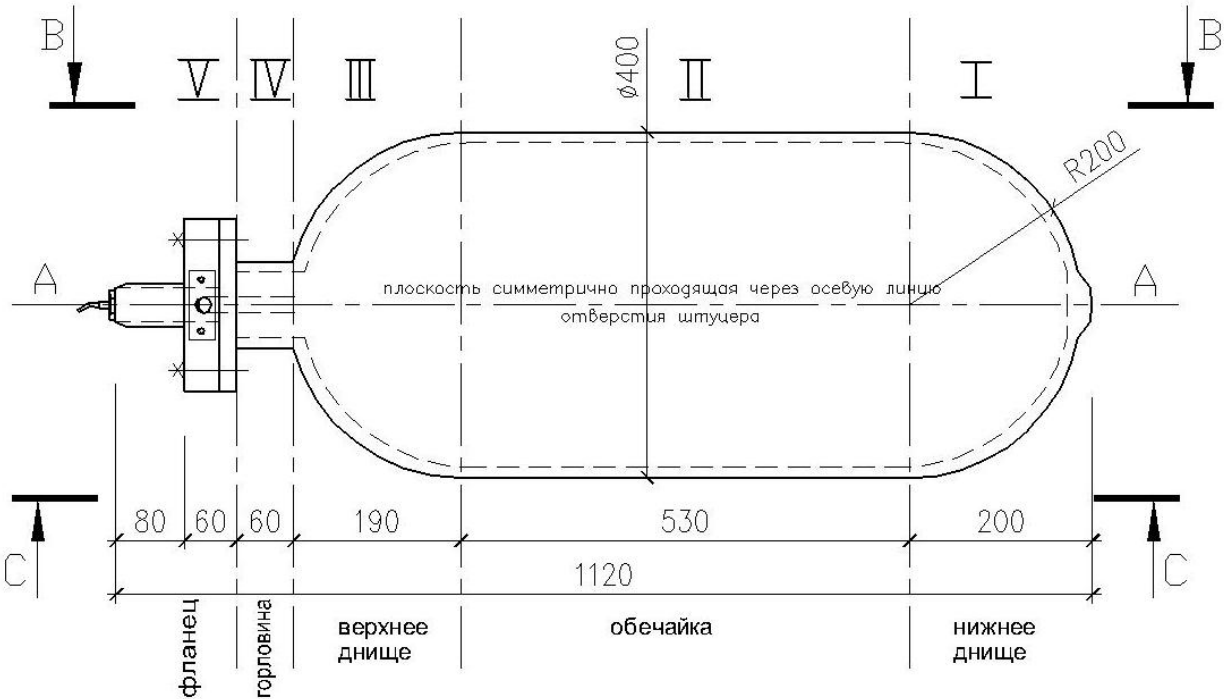
Инв.№ подл. Подп. и дата Взам. инв.№

Инв.№ подл. Подр. и дата Взам. инв.№

ДЕФЕКТНЫЕ ВЕДОМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛА				Приложение С7
Обозначение поверхности	Схема расположения контрольных участков на поверхности не установленного технологического изделия	Обозначение зон, тип и характеристика дефекта	Оценка металла в зоне дефекта	
С-С		I . 1 подповерхностные трещины не обнаружены	3 годен	
		II . 1 подповерхностные трещины не обнаружены	3 годен	
		II . 2 подповерхностные трещины не обнаружены	3 годен	
		III . 1 подповерхностные трещины не обнаружены	3 годен	
		IV . 1 подповерхностные трещины не обнаружены	3 годен	
Разработал дефектоскопист		Дата	Подпись	

Приложение С1

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ НЕ УСТАНОВЛЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗДЕЛИЯ
С УКАЗАНИЕМ РАСПОЛОЖЕНИЯ УЧАСТКОВ ОДНОРОДНЫХ ЗОН



Инв.№	подл.	Подп.	и дата	Взам. инв.№

Разработал дефектоскопист

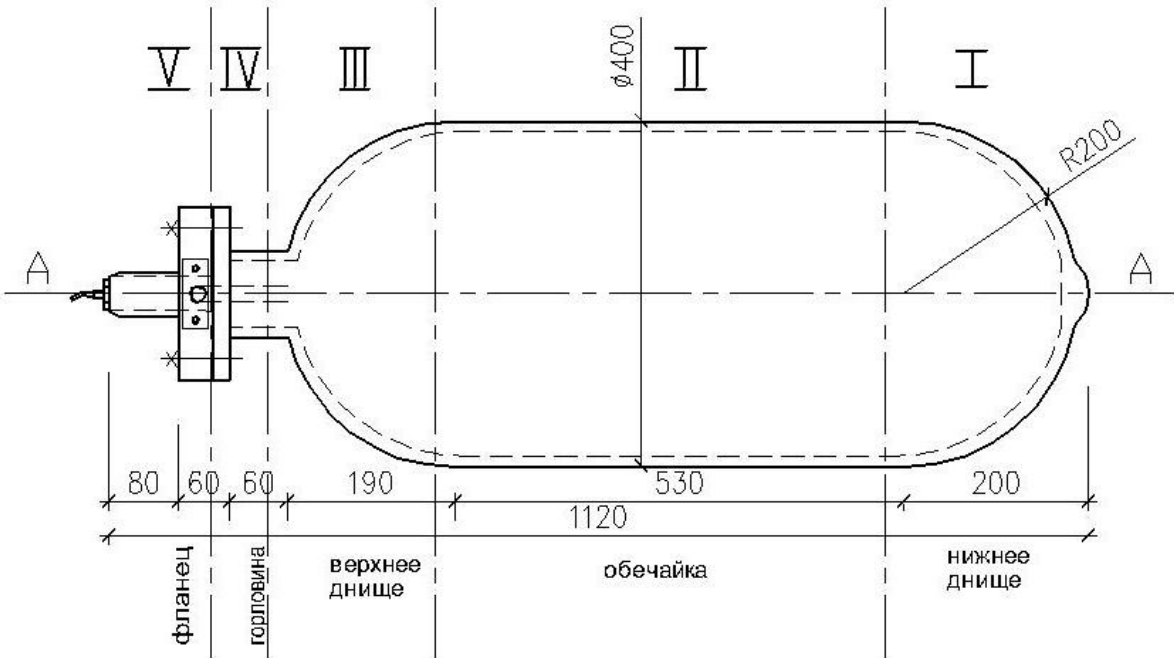
Дата

Подпись

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв.№

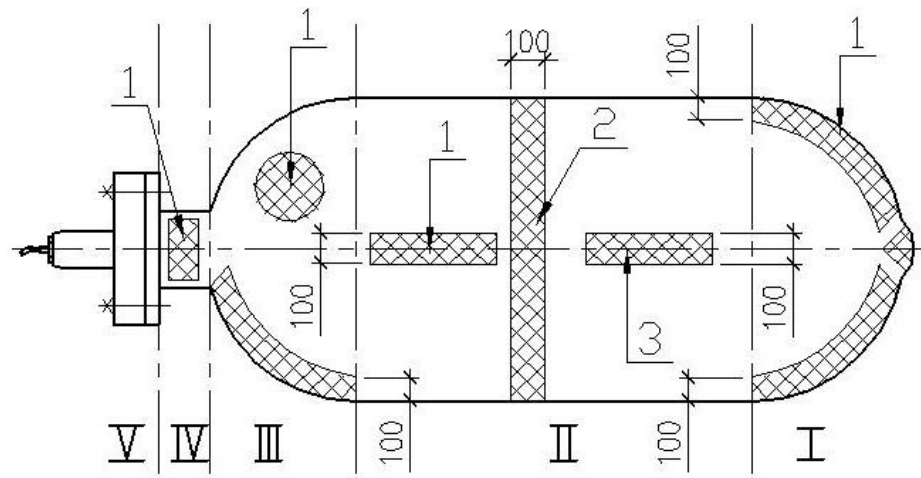
Подпись

ДЕФЕКТНЫЕ ВЕДОМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ
НЕ УСТАНОВЛЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗДЕЛИЯ



Обозначение зоны	Описание состояния металла на поверхности не установленного технологического изделия	Характеристика поверхности изделия	Примечания
I	1. Сплошной коррозионный износ поверхности на глубину до 1 мм; 2. Язвенная коррозия, язвы диаметром 3-7 мм. на глубину 2-5 мм;	не удовлетворительное	
II	1. Сплошной коррозионный износ поверхности на глубину до 1,5 мм; 2. Язвенная коррозия, язвы диаметром 3-7 мм. на глубину 2-5 мм;	не удовлетворительное	
III	1. Сплошной коррозионный износ поверхности на глубину до 1,5 мм; 2. Язвенная коррозия, язвы диаметром 3-7 мм. на глубину 2-5 мм; 3. В местах переменного сечения перехода металла дна на горловину наблюдается утонение металла на глубину до 7 мм;	не удовлетворительное	
IV	1. Сплошной коррозионный износ поверхности на глубину до 2 мм; 2. Коррозионный износ в сопряжении с фланцем до 5 мм; 3. В местах переменного сечения перехода металла горловины на дно наблюдается утонение металла на глубину до 3 мм;	не удовлетворительное	
V	1. Коррозионный износ поверхности составляющих фланцевого соединения до 1мм; 2. Отверстие под вводной штуцер с медной втулкой - под установку измерительной аппаратуры; 3. Коррозионное повреждение соединительных болтов фланца и заглушки до 1,5 мм.	не удовлетворительное	внутреннее давление отсутствует

Инв.№ подл. Погр. и дата Взам. инв.№

ДЕФЕКТНЫЕ ВЕДОМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛА				Приложение С5	
Обозначение поверхности	Схема расположения контрольных участков на поверхности не установленного технологического изделия	Обозначение зон, тип и характеристика дефекта	Оценка металла в зоне дефекта	С-С	
		I . 1 - 1Б-8-П-85-210/315	не годен		
		II . 1 - 2А-9-К-125	допустимый		
		II . 2 - 1Б-8-П-85-230/315	не годен		
		II . 3 +4Д-9-П100-200/300	не годен		
		II . 1 +8Д-12-П85-20/105	не годен		
		II . 1 - 1Б-8-П-60-30/90	не годен		
Разработал дефектоскопист		Дата	Подпись		

Инв.№ подл. Погр. и дата Взам. инв.№

Список литературы

1. Акберин Р.З. Экономическая эффективность восстановления оборудования и резервы ее повышения. – М.: Машиностроение, 1980. -184 с., ил.
2. Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем: Учебник. – М.: Логос, 2001. – 208.: ил.
3. Арошенко М.М., Гордеев В.Н, Лебедич И.Н. Тайны стальных конструкций. – К.: Изд-во «Сталь», 2004. - 308с.
4. Баженов В.А., Гоцуляк Е.А., Оглобля А.И., Динкевич Ю.Л., Геращенко О.В. Расчет композитных конструкций с учетом расслоений. – К.: Будівельник, 1992. – 136 с.
5. Баженов В.А., Оглобля А.И., Геращенко О.В. Теория и расчет трехслойных конструкций, содержащих расслоения. – К.: Наук. Думка, 1997. – 248 с.
6. Барашников А.Я. Сирота М.Д. Надійність будівель і споруд. – К.: Інститут системних досліджень освіти, 1993. – 202 с.
7. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: «Машиностроение», 1978. – 240 с., ил. – (Надежность и качество).
8. Бондаренко И.Н. Разрушающее воздействие среды на конструкции зданий и инженерные системы./ Моск.гос. строит. ун-т. - М: МГСУ, 2002. - 100 с.
9. Горев В.В. Математическое моделирование при расчетах и исследованиях строительных конструкций: Учеб. пособие/ В.В. Горев, В.В. Филиппов, Н.Ю. Тезиков. – М.: Высшая школа, 2002. – 206 с.: ил.
10. Горохов Е.В. Шаповалов С.Н. Удод и др. Повышение надежности и долговечности электросетевых конструкций/ Под ред. Е.В. Горохова. – К.: Техника, 1997. – 284 с.
11. Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции./ Е.В. Горохов, В.П. Королёв, Я. Брудка и др.-М., Стройиздат, 1994.- 488 с.
12. Експлуатаційні властивості і захист від корозії будівельних металоконструкцій./ Розробки і практичний досвід забезпечення довговічності.// Прес-досьє НВВЛ “Антикор-Дон” ДонНАБА. Під ред. Корольова В.П. - Донецьк, Норд-Прес, 2005.- 44 с.
13. Жудин Н.Д. Стальные конструкции./ Учеб. для инж.-строит.вузов.- М.: Госстройиздат, 1957. – 335 с.
14. Заславский И.Н., Флакс В.Я., Чернявский В.Л. Долговечность зданий и сооружений предприятий черной металлургии. – М.: Стройиздат, 1964. – 36 с.
15. Исследования надежности металлических конструкций./ Труды института. // Под ред. акад. Мельникова Н.П. – М.: ЦНИИПСК, 1979.-123 с.
16. Калинин В.М., Сокова С.Д., Топилин А.Н. Обследование и испытание конструкций зданий и сооружений: Учебник. - М.: ИНФРА, 2005. – 336 с.
17. Калинин В.М., Сокова С.Д. Оценка технического состояния зданий: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 268 с.
18. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції./ За ред. Ф.Є.Клименка: Підручник.- 2-ге вид., випр. і доп. –Львів: Світ, 2002. – 312 с.
19. Комков В.А., Рощина С.И., Тимахова Н.С. Техническая эксплуатация зданий и сооружений. – М.: ИНФРА, 2005. – 208 с.
20. Королев В.П. Теоретические основы инженерных расчетов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность. // Научные труды ДГАСА. Вып. 1-95.-Макеевка: 1995. – 108 с.
21. Лащенко М.Н. Повышение надежности металлических конструкций зданий и сооружений при реконструкции. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 136 с., ил.
22. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. – М.: Стройиздат, 1979. – 319 с.

23. Махутов Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.
24. Мельников Н.П. Металлические конструкции. Современное состояние и перспективы. – М.: Стройиздат, 1983. – 541 с.
25. Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее./ Сборник докладов VIII Украинской научно-технической конференции.-Части 1, 2. // Под ред. д.т.н., проф. А.В.Шимановского.-К.: «Сталь», 2004.- 1097 с.
26. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Веденников и др.; под общ. Ред. Е.И. Беленя. – М.: Стройиздат, 1986. – 590 с.
27. Металлические конструкции (техническая эксплуатация). М.М. Сахновский, Г.В.Жемчужников, Ю.Б. Динельт, Ю.А. Зданевич./ Под общ. ред.М.М.Сахновского. – Киев: “Будівельник”, 1976. – 256 с.
28. Надежность и безопасность технических систем./ Серия «Все о качестве. Зарубежный опыт». Выпуск 23. – М.: 2001 г., 28 с.
29. Неразрушающий контроль качества сварных конструкций / В.А. Троицкий, В.П. Радько, В.Г. Демидко, В.Т. Бобров. – Киев: Техніка,1986. – 158 с.
30. Надежность и безопасность технических систем./ Серия «Все о качестве. Зарубежный опыт». Выпуск 23. – М.: 2001 г., 28 с.
31. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. В.С. Сыромятникова, Г.С. Деминой. Под общ. Ред. В.С. Сыромятникова. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
32. Настанови з визначення технічного стану мостів / А.І. Лантух Лященко, П.М. Коваль, В.Б. Назаренко та ін. – К.: Транспортна Академія України, 2002. – 86 с.
33. Недосека А.Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. – К.: Издательство «ИНДПРОМ», 2001. – 815 с.
34. Немчинов Ю.В. Расчет пространственных конструкций (метод конечных элементов). – К.: Будівельник, 1980. – 232 с.
35. Патон Б.Е., Труфяков В.И. О повышении несущей способности и долговечности сварных конструкций // Автомат. Сварка – 1982. - № 2, с.1-6.
36. Перельмутер А.В., Гордеев В.М., Горохов Є.В. та ін. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні, 2002. – 166 с.
37. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. – К.: Изд-во УкрНИИПСК, 2000. – 216 с.
38. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций. – 1998. – 148 с.
39. Пичугин С.Ф. Надежность технических систем./ Конспект лекций. – Полтава, 1998. –132.
40. Повышение долговечности металлические конструкций промышленных зданий./ А.И. Кикин, А.А. Васильев, Б.Н. Кошутин и др. – 2-е изд.перераб.и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 301 с.
41. Проектирование металлических конструкций: Спец. курс./ Учеб. пособие для вузов.// В.В.Бирюлев, И.И.Кошин, И.И.Крылов, А.В.Сильвестров. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с.
42. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
43. Реконструкция промышленных предприятий./ В.Д. Топчий, Р.А. Гребенник, В.Г. Клименко и др.// В 2 т. – М.: Стройиздат, 1990.
44. Рухович И.Р., Губанов В.В. Реконструкция и усиление конструкций зданий и сооружений (раздел металлические конструкции)/ Конспект лекций. - Макеевка, ДонГАСА, 2000 г. - 152 с.
45. Сахновский М.М. Легкие конструкции стальных каркасов зданий и сооружений. – Киев: Будівельник, 1984. – 160 с.

46. Сварные строительные конструкции: Справочник / Под ред. Л.М.Лобанова. – Киев: ИЭС им.Е.О. Патона, 1997. – Т. 2. – 680 с.; 2003. – Т. 3. – 378 с.
47. Сергеев А.Г., Латышев М.В. Сертификация. Учебное пособие для студентов вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Логос, 2001. -264 с.
48. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера./ Булгаков С.Н., Тамразян А.Г., Рахман И.А., Степанов А.Ю. Под общей ред. Тамразяна А.Г. – М., МАКС Пресс, 2004. – 304 с.
49. Стальные конструкции производственных зданий: Справочник / А.А. Нилов, В.А. Пермяков, А.Я. Прицкер. – Киев: Будівельник, 1986. – 272 с.
50. Стрелецкий Н.С., Гениев А.Н. Основы металлических конструкций.- М.: ОНТИ, 1935.
51. Совершенствование сварных металлических конструкций./ Под ред. М.М.Жербина.// АН Украины. Ин-т электросварки им. Е.О.Патона. – Киев: Наук. думка, 1992. – 272 с.
52. Теличенко В.И., Слесарев М.Ю., Свиридов В.Н., Стойков В.Ф., Нагорняк И.Н. Безопасность и качество в строительстве: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2002 – 336 с.
53. Теличенко В.И. и др. Управление качеством строительной продукции. Техническое регулирование безопасности и качества в строительстве: Учеб. пособие. – М.: Издательство АСВ, 2003. – 512 с.
54. Теоретические основы инженерных расчетов металлических строительных конструкций./ Труды института.// Под ред. Мельникова Н.П. Вып.20. - М.: ЦНИИПСК.- 72 с.
55. Техническая эксплуатация промышленных зданий и сооружений: Учебное пособие / Е.В. Горохов, И.Р. Рухович, В.П. Королев. – Киев: УМК ВО, 1988. – 100 с.
56. Трощенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – Киев: Наук. Думка, 1981. 343 с.
57. Шимановский В.Н. Висячие системы. – К.: Будівельник, 1984. – 208 с.
58. Шимановский В.Н., Гордеев В.Н., Гринберг М.Л., Оптимальное проектирования пространственных решетчатых покрытий. - Киев: Будівельник, 1987. – 227 с.
59. Шимановский В.Н. Соколов А.А. Расчет висячих конструкций за пределом упругости. – К.: Будівельник, 1975. – 104 с.
60. Шимановский В.Н., Шимановский А.В. Устойчивость плоской формы изгиба пологих нитей конечной жесткости // Развитие металлических конструкций. Работы школы Н.С. Стрелецкого. – М.: Стройиздат, 1987. – С. 391-403.
61. Durability of Steel Structures Under Reconstruction. E.V.Gorochov, V.P.Korolev. - A.A.Balkena/ Rotterdam, Brookfield/ 1999.-305 p.
62. Mrazik A. Teoria spolahlivosti ocelovych konstrukcii. - Bratislava 1987. – 360.
63. Tichy M. Pravdepodobnostni optimalizace dimenzovani stavebnich konstrukcii. - 1986. – 133.

Нормативно-технические документы

1. ГОСТ 27.003 – 90 Состав и общие правила задания требований по надежности./ Дата введ. 01.01.92, 27 с.
2. ГОСТ 27.301 – 95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. / Дата введ. 01.01.97, 15 с.
3. ГОСТ 27.310 – 95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов./ Дата введ. 01.01.97., 19 с.
4. ГОСТ 18322 – 78 Система технического обслуживания и ремонта техники./ Дата введ. с 01.01.80, 13 с.
5. ГОСТ 27751 – 88 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету./ Дата введ. 01.07.88, 8 с.

6. ДСТУ 2156-93 Безпечність промислових підприємств.-К.:Держстандарт України,1994.-31с.
7. ДСТУ 2860 – 94 Надійність техніки. Терміни та визначення./ Чинний від 01.01.96, 91 с.
8. ДСТУ 2861-94 Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення.- К.:Держстандарт України,1995.-33с.
9. ДСТУ 2862 – 94 Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги / чинний від 1996 – 01 – 01., 37 с.
10. ДСТУ 3004-95 Надежность техники. Методы расчета показателей надежности./ Дата введ. 01.01.96, 40 с.
11. ДСТУ 3273 – 95 Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги ./ Чинний від 01.07.96, 11 с.
12. ДСТУ 3891 – 99 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Терміни та визначення основних понять. / Чинний від 01.01.2000, 20 с.
13. ДБН В 1.2.1. – 95. Положення про розслідування причин аварій (обвалень) будівель, споруд, їх частин та конструктивних елементів / Держкоммістобудування України. – К.: Укрархбудінформ, 1995. – 21 с.
14. ДБН В.1.2.-...-95 Общие принципы обеспечения надежности и безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований./ Проект (первая редакция). - 48с.
15. ДБН 362-92 Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що експлуатуються.
16. РД 50 – 699 – 90 Методические указания. Надежность в технике. Общие правила классификации отказов и предельных состояний./ Дата введ. 01.01.92 г., 12 с.
17. СНиП 2.01.07. – 85. Нагрузки и воздействия. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987.
18. СНиП II-28-73* «Защита строительных конструкций от коррозии. Нормы проектирования». /Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1980. – 45 с.
19. СНиП 3.04.03-86 Защита строительных конструкций от коррозии.
20. Инструкция по расследованию и учету техногенных нарушений в работе электростанций, сетей и энергосистем Минэнерго Украины. – К.: 1994. – 50 с.
21. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування об'єктів підвищеної небезпеки – К.: Основа, 2003.–192 с.
22. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд / Затвердж. спільним наказом Держбуду та Держнаглядохоронпраці від 27.11.97 р. №32/288 і введені в дію з 1 грудня 1997 р.- Київ, 1997.- 145 с.
23. Підвищення безпеки життєдіяльності населення і стійкості економіки України з урахуванням ризику техногенних і природних катастроф. Наук. доп. – Київ: РВПС України, 1993.
24. Положение о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений/ Госстрой СССР. М.: Стройиздат,1974.
25. Пособие по контролю состояния строительных металлических конструкций зданий и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектированию восстановления защиты конструкций от коррозии (к СНиП 2.03.11-85). - М.: Стройиздат, 1989. – с.51.
26. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II -23-81*). – М.: УкрНИИпроектстальконструкция Госстроя СССР, 1989.
27. Правила технической эксплуатации производственных зданий и сооружений предприятий горно – металлургического комплекса Украины./ Утверждены Министерством промышленной политики Украины 12 ноября 2003 г., 91 с.

28. Рекомендации по проектированию защиты от коррозии строительных металлических конструкций / ЦНИИпроектстальконструкция им. Мельникова, - М., 1988. – с.166 .
29. Методические указания по организации технического надзора за состоянием производственных зданий и сооружений./ Утверждены приказом начальника территориального управления Госнадзорохрантруда по Донецкой области №395 от 16 ноября 1998 г., 34 с.
30. Методические рекомендации по техническому освидетельствованию строительных конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей (для служб надзора, эксплуатации и цехового персонала)/ Утверждены приказом начальника территориального управления Госнадзорохрантруда по Донецкой области № 395 от 16 ноября 1998 г., 104 с.
31. Рекомендации по учету влияния дефектов и повреждений на эксплуатационную пригодность стальных конструкций производственных зданий.-М., ЦНИИпроектстальконструкция им. Мельникова, 1987, 46 с.