ISSN 1996-8159

ПБС

4'2017

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ









Вітаємо із 10-річчям!

Редакції журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди»

Державна корпорація «Укрмонтажспецбуд» – найбільше в Україні об'єднання спеціалізованих будівельно-монтажних організацій та підприємств - як один із засновників науково-виробничого журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди» щиро вітає редакцію журналу, його читачів та дописувачів із 10-річчям!

За час, що минув, журнал набув статусу фахового видання, яке користується неабияким авторитетом у фахівців будівельної галузі.

На шпальтах журналу знаходять відображення останні досягнення науки та технічного прогресу, шляхи їх інтеграції у будівельне виробництво, здобутки щодо проектних рішень, впровадження новітніх технологій при спорудженні складних в інженерному плані об'єктів тощо.

Журнал є джерелом інформації для широкого загалу колективів галузі монтажного виробництва з питань підвищення якості та конкурентоспроможності вітчизняної будівельної продукції, розвитку нормативної бази у будівництві і її гармонізації із Європейським Союзом, аспектів дозвільної системи, обміну передовим досвідом щодо монтажу конструкцій, обладнання та інженерних систем при спорудженні нових або модернізації діючих промислових комплексів, опанування закордонних будівельних ринків та інших.

Бажаємо працівникам редакції журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди» та усім причетним до його видання доброго здоров'я, благополуччя, творчої наснаги та нових здобутків у їх такій важливій для будівельної галузі справі.

З щирою повагою,
президент Державної корпорації «Укрмонтажспецбуд» О.В. Луганов

ЗАСНОВНИКИ

ДЕРЖАВНА КОРПОРАЦІЯ «УКРМОНТАЖСПЕЦБУД»

ТОВ «УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ім. В.М. ШИМАНОВСЬКОГО»

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 17750-6600 ПР від 07.04.2011 р.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР
Адріанов В.П.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР
Лукашевич Т.І.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Абрашкевич Ю.Д., д.т.н., проф.
Беркута А.В., к.е.н.
Голоднов О.І., д.т.н., проф.
Гончаренко Д.Ф., д.т.н., проф.
Гордеєв В.М., д.т.н., проф.
Гуляєв В.І., д.т.н., проф.
Єгоров Є.А., д.т.н., проф.
Кваша В.Г., д.т.н., проф.
Корольов В.П., д.т.н., проф.
Лантух-Лященко А.І., д.т.н., проф.
Лобанов Л.М., академік НАНУ, д.т.н., проф.
Мущанов В.П., д.т.н., проф.
Оглобля О.І., д.т.н., проф.
Пасечнюк В.Л.
Пічугін С.Ф., д.т.н., проф.
Стоянов В.В., д.т.н., проф.
Шимановський О.В., член-кор. НАНУ, д.т.н., проф.

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА
на 2017 — 2018 роки

Абель Д., д.т.н., проф. (США)
Агощ З., д.т.н., проф. (Словаччина)
Белоєв М., к.т.н. (Болгарія)
Ведяков І.І., д.т.н., проф. (Росія)
Грінченко В.Т., академік НАНУ, д.т.н., проф. (Україна)
Зюлко Є., д.т.н., проф. (Польща)
Кавагучі М., д.т.н., проф. (Японія)
Каравайченко М.Г., д.т.н., проф. (Росія)
Като Ш., д.т.н., проф. (Японія)
Кульбах В., академік НАНЕ, д.т.н., проф. (Естонія)
Лан Т., д.т.н., проф. (Китай)
Назаров Ю.П., д.т.н., проф. (Росія)
Новак А., д.т.н., проф. (США)
Розерт Х., д.т.н., проф. (Німеччина)
Сидорович Є.М., д.т.н., проф. (Білорусь)
Спарлінг Б., д.т.н., проф. (Канада)
Трощенко В.Т., академік НАНУ, д.т.н., проф. (Україна)
Тулєбаєв К.Р., д.т.н. (Казахстан)
Янковяк Р., д.т.н., проф. (Польща)

НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ

ПБС

4'2017

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Виходить 4 рази на рік

Заснований у листопаді 2007 року

ЗМІСТ

ДО 10-РІЧЧЯ ВИДАННЯ

О.В. Шимановський, В.П. Адріанов

ДЕСЯТЬ РОКІВ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ 2

НАУКА – ВИРОБНИЦТВУ

Е.А. Егоров, А.Е. Кучеренко

ПОЛУОПРЕДЕЛЕННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ 5

А.І. Ковальов

ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ВОГНЕЗАХИСТУ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ 11

А.И. Сиянов

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПОДКРЕПЛЕННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СЕТЧАТОЙ ОБОЛОЧКИ. 16

О.В. Родченко

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ДВОШАРОВИХ МОНОЛІТНИХ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ 20

О.С. Осипов

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИБЛИЖЕНИЯ ЗАБОЯ ВЫРАБОТКИ К ЭКСПЛУАТИРУЕМОМУ ТОННЕЛЮ В УСЛОВИЯХ ФЛИШЕВОГО СЛОЖЕНИЯ ПОРОД 24

МОСТОВІ СПОРУДИ

П.М. Сташук, А.Є. Фаль

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЇ КОРОБЧАСТОЇ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ МОСТА 30

ПРОСТОРОВІ КОНСТРУКЦІЇ

В.Н. Король, Е.И. Гезенцвей, Е.С. Иосилевич

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ДЛЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КОЖУХОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ 35

АРХІТЕКТУРА АЕРОПОРТІВ

Касим Мухаммед Басим

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ СТРУКТУРА СОВРЕМЕННЫХ МОДУЛЕЙ АЭРОВОКЗАЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ 41

ЮВІЛЕЙНІ ДАТИ

К 100-ЛЕТИЮ ЯКОВА МОИСЕЕВИЧА ЛИХТАРНИКОВА 46

Згідно з наказом МОН України від 13.03.2017 р. № 374 журнал включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук

Київ • 2017

© Промислове будівництво та інженерні споруди, 2017

ДЕСЯТЬ РОКІВ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ СЕРЕДОВИЩІ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

Сучасний науково-виробничий журнал «Промислове будівництво та інженерні споруди» відзначає своє перше десятиріччя. Але його історія бере свій початок у далекому 1959 р., коли Держбудом УРСР разом із Мінбудом УРСР було засновано загальногалузевий журнал «Промышленное строительство и инженерные сооружения» як видавничий орган спеціалізованих будівельних організацій та підприємств будіндустрії. Журнал розповсюджувався на всій території колишнього Радянського Союзу понад тридцять років. У 1993 р. з друку вийшов його останній номер.

У 2007 р. спільним рішенням Державної корпорації «Укрмонтажспецбуд» і ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» (ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського») з метою ознайомлення будівельної спільноти з сучасними досягненнями технічного прогресу при спорудженні об'єктів промислового і соціального призначення та складних інженерних споруд, зі здійсненням державної технічної політики у фондоутворювальній галузі, з процесами євроінтеграції та іншими важливими питаннями сьогодення було засновано новий журнал під назвою «Промислове будівництво та інженерні споруди». У цьому ж році журнал набув статусу фахового видання з технічних наук.

До складу редакційної колегії журналу ввійшли відомі науковці та фахівці будівельної галузі, серед яких 15 докторів технічних наук, у т.ч. один член-кореспондент НАН України. До міжнародної редакційної ради були залучені вчені зі світовим ім'ям із США, Словаччини, Болгарії, Польщі, Японії, Естонії, Китаю, Німеччини, Білорусі, Канади, Чехії та Казахстану.

Згідно із визначеною стратегією редакційної колегії тематика публікацій націлена на висвітлення здобутків інтеграції науки у сферу будівельного виробництва, удосконалення проектної справи та системи технічного регулювання, впровадження новітніх технологій та передового досвіду лідерів будівельної галузі тощо.

За минуле 10-річчя вийшло 40 номерів журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди», в яких опубліковано 355 статей. Матеріали дописувачів переважно присвячені питанням будівельної механіки, будівельним конструкціям, проблемам проектування та будівництва об'єктів промислового призначення, а також результатам наукових досліджень, удосконаленню нормативної бази та багатьом іншим. Статті публікуються українською, російською та англійською мовами.



О.В. Шимановський
керівник організації засновника та видавця журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди», генеральний директор ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», член-кореспондент НАН України, заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор



В.П. Адріанов
головний редактор журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди», заступник генерального директора ТОВ «Укрінсталькон імені В.М. Шимановського»

Значна увага при підготовці журналу приділяється ознайомленню фахівців будівельної галузі з останніми розробками колективів інститутів Національної академії наук України, галузевих науково-дослідних і проектних організацій, вищих навчальних закладів, провідних вітчизняних та закордонних будівельних фірм.

Завдяки співпраці з відомими вченими Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», Національного транспортного університету, Національного авіаційного університету, ДІ «УкрНДІводоканалпроект», Національного університету «Львівська політехніка», Київського національного університету будівництва та архітектури, Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, Полтавського національного технічного університету ім. Юрія Кондратюка, Української академії залізничного транспорту, НДІпроектреконструкції, інших організацій та установ сформований постійно діючий розділ журналу «Наука – виробництву».

 © Шимановський О.В., Адріанов В.П.

У цьому розділі висвітлюються новітні рішення із удосконалення розрахунку конструкцій будівель і споруд, у т.ч. із розрахунку мембранної оболонки покриття стадіонів, вантових систем, висячих систем скінченної жорсткості, приводяться висновки експериментальних досліджень динамічних характеристик конструкцій морських стаціонарних платформ, напружено-деформованого стану висячого великопрогонового покриття, удосконалення конструктивних форм балок із профільованою стінкою, вогневих випробувань залізобетонної балки, моделювання динамічної поведінки та міцності конструкцій вітроенергетичного устаткування, аналізу результатів вогневих випробувань захищених дерев'яних конструкцій. Розглядаються також питання стійкості сталевих резервуарів, забезпечення якості та надійності протикорозійного захисту будівельних металевих конструкцій, теоретичні основи моделювання старіння сталей при визначенні їх ресурсу та багато інших наукових досліджень, більшість яких знайшли застосування у практиці проектування будівельних конструкцій та у нових розробках нормативно-технічної документації.

Окремий блок статей присвячено впровадженню інноваційних рішень у практику розроблення проектної документації об'єктів будівництва. У цьому переліку оригінальні конструктивні і технологічні рішення з проектування об'єктів Алчевського меткомбінату, огороджувальних дамб хвостосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів України, металевих конструкцій доменних печей метзаводів, сталевих силосів для зберігання зерна, аркових мостів, портових споруд, а також конструкцій спортивних споруд у містах Київ, Львів, Дніпро, Харків, Одеса, Суми, Алмати, Мінськ.

На шпальтах журналу обговорюються проблеми підвищення ефективності впровадження автоматизованих систем проектування, забезпечення економічної стабільності вітчизняних проектних організацій, а також аспекти застосування авторського права проектувальників, досвід розроблення будівельних конструкцій за європейськими стандартами (Єврокодами) та ряд інших питань.

Значна увага приділяється також ознайомленню спеціалізованих будівельних організацій із останніми розробками зі створення нових конструкцій за сучасними технологіями при спорудженні нових або реконструкції (ремонті) діючих об'єктів. Низка статей присвячена новим маркам сталі і профілів прокату для використання у металобудівництві, сучасним методам неруйнівного контролю зварних з'єднань, застосуванню полімерних труб в інженерних мережах, сучасним конструкціям автодорожніх мостів, конструкціям з клеєної деревини, впровадженню сучасних технологій монтажу конструкцій трубопроводів та обладнання при будівництві об'єктів енергетики, металургії, хімічної та нафтохімічної промисловості, а також використанню нової будівельної техніки, спецінструменту та оснастки.

До проведення чемпіонату Європи з футболу (Євро-2012) у декількох номерах журналу було надруковано цикл статей з питань проектування і спорудження футбольних стадіонів у містах України.

У багатьох публікаціях розглядаються актуальні проблеми експлуатаційної надійності та довговічності відповідальних об'єктів будівництва шляхом визначення їх технічного стану і залишкового ресурсу та встановлення обґрунтованих термінів подальшої безпечної експлуатації, приведені результати моніторингу експлуатації будівельних конструкцій об'єктів Рівненської АЕС, Дніпровської ГЕС, доменної печі у м. Кривий Ріг, антенних споруд баштового типу, великопрогонових конструкцій опор вітроенергетичного устаткування та інших об'єктів.

До цієї тематики можна також віднести матеріали щодо ремонту і відновлення каналізаційних колекторів, дослідження стану конструкцій діючого аміакопроводу, підкранових балок, магістральних трубопроводів, мостових переходів, гідротехнічних споруд.

Значний резонанс у фахівців будівельної галузі викликала стаття, опублікована в порядку обговорення, щодо застосування нового Порядку обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва.

Окреме місце у загальній тематиці журналу посідають матеріали з питань технічного регулювання у будівельній галузі.

Основні засади державної технічної політики у сфері удосконалення існуючої системи нормування і стандартизації, а також її вплив на забезпечення загальної безпеки будівництва були висвітлені у статтях керівників Мінрегіону України.

У публікаціях фахівців, які є розробниками проектів державних і галузевих будівельних норм та національних стандартів, надається розгорнута інформація щодо стану нормативного забезпечення усіх етапів створення об'єктів будівництва, розроблення і адаптації нормативних документів, гармонізованих з Європейськими стандартами, удосконалення системи оцінювання відповідності будівельних виробів, залучення бізнес-спільноти до участі у підготовці та фінансуванні проектів нормативно-технічних документів та інші важливі питання.

На постійній основі в журналі друкуються матеріали, присвячені широкому колу таких організаційних та правових питань діяльності організацій і підприємств галузі, як особливості системи ліцензування у будівництві, укладання та виконання договорів підряду, сучасні підходи до менеджменту якості у проектних організаціях та захист авторських прав у галузі проектування, ефективні системи управління процесами будівництва, аспекти безпечного виконання будівельно-монтажних робіт. Приводиться інформація щодо результатів проведення в Україні та за її межами науково-практичних конференцій, семінарів, колоквіумів із широкого кола питань підвищення технічного і якісного рівня будівництва, анонсуються випуски у світ нових монографій, підручників та наукових праць.

У практику підготовки журналу до друку запроваджено формування окремих номерів однієї тематичної спрямованості. Таким чином були видані журнали, присвячені 70-річчю створення відомого в Україні і за її межами науково-дослідного і проектного інституту ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського», 85-річчю створення державного інституту «УкрНДІводоканалпроект» – провідної науково-технічної організації з проектування систем водопостачання, водовідведення та промислових гідротехнічних споруд, 40-річчю спорудження київської телевежі, яка є гордістю українських проектувальників і будівельників, а також діяльності найбільшого в Україні спеціалізованого об'єднання – асоціації «Український центр сталевого будівництва».

Науково-виробничий журнал «Промислове будівництво та інженерні споруди» викликає певний інтерес у міжнародної науково-технічної спільноти як фахове видання. На його сторінках публікуються статті, підготовлені фахівцями відомих будівельних фірм і інститутів Польщі, Німеччини, Словаччини, Болгарії, Голландії, Білорусі, Казахстану, Ізраїлю, Узбекистану.

Редакційна колегія журналу висловлює щиру вдячність усім, хто співпрацює з редакцією, надаючи змістовні, цікаві та науково обгрунтовані матеріали. Нашими активними дописувачами є академік НАН України, д.т.н., проф. Лобанов Л.М., член-кореспондент НАН України, д.т.н., проф. Шимановський О.В., д.т.н., проф. Голоднов О.І., д.т.н. Перельмутер А.В., д.т.н., проф. Гордеєв В.М., д.т.н., проф. Кліменко В.З., д.т.н., проф. Лантух-Лященко А.І., д.т.н., проф. Абрашкевич Ю.Д., д.т.н., проф. Пічугін С.Ф., д.т.н., проф. Гуляєв В.І., д.т.н., проф. Гончаренко Д.Ф., к.т.н., с.н.с. Шалінський В.В., к.т.н. Носенко О.П., к.т.н. Білик А.С., к.т.н. Грінберг М.Л., к.т.н. Любін О.Ю., к.т.н. Лебедич І.М., канд. архіт. Сьомка С.В., к.т.н. Гук Я.С., інженери Барзилович Д.В., Кордун О.І., Терещенко Ю.І., Пасечнюк В.Л., Шульман І.З. та багато інших.

Засновники та редакційна колегія журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди» і надалі прикладатимуть усіх зусиль аби видання було цікавим та корисним спеціалістам будівельної галузі. Ми запрошуємо до творчої співпраці усіх, хто має бажання поділитися з читачами накопиченим досвідом та знаннями.

Надійшла 02.11.2017 р.

УДК 624.04:624.07:519.688

ПОЛУОПРЕДЕЛЕННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Предлагается алгоритм поиска оптимальной конфигурации стержневой системы, решающий двойственную проблему минимизации массы конструкции и максимизации ее прочностных параметров. Метод позволяет решать оптимизационную задачу при нагрузках, заданных с помощью вероятностных распределений.

The paper considers an algorithm for finding of the optimal configuration of a truss-like elastic system. The algorithm solves an ambivalent problem of structure mass minimizing and maximizing its strength parameters. The method allows to solve the optimization problem under loads specified by probabilistic distributions.

Ключевые слова: стержневая система, полуопределенная оптимизация, топология, граф, устойчивость, бутстрэп.



Е.А. Егоров
профессор Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, д.т.н.



А.Е. Кучеренко
соискатель Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры

В современном мире вопросы оптимального проектирования различного рода конструкций, в том числе относящихся к сфере прерогатив строительной механики, являются чуть ли не самыми актуальными. В данной статье авторы рассматривают вопросы, связанные с поиском оптимальных конструктивных решений стержневых систем, включая их топологию. В пределах этого класса конструкций рассматриваются системы любой сложности и конфигурации, плоские и пространственные. Естественно, что сюда можно отнести и задачи стержневой аппроксимации континуальных систем. Из сказанного можно заключить, что область использования предлагаемых ниже алгоритмов весьма широка, и поэтому подобные разработки имеют очевидную актуальность.

Во многочисленных трудах, посвященных оптимальному проектированию строительных конструкций, как правило, либо исследуется сугубо математическая сторона оптимизационной задачи без учета прикладных вопросов, либо приводятся решения какой-либо частной инженерной проблемы.

Из первой группы можно выделить работы Баничука Н.В., Бен-Таля А., Валуйских В.П., имеющие больше математический уклон, но направленные на решение оптимизационной проблемы в задачах технической инженерии. Так, в [1] автор всесторонне рассматривает задачу оптимального проектирования в общей функциональной форме и приводит как аналитические, так и численные методы их решения. В [2] обосновывается и анализируется проблема оптимизации стержневых систем, представленная в виде задачи полуопределенного программирования. В [3] рассматривается задача оптимизации с позиций статистического эксперимента и приводится ряд эвристических алгоритмов, направленных на ее решение.

Из второй группы ближе всего по постановке работы Пермякова В.А., Гринева В.Б., Серпика И.Н., Бараненко В.А., Пичугина С.Ф. и др. В [4, 5] приводятся решения, обусловленные частными инженерно-техническими требованиями, в частности, рассматривается оптимизация предварительно напряженных металлических конструкций. В [6] рассматривается оптимизация элементов конструкций по спектру собственных значений, а в [7] задача оптимизации решается с помощью генетических алгоритмов. В [9] представлен гибридный метод оптимизации стержневых конструкций на базе генетического и градиентного алгоритмов; последний используется для уточнения оптимального решения.

Отдельно стоит упомянуть работы [10–12], в которых авторы используют методы динамического программирования для приведения

© Егоров Е.А., Кучеренко А.Е.

оптимизационной задачи с множеством переменных к рекурсивной последовательности более простых задач. В [13] этот же алгоритм используется в условиях наличия нечеткой информации об оптимизируемой системе. В [14] авторы применяют вероятностные методы для подбора прочностных характеристик стальных балок в стохастической среде.

Перечисленные работы имеют характерные для оптимизации реальных конструкций недостатки, а именно: строгая математическая оптимизация плохо подходит для решения реальных технических задач, а частное инженерное решение обычно не обеспечивает оптимального в глобальном смысле разрешения проблемы. Это объясняется тем, что подавляющее большинство инженерно-оптимизационных задач не являются выпуклыми, и в таких случаях поиск нелокального оптимального решения весьма проблематичен. Поэтому авторы перечисленных работ, как правило, либо упрощают постановку проблемы, либо довольствуются некоторой неопределенностью при решении задач в строгой постановке. Применение генетических алгоритмов хотя и позволяет получать оптимальные в глобальном смысле решения, но из-за вычислительной сложности работа с системами, включающими большое количество конечных элементов, затруднена. В данной статье предлагается алгоритм, позволяющий избежать указанных недостатков.

Нелинейная оптимизация топологии стержневой системы. Ядром предлагаемого алгоритма является хорошо известная проблема оптимизации топологии стержневой системы, представленная в форме полуопределенной задачи математического программирования [2]:

$$\begin{aligned} &\text{minimize}_{W,v} W \\ &s.t. \sum_{i=1}^{m} v_i = 1 \\ &v_i \geq 0,\ i = 1 \ldots m \\ &\begin{pmatrix} W & F^T \\ F & \sum_{i=1}^{m} \frac{E_i v_i}{L_i^2} p_i p_i^T \end{pmatrix} \geq 0, \end{aligned} \qquad (1)$$

где W – верхняя оценка величины энергии упругой деформации стержневой системы; v_i – объем i-го стержня; F – внешние силы, приложенные к узлам конструкции; E_i – модуль Юнга; L_i – длина i-го стержня; p_i – i-й столбец матрицы уравнений системы P, которая входит в уравнение баланса сил $Pf = -F$.

Оптимизационная задача сводится к поиску минимальной величины W при заданных ограничениях. Результатом решения задачи (1) будет соотношение объемов стержней $v_1 : v_2 : \ldots : v_m$. Конечные значения v_i определяются из условий, которые обеспечивают выполнение технических требований к исследуемой системе. Среди них – проверка конструкции на прочность и устойчивость.

Проверка выполнения условия прочности, как правило, не вызывает проблем. Она осуществляется по формуле [8]

$$\frac{N\gamma_n}{A\gamma_c R} \leq 1, \qquad (2)$$

где N – сила, действующая на стержень; γ_c – коэффициент условий работы; γ_n – коэффициент надежности по назначению; R – расчетное сопротивление материала; A – площадь сечения стержня.

Ключевым моментом в реализации алгоритма является построение системы, которая бы вписывалась в поле заданных генеральных размеров с определенными точками приложения внешних сил и расположения опор. В качестве такой исходной системы в общем случае понимается полный граф (см. рис. 1), который включает в себя все возможные соединения узлов. В дальнейшем на основании решения (1) и условия (2) «лишние» элементы отбрасываются; в итоге остаются стержни, обеспечивающие выполнение оптимизационных критериев. Решение (1) позволяет определять площади сечений стержней, что дает возможность для большинства общепринятых видов сечений легко находить основные их параметры.

Для растянутых стержней этого вполне достаточно, поскольку единственным прочностным ограничением является условие (2). Для сжатых стержней все оказывается значительно сложнее. Так, проверка условия устойчивости связана с необходимостью построения касательной матрицы жесткости. Эта матрица подвергается LDL^*-декомпозиции:

$$K = LDL^*, \qquad (3)$$

где L – нижняя треугольная матрица; D – диагональная матрица; L^* – сопряженно-транспонированная матрица L.

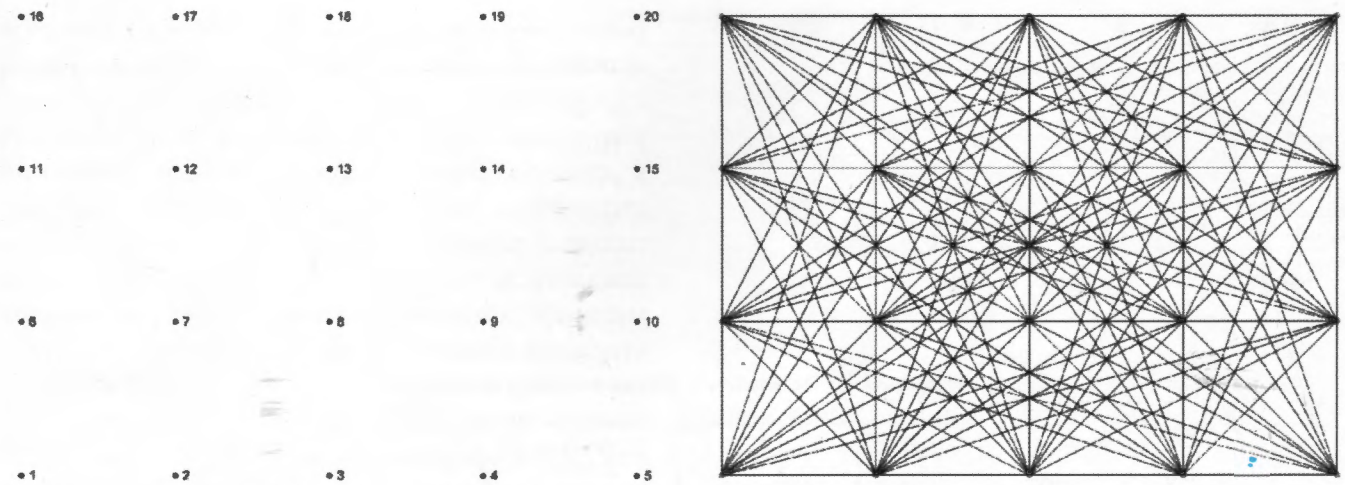


Рис. 1. Узлы и полный граф стержневой системы

Предполагается, что система будет находиться в устойчивом состоянии, если все диагональные элементы матрицы D положительны. Построение матрицы жесткости стержневой системы непосредственно связано с плоскими моментами инерции сечений стержней, вычисление которых сопряжено с определенными трудностями ввиду того, что не существует однозначного функционального отображения площади сечения стержня в его плоский момент инерции. Поэтому к предложенному алгоритму поиска оптимальной топологии авторами разработан вспомогательный блок оптимального подбора сечений конструкционных элементов.

Блок подбора оптимальных сечений построен по принципу определения функциональных зависимостей с использованием опорных (базовых) значений. Для металлических конструкций в качестве таких значений принимаются сортаментные данные (значения моментов инерции, соответствующие различным значениям площади сечения для того или иного прокатного профиля). Такие данные могут быть заранее заданы. По опорным точкам, используя кусочно-линейную интерполяцию, строится функция, определяющая геометрические характеристики (или другую требуемую величину) сечения стержня из какого-либо прокатного профиля. Решение оптимизационной задачи и подбор сечений, удовлетворяющих всем необходимым требованиям, будет приводить к таким геометрическим характеристикам, которыми не обладает ни один профиль в сортаменте. Но по этим значениям характеристик не составит труда определить параметры и номера профилей, обеспечивающие достижение поставленной цели

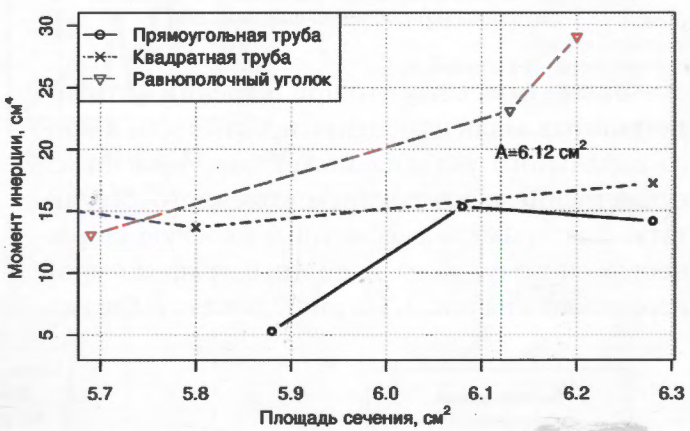


Рис. 2. Зависимость момента инерции плоского сечения от его площади

оптимизации. Для примера рассмотрим три сечения различной конфигурации с близкими значениями моментов инерции и площадями: прямоугольная труба, квадратная труба и равнополочный уголок.

Допустим, решение оптимизационной задачи (1) привело к значению площади сечения стержня в 6,12 см^2. В область этого значения попадают фрагменты кусочно-линейных функций, показанных на рис. 2, соответственно для прямоугольной трубы, квадратной трубы и равнополочного уголка. Очевидно, что в данной ситуации оптимальным сечением является равнополочный уголок, причем наиболее близкий сортаментный профиль имеет площадь 6,13 см^2 и момент инерции 23,10 см^4. Такой подход позволяет аппроксимировать моменты инерции сечений и строить касательную матрицу жесткости, которая в дальнейшем и используется для проверки общей устойчивости системы.

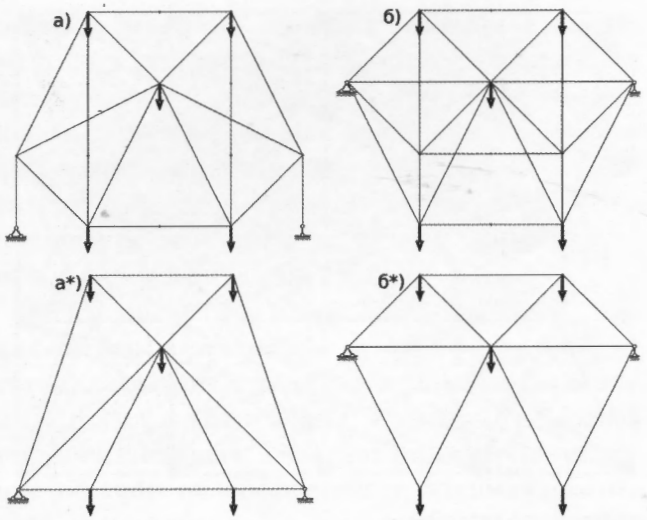


Рис. 3. Конструктивные схемы с различными расположениями опор. Вертикальными стрелками показаны направления внешних сил

Важно отметить, что при решении оптимизационных задач изменение практически любого начального условия может сопровождаться существенным изменением конечного результата. Для примера рассмотрим плоскую стержневую систему, узлы и полный граф которой изображены на рис. 1. На рис. 3 показаны два варианта конструктивной схемы (а и б), которые можно получить из исходного полного графа при решении задачи оптимизации (1): изменение только мест расположения опор приводит к существенной перестройке всей топологии стержневой системы при одних и тех же генеральных размерах и внешних нагрузках. Может показаться, что в полученных в процессе оптимизации схемах задействован целый ряд лишних стержней. Однако, переход, например, от схемы «а» к схеме «а*» приводит к увеличению материалоемкости на 23,6 %, а от схемы «б» к схеме «б*» – на 27,7 % излишних затрат материала. Все это получено для системы, стержни которой выполняются из круглых металлических труб.

В реальных условиях эксплуатации стержневых систем далеко не всегда удается представить внешние нагрузки в виде точных значений. Силы могут быть представлены как переменные величины, описываемые определенными статистическими распределениям. Задача (1) напрямую не может оперировать величинами, представленными в виде вероятностных распределений. Для решения этой проблемы авторами предложено использовать процедуру сэмплирования,

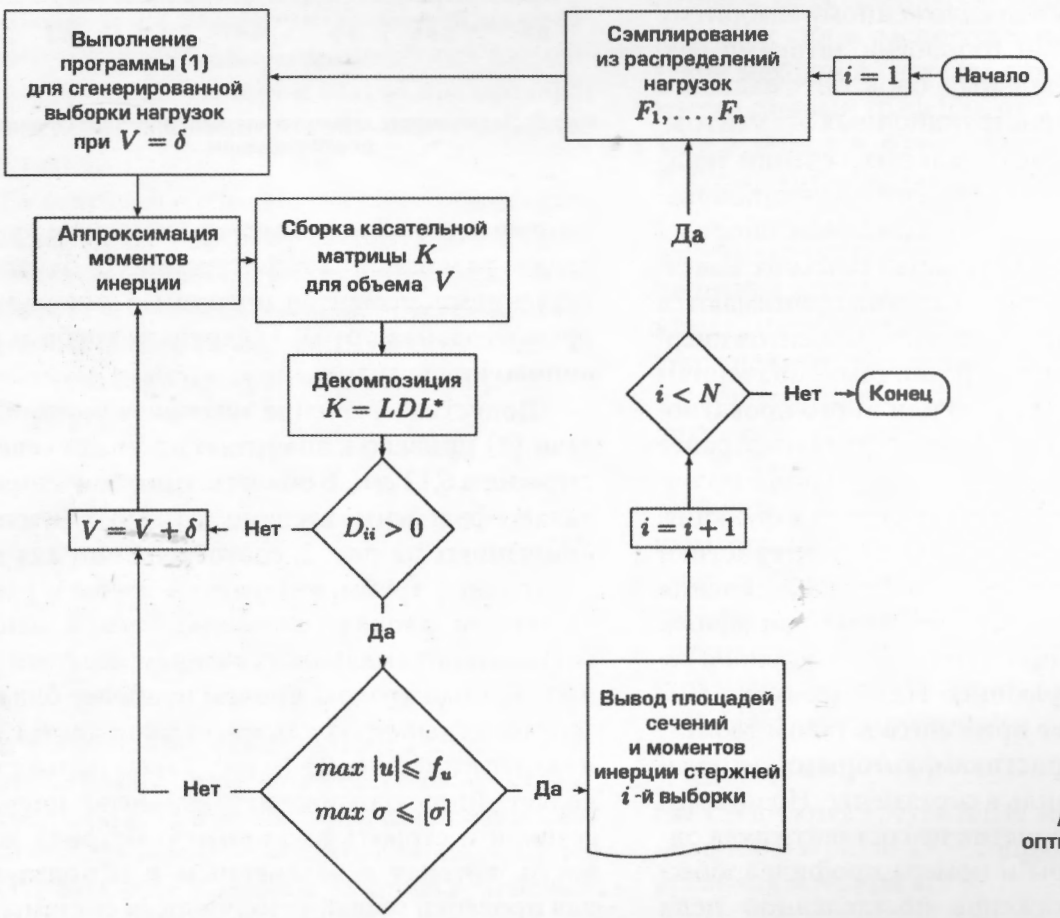


Рис. 4. Алгоритм решения оптимизационной задачи

Результаты решения задачи

№ выборки	Площади сечений	Моменты инерции
1	$A_{11}, A_{12}, \ldots, A_{1m}$	$(I_{1z}, I_{1y})_1, (I_{2z}, I_{2y})_1, \ldots, (I_{mz}, I_{my})_1$
2	$A_{21}, A_{22}, \ldots, A_{2m}$	$(I_{1z}, I_{1y})_2, (I_{2z}, I_{2y})_2, \ldots, (I_{mz}, I_{my})_2$
...	...	...
N	$A_{N1}, A_{N2}, \ldots, A_{Nm}$	$(I_{1z}, I_{1y})_N, (I_{2z}, I_{2y})_N, \ldots, (I_{mz}, I_{my})_N$

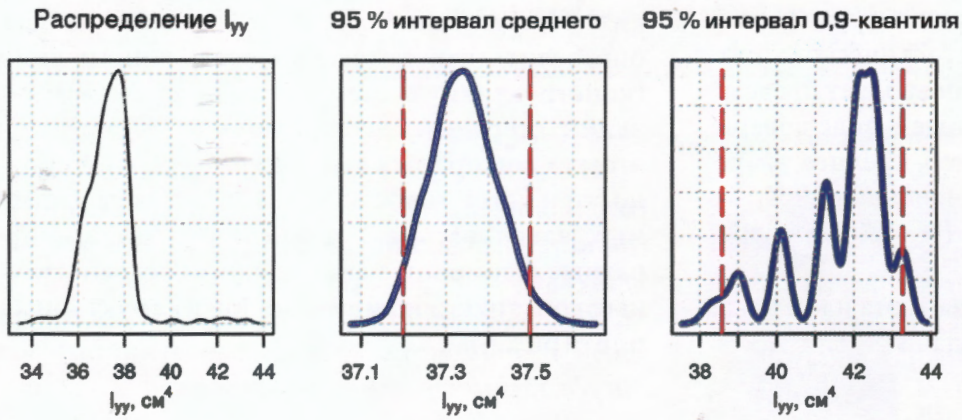


Рис. 5. Распределение момента инерции стержня и доверительные интервалы

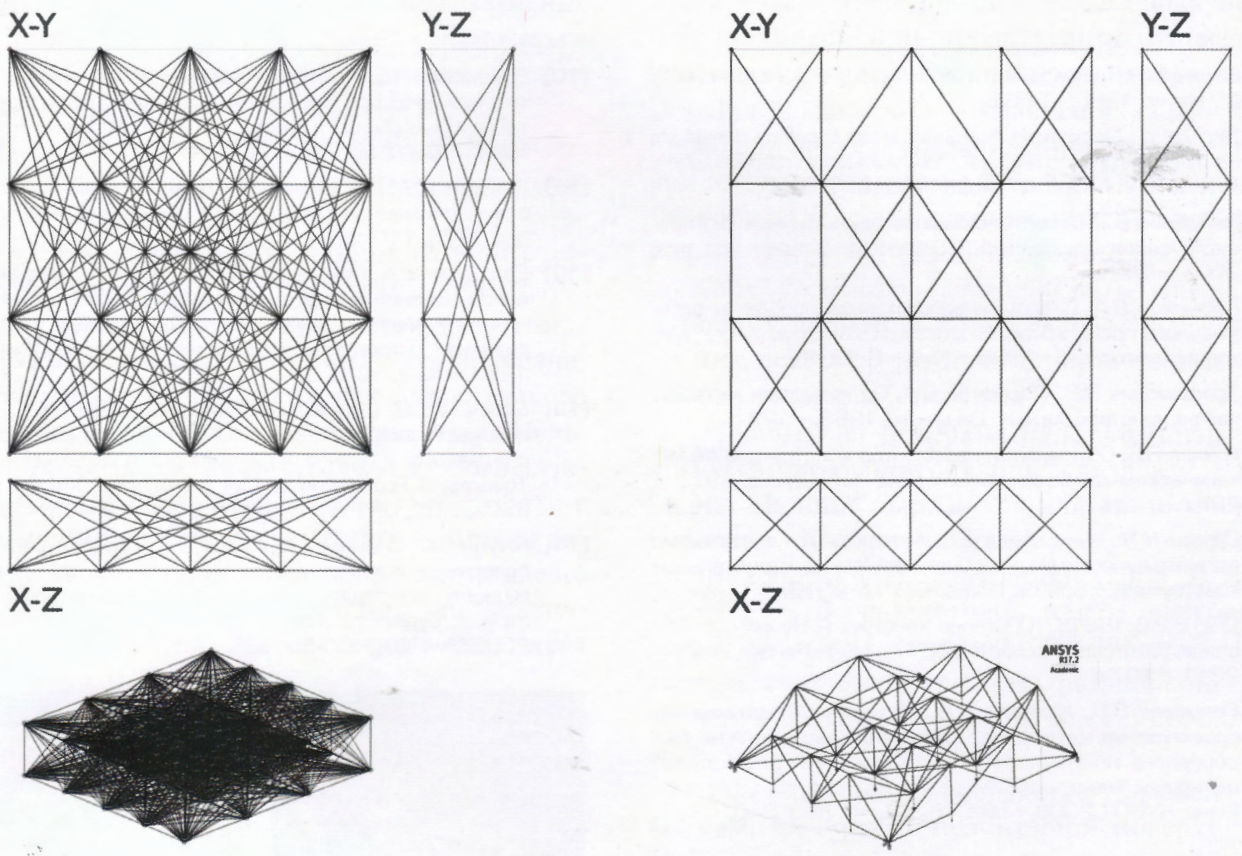


Рис. 6. Структурная плита с ячейками 2 × 3 м.
Слева показан полный граф системы и его проекции, справа – редуцированный граф

которая позволяет генерировать из распределений ряд выборок. Тогда задача (1) решается для каждой выборки. Общий алгоритм решения приведен на рис. 4. Результатом выполнения представленного алгоритма будет множество наборов площадей сечений и моментов инерции стержней по каждой выборке (см. таблицу). Такое развернутое решение малоприменимо на практике. А так как формы распределений неизвестны, для нахождения доверительного интервала каждого параметра стержня предлагается использовать процедуру статистического бутстрэпа, применение которой позволяет представить приведенные выше данные в виде доверительного интервала. Например, среднее значение момента инерции относительно оси Z i-го стержня будет иметь форму $(1 - \alpha)$ % доверительного интервала.

На рис. 5 проиллюстрирована эта идея: после сэмплирования и решения задачи (1) для стержня системы получено распределение одного из моментов инерции стержня; бутстрэп позволяет оценить статистику данного распределения, например, среднее или 0.9-квантиль.

Выводы.

В статье рассмотрен алгоритм, позволяющий решать задачу поиска эффективной топологии любых стержневых систем, в том числе при нагрузках, заданных в виде статистических распределений (эмпирических или теоретических). Предложенное решение дает возможность определить как саму топологию конструкции (конструктивную схему), так и параметры сечений стержней, входящих в ее состав; при этом гарантируется выполнение условий прочности и устойчивости. В целом же, круг решаемых задач весьма обширен: это и разнообразные ферменные системы, и пространственные конструкции типа куполов и структурных плит (рис. 6).

[1] *Баничук Н.В.* Введение в оптимизацию конструкций. – М.: Наука, 1986. – 303 с.

[2] *Ben-Tal A., Nemirovski A.* Robust truss topology design via semidefinite programming // SIAM Journal on optimization. – 1997. – Vol. 7, no. 4. – P. 991–1016.

[3] *Валуйских В.П.* Статистические методы оптимального проектирования конструкций. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2001. – 156 с.

[4] *Пермяков В.А.* Современное состояние проблемы оптимального проектирования стальных конструкций // Металеві конструкції. – 1998. – №1. – С. 17–20.

[5] *Трофимович В.В., Пермяков В.А.* Оптимизация металлических конструкций. – К.: Вища шк., 1983. – 199 с.

[6] *Гринев В.Б.* Оптимизация элементов конструкции по механическим характеристикам. – К.: Наук. думка, 1975. – 294 с.

[7] *Серпик И.Н., Алексейцев А.В., Лелетко А.А.* Генетические алгоритмы оптимизации металлических строительных конструкций. – Брянск: Изд-во БГИТА, 2010.

[8] ДБН В.2.6-163:2010. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.

[9] *Пермяков В.О., Юрченко В.В., Пелешко І.Д.* Оптимальне проектування металевих стержневих конструкцій на базі гібридного генетичного алгоритму // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2008. – Вип. 16. Ч.2. – С. 303–310.

[10] *Баранченко В.О.* Багатокритеріальні задачі синтезу ШСС та динамічне програмування // Вісник ПДАБіА: Науковий та інформаційний бюлетень. Дніпропетровськ. – 2000. № 10. – С. 4–12.

[11] *Почтман Ю.М., Баранченко В.А.* Динамическое программирование в задачах строительной механики. – М.: Стройиздат, 1975. 110 с.

[12] *Баранченко В.А., Почтман Ю.М., Филатов Г.В.* О совместном использовании методов динамического программирования и случайного поиска в задачах оптимального проектирования // Строительная механика и расчет сооружений. – 1973. – № 2. – С. 3–6.

[13] *Баранченко В.* Оптимальне проектування ферм в умовах нечіткості завдання навантаження на основі моделей очікуваного значення і динамічного програмування // Theoretical Foundation of Civil Engineering. XIV Ed. by W. Szezses'niak, OP PW. – Warsaw, 2006. – P. 495–498.

[14] *Пічугін С.Ф., Махінько А.В.* Імовірнісна процедура підбору поперечного перерізу сталевих прогонів за критерієм міцності і жорсткості // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2003. Вип. 10. – С. 155–163.

Надійшла 10.05.2017 р.

УДК 614.841.332

ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ВОГНЕЗАХИСТУ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Досліджено вплив помилок у вимірюванні температур на необігрівній поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям на похибку визначення теплофізичних характеристик (коефіцієнт теплопровідності і питома об'ємна теплоємність). Встановлено, що випадкові похибки у вимірюванні температур 10 % і 20 % на необігрівній поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям значно впливають на точність визначення теплофізичних характеристик покриття для захисту сталевих конструкцій і їх обов'язково необхідно враховувати при проектуванні будівель та споруд.

The influence of errors in measuring temperature on the unheated surface of a steel plate with fire-protective covering on the inaccuracy of determining heat and physical characteristics (coefficient of thermal conductivity and specific heat capacity per unit volume)was researched. It was determined that accidental inaccuracy in temperature measuring 10 % and 20 % on the unheated surface of a steel plate with fire-protective covering influence greatly accuracy of determining of heat and physical characteristic of the covering for protection of steel structures and they must be taken into consideration during designing buildings and structures.

Ключові слова: теплофізичні характеристики, похибка, коефіцієнт теплопровідності, вогнезахисне покриття, обернена задача теплопровідності.



А.І. Ковальов
старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії інновацій у сфері цивільної безпеки Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, к.т.н.

Точність будь-якого розрахунку значною мірою залежить від точності задання параметрів моделі, що забезпечують її відповідність реальним процесам теплообміну при випробуваннях на вогнестійкість. Серед параметрів моделі необхідно ідентифікувати ті, які є невідомими або недостатньо відомими і мають найбільший вплив на розрахункові значення температур обраної моделі. До таких параметрів для вогнезахисних покриттів сталевих конструкцій відносяться коефіцієнт теплопровідності та питома об'ємна теплоємність покриття, що досліджується.

Наразі питання щодо визначення параметрів вогнезахисних покриттів сталевих конструкцій є актуальним і достатньо вивченим. Проте поза увагою дослідників залишився вплив випадкових помилок при вимірюванні температури на необігрівній поверхні сталевих пластин із вогнезахисними покриттями на похибку визначення саме коефіцієнта теплопровідності такого покриття як основного параметра, що найбільше впливає на точність розрахунку вогнестійкості конструкцій. Тому і метою даної роботи є дослідження впливу помилок при вимірюванні температур з необігрівної поверхні сталевої пластини на похибку визначення теплофізичних характеристик вогнезахисного покриття відомої італійської фірми з метою врахування цих відхилень при проектуванні будівель та споруд із урахуванням вимог пожежної безпеки.

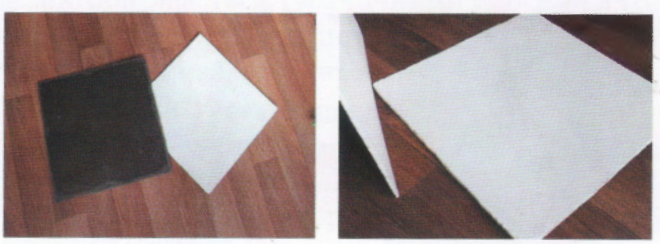


Рис. 1. Загальний вигляд сталевої пластини після нанесення вогнезахисної речовини

Для досягнення поставленої задачі були проведені вогневі випробування [1] двох сталевих пластин розмірами 500×500×5 мм із нанесеним вогнезахисним складом, що спучується, на водній основі. Після нанесення фарби білого кольору густиною 1200–1300 кг/м^3 на основі вінілових полімерів у водній дисперсії і спеціальних реагентів на пластині утворилася біла матова поверхня (рис. 1).

Необігрівна поверхня була захищена теплоізоляційною плитою, що складалася з двох шарів. Нижній шар, що прилягав до сталевої пластини, був виготовлений із керамічної вати згідно з п. 9.1.2 [2] завтовшки (20 ± 5) мм, а верхній – із базальтової плити завтовшки (100 ± 10) мм та густиною (100 ± 20) кг/м^3. Пластину встановлювали на отвір опорної конструкції через теплоізоляційну вставку з керамічної вати завтовшки (10 ± 2) мм.

Для вимірювання середньої та максимальної температури на необігрівній поверхні сталевої пластини були встановлені три термопари типу ТХА з діаметром дроту 0,5 мм (Т1–Т3), одна термопара (Т2) в центрі зразка та дві (Т1, Т3) на відстані 100 мм від країв пластини (рис. 2).

© Ковальов А.І.

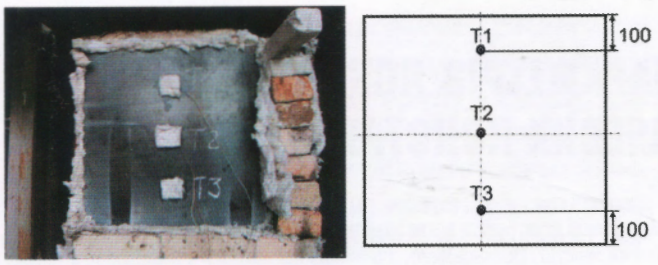


Рис. 2. Схема розміщення термопар на необігрівній поверхні сталевої пластини

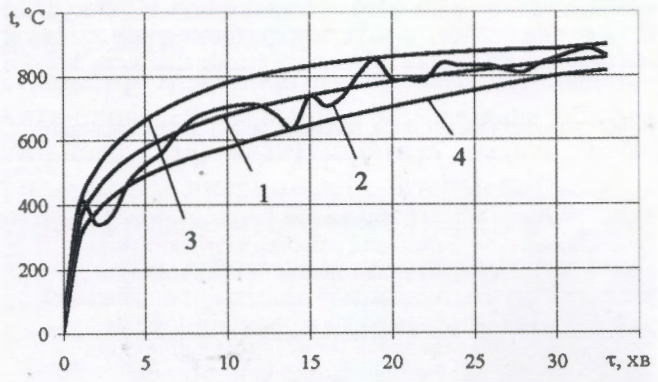


Рис. 3. Залежність температури в печі від часу вогневого впливу на обігрівну поверхню сталевої пластини з вогнезахисним покриттям:

1 – стандартний температурний режим; **2** – реальна крива зміни температури в печі; **3, 4** – допустимі при випробуваннях максимальні та мінімальні значення температури в печі відповідно

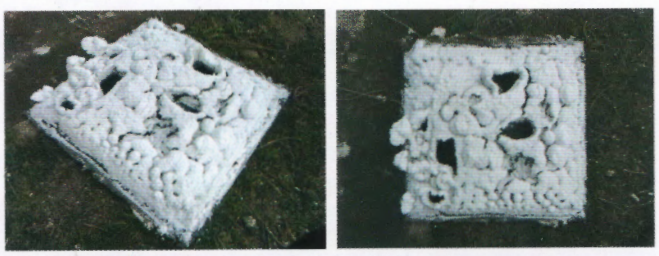


Рис. 4. Загальний вигляд зразка після випробувань

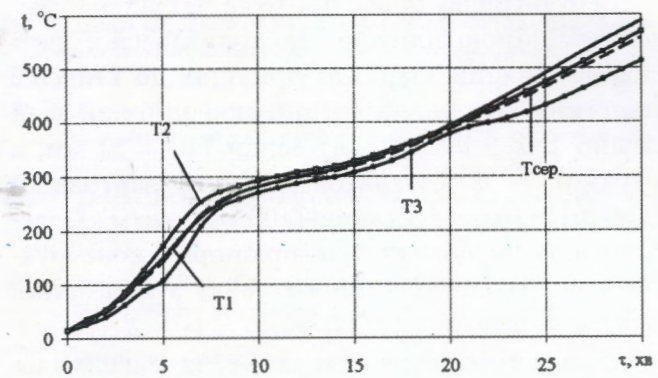


Рис. 5. Залежність температури від часу вогневого впливу на необігрівній поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям відомої італійської фірми:

T1 – термопара, встановлена на відстані 100 мм від верхнього краю пластини; **T2** – термопара, встановлена по центру пластини; **T3** – термопара, встановлена на відстані 100 мм від нижнього краю пластини; **Tсер.** – середнє значення показників термопар

Суть випробування полягала у створенні температурного режиму в печі (рис. 3), регламентованого [3], при тепловій дії на дослідний зразок і визначенні часу від початку теплового впливу до настання граничного стану, коли досягається температура 500 °С з необігрівної поверхні сталевої пластини.

Для вимірювання товщини утвореного вогнезахисного покриття використовували товщиномір, яким було здійснено вимірювання в 9 точках, середня товщина склала 1,12 мм.

Випробування проводилися протягом 33 хв за температури повітря 14 °С, відносній вологості 64 % і тиску 742 мм рт. ст., тобто в умовах, близьких до стандартного температурного режиму.

Після випробувань при візуальному огляді зразків встановлено наступне (рис. 4):

- вогнезахисна речовина, нанесена на сталеву пластину розмірами 500×500×5 мм із ґрунтовкою ГФ-021, має задовільну адгезійну міцність;
- утворене покриття має незначне відшарування;
- середня товщина спученого шару після випробувань склала 61,5 мм.

Як видно із рис. 5, час прогрівання сталевої пластини з вогнезахисним покриттям завтовшки 1,12 мм до критичної температури 500 °С складає приблизно 33 хв.

Одним з етапів визначення теплофізичних характеристик вогнезахисних покриттів сталевих конструкцій за допомогою розрахунково-експериментального методу є побудова найбільш адекватних фізичної та математичної моделей теплових процесів, що відбуваються в сталевих пластинах із вогнезахисним покриттям. Розглянемо ці моделі.

Фізична модель представляє собою систему, що складається з двох шарів: сталевої пластини завтовшки 5 мм і вогнезахисного покриття завтовшки 1,12 мм (рис. 6).

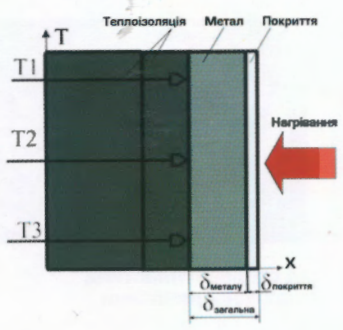


Рис. 6. Фізична модель сталевої пластини з вогнезахисним покриттям в одновимірній постановці

Загальна товщина системи складається із суми товщин окремих шарів. При випробуванні права поверхня пластини нагрівається конвективно-радіаційними механізмами теплообміну від гарячих газів у печі з температурою T_{C1}, що є близькою до кривої стандартної пожежі, і коефіцієнтом тепловіддачі α_{c2} = 25 Вт/м²·К. Ліва поверхня пластини охолоджується конвекцією в навколишнє середовище з температурою T_{C2} = 14 °С, коефіцієнт тепловіддачі з необігрівної поверхні α_{c2} приймався 7 Вт/(м²·К).

Всередині перекриття тепло передається тільки завдяки теплопровідності пластини. Приймається умова ідеального теплового контакту між окремими їх шарами. Коефіцієнт теплопровідності сталевої пластини приймався таким, що дорівнює 40 Вт/(м·К), а питома об'ємна теплоємність $4 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К). Кількість вузлів чисельної моделі – 15, по просторовій координаті з кроком за часом 30 с.

Оскільки покриття, що досліджувалося, є таким, що спучується (з можливістю збільшення початкової товщини покриття до 100 разів), і закон збільшення початкової товщини покриття під час нагрівання невідомий, то виникає питання до якої товщини відносити отримані коефіцієнти ефективної теплопровідності і питомої об'ємної теплоємності покриття.

У даній роботі прийнято, що отримані коефіцієнти ефективної теплопровідності і питомої об'ємної теплоємності покриття відносяться до його початкової товщини. Тому розрахункові моделі процесу теплопровідності теж бралися з товщинами покриттів, незмінними у часі.

Математична модель процесу теплопровідності в такій двошаровій системі в декартовій системі координат, що описує розглянуту вище фізичну модель і багаторазово згадується [4, 5], являє собою одновимірне рівняння теплопровідності з комбінацією променистого теплообміну і граничними умовами 3-го роду на поверхні, що обігрівається, і граничними умовами 3-го роду на необігрівній поверхні, що враховує температуру навколишнього середовища.

Оскільки густина покриття також сильно змінюється (зменшується) під час нагрівання, то оберненими задачами теплопровідності, крім коефіцієнта теплопровідності, визначається питома об'ємна теплоємність $\rho \cdot C$ (Дж/м³ · К) покриття ρ, яка є добутком густини покриття (кг/м³) на питому вагову теплоємність C (Дж/кг·К).

Вихідними даними для вирішення задач визначення вогнестійкості будівельних конструкцій, а саме сталевих, є експериментальні значення температур на таких конструкціях під час випробувань зразків у вогневих печах при стандартному температурному режимі пожежі.

На основі експериментальних даних (температури з необігрівної поверхні пластини), використовуючи фізичну і математичну моделі теплового стану зразка, розв'язанням обернених задач теплопровідності (ОЗТ) були отримані теплофізичні характеристики покриття, що досліджувалось: постійне значення питомої об'ємної теплоємності $Cv = 1 \cdot 10^5$ Дж/м³ · К, а теплопровідність як функція від температури (рис. 7).

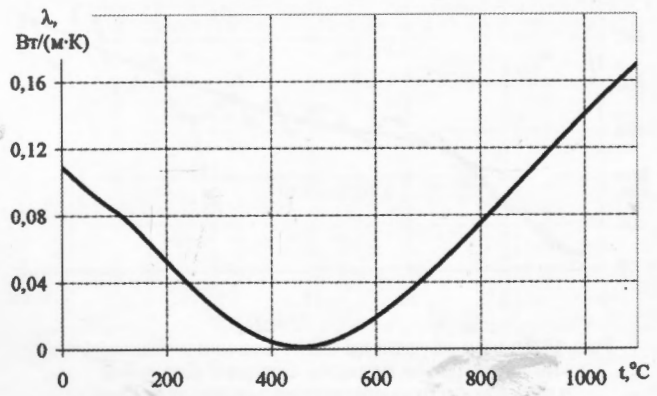


Рис. 7. Залежність ефективного коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного покриття відомої італійської фірми від температури

Як видно із рис. 7, крива коефіцієнта теплопровідності від початкової температури до 500 °С лінійно падає, що пояснюється спученням покриття в заданому температурному діапазоні, а потім лінійно зростає, що може пояснюватись вигоранням шару покриття під дією температури.

Далі було досліджено вплив похибок 10 %, 20 % у вимірюванні температури з необігрівної поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям на точність визначення теплофізичних характеристик покриття, що досліджується.

Вводилися випадкові похибки 10 % і 20 % у вимірюванні температур з необігрівної поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям з допомогою генератора випадкових чисел (рис. 8, 9).

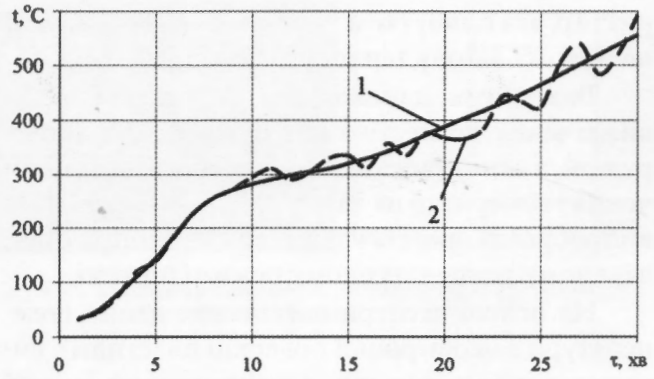


Рис. 8. Точні й збурені до 10 % значення температур на необігрівній поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям завтовшки 5 мм:

1 – точна крива зміни температури на необігрівній поверхні пластини; **2** – збурена на 10 % крива зміни температури на необігрівній поверхні пластини

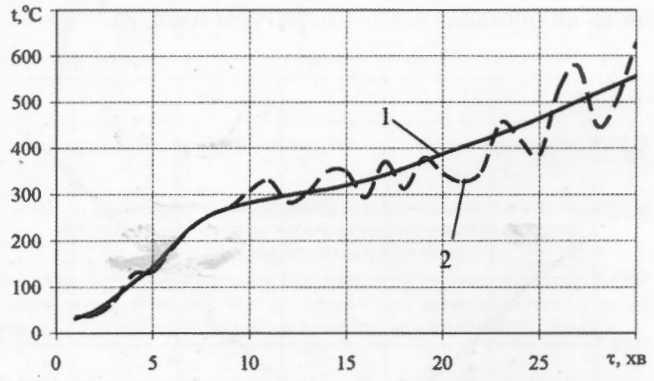


Рис. 9. Точні й збурені до 20 % значення температур на необігрівній поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям завтовшки 5 мм:

1 – точна крива зміни температури на необігрівній поверхні пластини; **2** – збурена на 20 % крива зміни температури на необігрівній поверхні пластини

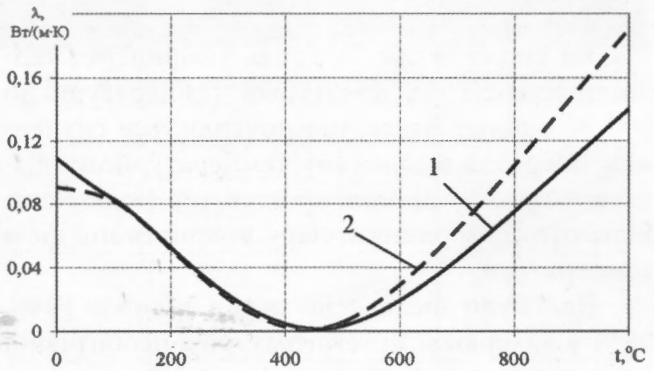


Рис. 10. Залежність ефективного коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного покриття від температури:

1 – точні коефіцієнти; **2** – коефіцієнти при збурених температурах на 10 %

Отримані збурені температури використовували при знаходженні теплофізичних характеристик вогнезахисного покриття, що досліджувалось, шляхом розв'язання обернених задач теплопровідності.

Критерій середньоквадратичного відхилення при пошуку коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного покриття відомої італійської фірми по збуреним на 10 % (рис. 10) температурам склав 18,6 °С, по збуреним на 20 % температурам – 37,03 °С (рис. 11, 12, 13).

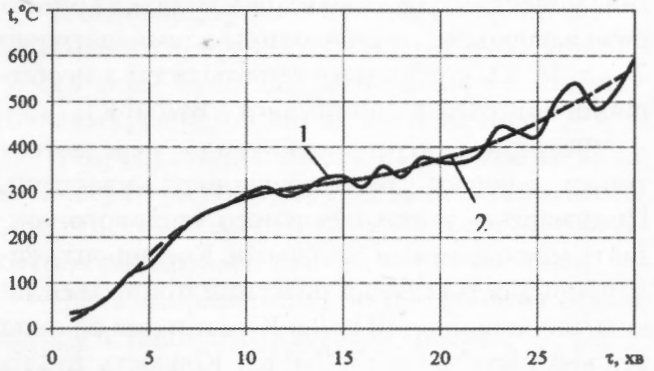


Рис. 11. Експериментальні й розрахункові значення температур на необігрівній поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям при їх збурюванні на 10 %:

1 – точна крива зміни температури на необігрівній поверхні; **2** – розрахункова крива зміни температури на необігрівній поверхні

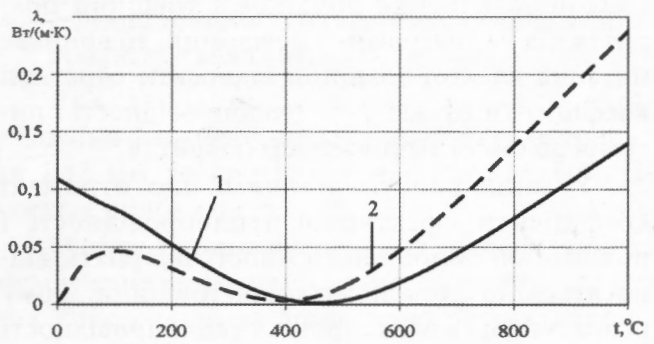


Рис. 12. Залежність ефективного коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного покриття від температури:

1 – точні коефіцієнти; **2** – коефіцієнти при збурених температурах на 20 %

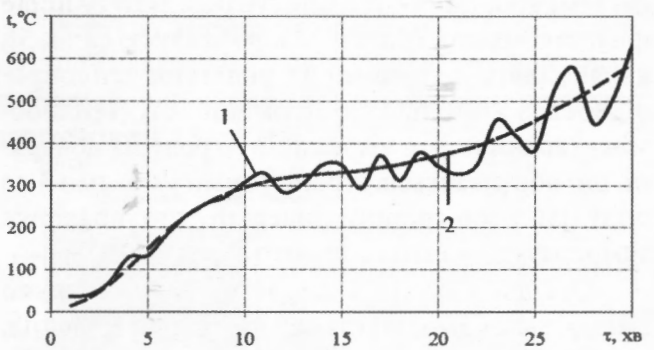


Рис. 13. Експериментальні й розрахункові значення температур на необігрівній поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям при їх збурюванні на 20 %:

1 – точна крива зміни температури на необігрівній поверхні; **2** – розрахункова крива зміни температури на необігрівній поверхні

Висновки. Проведені дослідження показали, що випадкові похибки у вимірюванні температур 10 % і 20 % на необігрівній поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям значно впливають на точність визначення теплофізичних характеристик покриття для захисту сталевих конструкцій, і їх обов'язково треба враховувати при проектуванні будівель та споруд. Неточність у вимірюванні температур з необігрівної поверхні сталевої пластини на 10 % призводить до похибки у визначенні теплофізичних характеристик покриття в 17 %, а на 20 % – до похибок в 34 %.

Подальші роботи мають бути направлені на дослідження впливу похибок у вимірюванні температур з необігрівної поверхні сталевої пластини з вогнезахисним покриттям за умов вогневого впливу та температурного режиму вуглеводневої пожежі або іншого режиму пожежі.

[1] Захист від пожежі. Вогнезахисне обробляння будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання : ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010. – [Чинний від 2011-11-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 9 с. – (Національний стандарт України).

[2] Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (EN 13381-4:2002, NEQ) : ДСТУ Б В 1.1-17:2007. – [Чинний від 2008-01-01] – К.: Укрархбудінформ, 2009. – XIV, 105 с. – (Національний стандарт України).

[3] Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги (ISO 834:1975) : ДСТУ Б В.1.1-4-98. – [Чинний від 1998-10-28]. – К.: Укрархбудинформ, 1999. – 21 с. – (Державний стандарт України).

[4] *Ковалев А.И.* Усовершенствование метода оценки огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий: дисс. ... кандидата техн. наук : 21.06.02 / Ковалев Андрей Иванович. – К., 2012. – 163 с.

[5] Експериментальне дослідження вогнезахисної здатності покриття «Amotherm Steel Wb» при температурному режимові вуглеводневої пожежі / *А.І. Ковальов, Є.В. Качкар, Н.В. Зобенко [та ін.]* // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2014. – № 17. – С. 53–60.

Надійшла 27.03.2017 р.

ОФІЦІЙНА ІНФОРМАЦІЯ

У ТЕХНІЧНОМУ КОМІТЕТІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТК 301 «МЕТАЛОБУДІВНИЦТВО»

28 листопада ц.р. відбулося засідання ТК 301 «Металобудівництво». На засіданні було розглянуто та прийнято позитивне рішення щодо наступних проектів національних стандартів, підготовлених на замовлення асоціації «Український центр сталевого будівництва» і включених до Програми робіт із національної стандартизації на 2017 рік:

- ✓ Зміни 2 до розділів Єврокоду 3:
  - ДСТУ-Н EN 1993-1-1:2010 «Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд»;
  - ДСТУ-Н EN 1993-1-5:2012 «Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи»;
- ✓ розділи Єврокоду 1:
  - ДСТУ-Н EN 1991-1-3:2010 «Дії на конструкції. Частина 1-3. Загальні дії. Снігові навантаження»;
  - ДСТУ-Н EN 1991-1-7:2010 «Дії на конструкції. Частина 1-7. Загальні дії. Особливі динамічні впливи»;
- ✓ проект національного стандарту «Панелі теплоізоляційні самонесучі з двостороннім металевим облицюванням. Вироби заводського виготовлення. Технічні умови» на заміну ДСТУ Б EN 14509:2014.

Надання чинності зазначеним національним стандартам дозволить вітчизняним проектувальникам і виробникам використовувати сучасну нормативну базу Європейського Союзу.

УДК 624.074.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПОДКРЕПЛЕННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СЕТЧАТОЙ ОБОЛОЧКИ

Выполнено объединение опорных граней металлической цилиндрической сетчатой оболочки за счет центрально ориентированных диагональных стержней. Установлено позитивное влияние элементов подкрепления на характеристики пространственной жесткости и основные параметры работы конструкции.

The unification of supported verges of the metallic cylindrical latticed shell was executed due to central the oriented diagonal rods. Positive influence of elements of reinforcement on characteristics of spatial inflexibility and basic parameters of construction work is set.

Ключевые слова: металлическая цилиндрическая сетчатая оболочка, покрытие, диагональный элемент, моделирование, расчет.



А.И. Сиянов
доцент департамента архитектуры и строительства Российского университета дружбы народов, к.т.н., доцент

Традиционно металлические цилиндрические сетчатые оболочки находятся в поле зрения потенциальных заказчиков, широко используются в строительстве и считаются востребованными и перспективными криволинейными покрытиями зданий и сооружений. Форма таких конструкций имеет притягательный внешний вид и великолепно вписывается в архитектуру городской застройки. Особенной утонченностью зрительного восприятия отличаются системы с одной круговой формообразующей поверхностью. Их визуальные преимущества дополняются реальной возможностью создавать практически любые схемы расположения стержней [1–9], образуя многоэлементную структуру, способную успешно перекрыть значительные пролеты.

Впрочем, современные требования к красоте должны подкрепляться необходимостью учета принципа равномерности распределения материала, прямо влияющего на экономичность принятого конструктивного решения. Так появляется возможность избежать концентраторов напряжений и малонагруженных стержней, нейтрализовать опасные участки и создать предпосылки для надежной работы покрытия на протяжении заданного срока эксплуатации.

Из практики давно известно, что в цилиндрическую поверхность можно вписать сетчатую оболочку из взаимно перпендикулярных и диагональных элементов [2–4]. Образующим компонентом в таком случае являются квадратные или прямоугольные ячейки, разбитые на два одинаковых треугольника. Из предыдущих исследований следует, что система с учетом наложенных на нее ограничений по предельным состояниям и характеристикам жесткости требует корректировки расчетной схемы и проверки ее общего состояния от действия приложенных эксплуатационных нагрузок [10]. Речь идет о невозможности выполнять свои функции за пределами полученных ранее расчетных параметров. Стремление увеличить габаритные размеры в плане требует изменения геометрии оболочки или введения элементов подкрепления, повышающих пространственную жесткость и устойчивость конструкции.

Прежние предложения по усовершенствованию покрытия путем разработки и применения конструктивных мероприятий проверены на конкретных компьютерных моделях [11–20]. Результаты расчета показали повышение несущей способности и поэтому оказались достаточно полезными для использования на практике. Каждая предложенная схема предполагала введение подкрепляющих элементов за пределами сетчатой поверхности. Тем не менее повышенная таким образом несущая способность оболочек требовала дополнительных затрат, которые по итогам выполненных расчетов редко перекрывали эффект разгрузки пространственной конструкции. И хотя они преимущественно компенсировались удешевлением системы за счет обеспечения равномерного распределения усилий в элементах, однако, учитывая выполнение значительного объема работ по изготовлению и сборке, их введение влекло за собой трудоемкую доработку технического решения. Чаще всего требовались другие, более действенные способы улучшения эксплуатационных качеств оболочки.

Проведенный анализ геометрической формы [21] и выполненные исследования общего состояния системы позволили выявить скрытые резервы несущей способности. В качестве альтернативы ранее укрепленным покрытиям выполнено объединение опорных граней за счет установки центрально ориентированных наклонных стержней.

Схема сетки представлена однотипными прямоугольными ячейками, каждая из которых вытянута по направлению образующей и разделена расположенным посредине диагональным элементом. Найдено рациональное соотношение основных параметров, позволившее создать экономически выгодную оболочку с высокими эксплуатационными характеристиками. Проведенные исследования показали, что длина конструкции непосредственно связана с шириной и найдена в заранее определенных габаритных пределах $L = (1{,}2...1{,}4)B$. Ширина B представляет собой не менее зависимую величину, которая в 3…5 раз превышает стрелу подъема f [20].

В соответствии с тенденциями формообразования и указанными соотношениями геометрических параметров приняты наиболее рациональные габаритные размеры покрытия в плане, отвечающие указанным пределам. Они имеют небольшую разницу между собой, о чем свидетельствует полученное выражение $L = 1{,}24B$. Характеристики, отвечающие за жесткость, заданы в рамках составленных ранее проектных рекомендаций. Климатические нагрузки определены исходя из условий городской застройки с учетом положений действующих нормативных документов [22]. Крепление оболочки выполнено по контуру в каждом опорном узле, причем для обеспечения геометрической неизменяемости система снабжена дополнительными горизонтальными угловыми связями. Таким образом, создана основа для формообразования покрытия. Используя программный комплекс [23, 24] и широко известный метод вращения поверхностей, выполнено построение конечно-элементной модели (рис. 1).

Оценка принятого решения осуществлена по результатам определения показателей работы покрытия. Выбрано три варианта конструирования схемы и выполнен расчет сечений по усилиям, РСУ и РСН. Мозаики проверок по предельным состояниям показали некоторые резервы несущей способности. Они выявили

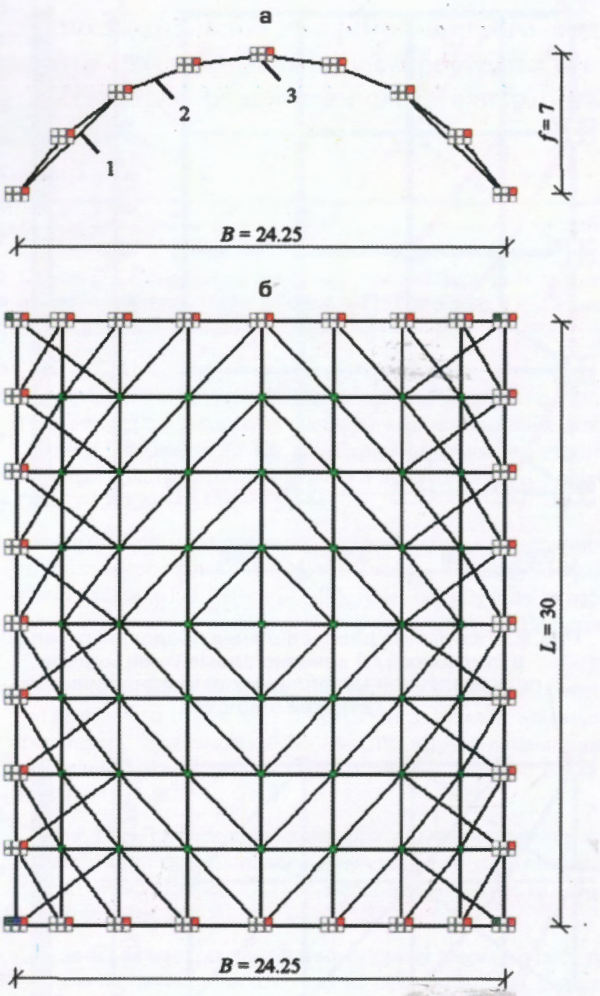


Рис. 1. Конечно-элементная модель подкрепленной металлической цилиндрической сетчатой оболочки:
а – вид с торца; **б** – вид сверху;
1 – центрально ориентированный диагональный стержень;
2 – элемент продольной грани;
3 – связь в контурном опорном узле

погрешность в предварительно заданных размерах поперечного сечения элементов. Вместе с тем полученные результаты подбора из расчета по предельным состояниям показали максимально возможное использование параметров жесткости. Система практически не изменила свою геометрию, что подтвердил соответствующий коэффициент запаса устойчивости. Кроме того определены внутренние силовые факторы и параметры деформирования конструкции. Характер поведения исследован на основании распределения усилий и линейных по траектории перемещений на всей сетчатой поверхности оболочки.

Проведенные расчеты позволили выявить наиболее опасные участки работы покрытия (рис. 2, 3). В результате установлено, что макси-

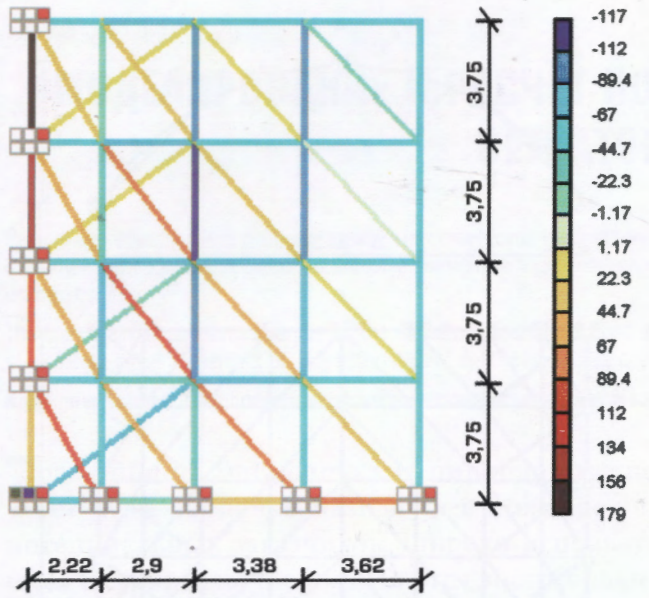


Рис. 2. Диаграмма распределения продольных сил (кН) в стержнях 1/4 конечно-элементной модели подкрепленной металлической цилиндрической сетчатой оболочки

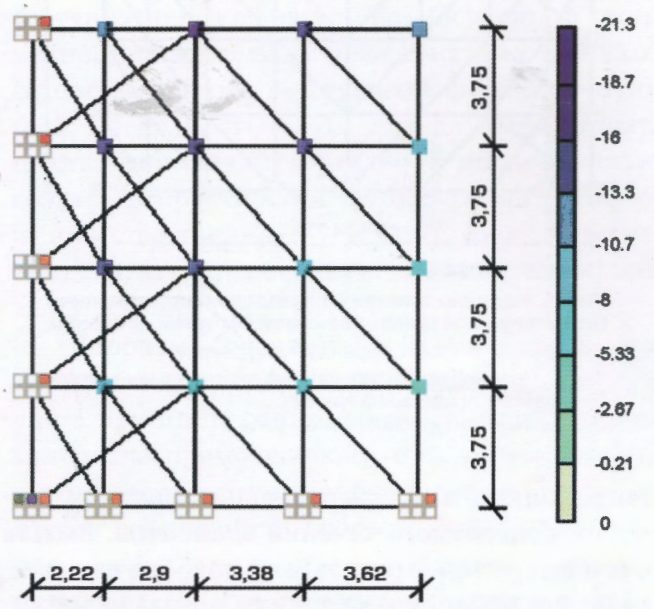


Рис. 3. Диаграмма распределения вертикальных перемещений узлов (мм) 1/4 конечно-элементной модели подкрепленной металлической цилиндрической сетчатой оболочки

мальные значения осевых сил оказались в растянутых продольных опорных элементах двух нижних граней конструкции. На торцах верхние смежные стержни воспринимали растяжение, нижние – находились под действием сжатия. Загруженность элементов средней зоны имела существенные отличия и зависела от ориентации стержней в пространстве. Введение дополнительных диагональных элементов общих тенденций не изменило, но снизило максимальные усилия в стержнях (табл. 1) и наиболее равномерно распределило их по поверхности.

Таблица 1

Максимальные усилия растяжения в продольных опорных элементах нижних граней оболочки

Тип системы	N_{max} в элементах склонов			
	левого		правого	
Начальная	207,6 кН	100 %	207,6 кН	100 %
Подкрепленная	178,74 кН	86,1 %	178,74 кН	86,1 %

Естественно такое добавление жесткости оказало позитивное влияние и на числовые значения параметров деформирования. Ряд наибольших горизонтальных перемещений узлов, выявленных в середине длины покрытия, наблюдался в контурных продольных элементах нижних граней. Максимум вертикальных перемещений узлов зафиксирован в гранях средней зоны. Их значения оказались меньшими по сравнению с аналогичными показателями начальной схемы (табл. 2) и определены в рамках действующих нормативных документов. К тому же все параметры деформирования равномерно распределились по поверхности.

Таблица 2

Максимальные вертикальные перемещения узлов средних граней оболочки

Тип системы	$W_{z,\,max}$ узлов склонов			
	левого		правого	
Начальная	–23,24 мм	100 %	–23,24 мм	100 %
Подкрепленная	–21,32 мм	91,7 %	–21,32 мм	91,7 %

Значительных отличий в закономерностях, полученных от объединения опорных граней дополнительными диагональными элементами, не выявлено. Под действием нагрузки произошло лишь некоторое изменение геометрии конструкции.

Выводы.

Обоснована необходимость введения элементов подкрепления в состав металлической цилиндрической сетчатой оболочки. Предложено конструктивное решение с минимальными затратами материальных и трудовых ресурсов, в связи с чем выполнено объединение опорных граней за счет центрально ориентированных диагональных стержней.

Проанализировано общее состояние системы и определены опасные участки с позиций наибольшей концентрации внутренних силовых факторов и параметров деформирования.

Выявлено позитивное влияние опорного подкрепления на характеристики пространственной жесткости и основные показатели работы конструкции.

[1] *Попов И.Г.* Цилиндрические стержневые системы / И.Г. Попов. – Л.; М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952. – 112 с.

[2] *Таиров В.Д.* Сетчатые пространственные конструкции / В.Д. Таиров. – К.: Будівельник, 1966. – 73 с.

[3] *Патцельт О.* Стальные решетчатые пространственные конструкции / О. Патцельт; пер. с нем. – М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1970. – 95 с.

[4] *Рюле Г.* Пространственные покрытия. Конструкции и методы возведения / Г. Рюле; пер. с нем. – Том 2. – М.: Стройиздат, 1974. 247 с.

[5] *Свердлов В.Д.* Исследование пространственных цилиндрических стержневых систем покрытий: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Свердлов Владимир Деонисович. – К., 1977. – 174 с.

[6] *Трущев А.Г.* Пространственные металлические конструкции: учеб. пос. для вузов. / Трущев А.Г. – М.: Стройиздат, 1983. – 215 с.

[7] *Файбишенко В.К.* Металлические конструкции / В.К. Файбишенко. – М.: Стройиздат, 1984. – 336 с.

[8] *Свердлов В.Д.* Металеві циліндричні стержневі покриття: монографія / В.Д. Свердлов, О.І. Сіянов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 134 с.

[9] *Сіянов О.І.* Металеві циліндричні стержневі покриття: конструювання та розрахунок: монографія / О.І. Сіянов. Вінниця: ВНТУ, 2012. – 140 с.

[10] *Сіянов О.І.* Критеріальний підхід до визначення оптимальних конструкцій сітчастих оболонок / О.І. Сіянов // Зб. наук. пр. «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця: ВНТУ, 2014. – С. 12–16.

[11] *Сіянов О.І.* Металеві одношарові циліндричні стержневі покриття: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Сіянов Олександр Ілліч. – Вінниця, 2002. – 200 с.

[12] *Сіянов О.І.* Металеві одношарові циліндричні стержневі покриття: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / О.І. Сіянов. – Київ, 2002. – 19 с.

[13] *Свердлов В.Д.* Результати оптимізаційних розрахунків звичайних і підкріплених одношарових циліндричних стержневих покриттів / В.Д. Свердлов, О.І. Сіянов // Зб. наук. пр. «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця: ВНТУ, 2004. – С. 93–96.

[14] *Сіянов О.І.* Розрахунок одношарових циліндричних стержневих покриттів / О.І. Сіянов, Б.В. Погріщук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 1. – С. 13–15.

[15] *Сіянов О.І.* Вплив затяжок та горизонтальних ферм на втрату стійкості одношарових циліндричних стержневих покриттів / О.І. Сіянов // Сб. науч. тр. «Современные строительные конструкции из металла и древесины». – Одесса: ОГАСА, 2009. – С. 44–50.

[16] *Сіянов О.І.* Робота металевого одношарового циліндричного стержневого покриття з жорсткими підкріплюючими елементами / О.І. Сіянов // Зб. наук. пр. «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця: ВНТУ, 2009. – С. 13–27.

[17] *Сіянов О.І.* Моделювання і розрахунок одношарового циліндричного стержневого покриття з горизонтальними фермами / О.І. Сіянов // Зб. наук. пр. «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця: ВНТУ, 2011. – С. 6–9.

[18] *Сіянов О.І.* Дослідження схем розташування хрестоподібних в'язей одношарового циліндричного стрижневого покриття / О.І. Сіянов // Промислове будівництво та інженерні споруди, 2012. – № 1. – С. 13–15.

[19] *Сіянов О.І.* Вплив розташування опорних ферм на роботу металевих циліндричних сітчастих покриттів / О.І. Сіянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 1. – С. 27–30.

[20] *Сіянов О.І.* Параметри раціонального використання горизонтальних ферм металевих циліндричних сітчастих покриттів / О.І. Сіянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 1. – С. 16–21.

[21] *Сіянов О.І.* Формоутворення кругових циліндричних сітчастих оболонок / О.І. Сіянов // Зб. наук. пр. «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 6–10.

[22] ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи / Мінбуд України. – К.: Вид-во «Сталь», 2006. – 60 с.

[23] Пакеты прикладных программ для автоматизированного проектирования конструкций: учеб. пособие / [М.С. Барабаш, Ю.Д. Гераймович, А. Н. Кекук и др.]; под ред. А.С. Городецкого. – К.: Изд-во «Факт», 2006. – 112 с.

[24] ЛИРА 9.4. Примеры расчета и проектирования. Приложение к учебному пособию ЛИРА 9.2 / [Ю.В. Гензерский, А.Н. Куценко, Д.В. Марченко и др.]. – К.: Изд-во НИИАСС, 2006. – 124 с.

Надійшла 14.08.2017 р.

УДК 625.717.02

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ДВОШАРОВИХ МОНОЛІТНИХ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Запропоновано удосконалення методу визначення несучої здатності двошарового монолітного цементобетонного аеродромного покриття з урахуванням зміни температури впродовж доби і року та розрахункового списку повітряних суден.

Improvement of method of airport pavement strength is offered for two-layered concrete airfield pavement subject to temperature variations during the day and year and design airplane traffic.

Ключові слова: цементобетонне аеродромне покриття, повітряне судно, основна опора, коефіцієнт накопичення руйнувань від утоми, пора року, температура.

Несуча здатність монолітних двошарових цементобетонних аеродромних покриттів визначається як здатність покриття витримувати навантаження, що прикладене від основних опор літаків. Наразі в аеродромній практиці для отримання даних про несучу здатність аеродромних покриттів використовується метод ICAO (International Civil Aviation Organization) ACN-PCN [1]. Оцінка експлуатаційної придатності покриттів виконується шляхом співставлення класифікаційного числа PCN (Pavement Classification Number), що характеризує несучу здатність конструкції аеродромного покриття, з класифікаційними числами повітряних суден – ACN (Aircraft Classification Number) при визначеній категорії міцності природної ґрунтової основи.

Суть вітчизняного нормативного методу [2] визначення величини PCN, розробленого на основі рекомендацій ICAO, полягає у визначенні величини допустимого нормативного навантаження на чотириколісну стандартну опору, параметри якої встановлено чинними нормами [3], і визначенні числа PCN за графіком для необхідного коду міцності природної основи.

Новий нормативний документ AC 150/5335-5C Федеральної Авіаційної Адміністрації (ФАА) США [4], прийнятий у 2014 р., запроваджує удосконалення методу визначення числа PCN, основна суть якого полягає у розгляді не одного розрахункового повітряного судна чи умовної опори, а розрахункового списку повітряних суден, що експлуатуються в аеропорті. З цього списку вибирається критичне повітряне судно з найбільшим навантаженням на колесо основної опори, а решта повітряних суден враховуються шляхом перетворення їх кількості злітних операцій у еквівалентну кількість злетів критичного повітряного судна. Процедура визначення числа PCN реалізована у вигляді програми COMFAA 3.0 та базується на концепції руйнування від утоми.



О.В. Родченко
доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету, к.т.н.

У роботі Габріеля Базі [5] пропонується удосконалення методу визначення класифікаційного числа PCN шляхом урахування зміни несучої здатності ґрунтової основи впродовж року та дії основних опор літака із найбільшим числом ACN або всіх літаків із розрахункового списку, але поодинці.

Варто зазначити, що у чинних нормах [2, 3], AC 150/5335-5C [4] та роботі [5] при визначенні числа PCN не враховується вплив коливань температури впродовж доби та пір року на монолітне цементобетонне аеродромне покриття, а розрахунок двошарових покриттів взагалі не передбачений у нормах AC 150/5335-5C [4] та праці Габріеля Базі [5]. У зв'язку з чим виникає необхідність подальшого удосконалення методу визначення числа PCN, що забезпечуватиме раціональне використання двошарових монолітних цементобетонних аеродромних покриттів та їх безпечну експлуатацію.

Метою дослідження є розроблення теоретичних основ визначення класифікаційного числа двошарових монолітних цементобетонних аеродромних покриттів (рис. 1) з урахуванням зміни температури впродовж доби та пір року і розрахункового списку повітряних суден.

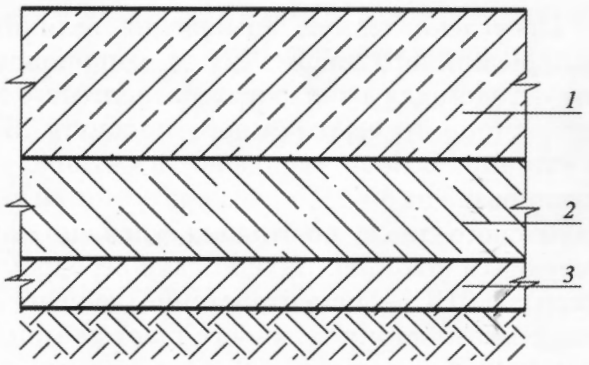


Рис. 1. Двошарове монолітне цементобетонне аеродромне покриття:

1 – верхній шар з монолітного цементобетону; **2** – нижній шар з пісного бетону; **3** – укріплена штучна основа

При визначенні величини класифікаційного числа жорсткого покриття пропонується використовувати концепцію руйнування від утоми, що виражається терміном «ступінь нагромадження руйнувань від утоми» D. Величина D визначається як відношення кількості прикладених повторень навантажень від колісних опор повітряного судна до допустимої кількості їх повторень до відмови покриття. Для додавання руйнувань від утоми, що виникають у цементобетонній плиті, використовується гіпотеза лінійного додавання пошкоджень Майнера.

Ступінь нагромадження руйнувань від утоми для верхнього D та нижнього шару D' монолітного цементобетонного покриття при визначенні класифікаційного числа аеродромного покриття пропонується визначати з урахуванням зміни температури впродовж року за формулами:

$$D=\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{2}D_{ij};$$
$$D'=\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{2}D'_{ij}, \quad (1)$$

де i – пора року (1 – зима, 2 – весна, 3 – літо, 4 – осінь); j – час доби (1 – день; 2 – ніч).

У свою чергу, доданки у формулах (1) визначаються за формулами:

$$D_{ij}=\sum_{k=1}^{m}\frac{365N_{ijk}T}{n_iC_{ijk}P_k};$$
$$D'_{ij}=\sum_{k=1}^{m}\frac{365N_{ijk}T}{n_iC'_{ijk}P_k}, \quad (2)$$

де m – кількість літаків у розрахунковому списку; N_{ijk} – кількість злітних операцій k-го повітряного судна, основну опору якого замінено на чотириколісну стандартну опору, за i-ту пору року в j-й час доби; n_i – кількість днів у порі року; T – розрахунковий термін експлуатації покриття; C_{ijk} – кількість допустимих проходів k-го повітряного судна до відмови покриття при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні цементобетонної плити верхнього шару двошарового покриття; C'_{ijk} – кількість допустимих проходів k-го повітряного судна до відмови покриття при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні нижнього шару двошарового монолітного цементобетонного покриття; P_k – коефіцієнт, що виражає відношення кількості зльотів k-го повітряного судна, основну опору якого замінено на чотириколісну стандартну опору, до кількості проходів за смугою охоплення, є аналогом коефіцієнта PCR, наведеного у чинних нормах ФАА з проектування аеродромних покриттів [6].

Кількість допустимих проходів чотириколісної стандартної опори до відмови покриття за критерієм розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні плити пропонується визначати за формулами, отриманими на основі праці [7]:

$$C_{ijk}=10^{12[1-f_1]};$$
$$C'_{ijk}=10^{12[1-f_2]}, \quad (3)$$

де f_1 – рівень відносного напруження, тобто відношення розрахункового напруження, що виникає на нижній поверхні цементобетонної плити верхнього шару аеродромного покриття, до допустимого напруження; f_2 – рівень відносного напруження, тобто відношення розрахункового напруження, що виникає на нижній поверхні нижнього шару покриття, до допустимого напруження.

Відношення f_1 визначається за допомогою наступного виразу:

$$f_1=\frac{(\sigma_{k,\max}+\sigma_{T,ij})k_p}{k_rk_t\overline{R}_{28}}, \quad (4)$$

де $\sigma_{k,\max}$ – максимальне розрахункове розтягувальне напруження на нижній поверхні верхнього шару при дії навантажень від чотириколісної стандартної опори k-го повітряного судна, МПа; $\sigma_{T,ij}$ – розтягувальне температурне напруження на нижній поверхні цементобетонної плити верхнього шару, МПа; k_p – коефіцієнт,

що враховує ймовірність суми середніх значень випадкових величин $\sigma_{k,\max}$ та $\sigma_{T,ij}$; k_r – поправковий коефіцієнт, що враховує групу ділянок аеродромних покриттів; k_t – коефіцієнт, що враховує зростання міцності цементобетону у часі; $\overline{R}_{28}$ – середнє значення міцності бетону верхнього шару двошарового монолітного цементобетонного аеродромного покриття на розтяг при згині у віці 28 діб, МПа.

Відношення f_2 визначається за допомогою наступного виразу:

$$f_2' = \frac{(\sigma'_{k,\max} + \sigma'_{T,ij})k_p}{1{,}28\, k_r k_t \overline{R}'_{28}}, \qquad (5)$$

де $\sigma'_{k,\max}$ – максимальне розрахункове розтягувальне напруження на нижній поверхні нижнього шару аеродромного покриття при дії навантажень від чотириколісної стандартної опори k-го повітряного судна, МПа; $\sigma'_{T,ij}$ – розтягувальне температурне напруження на нижній поверхні нижнього шару покриття, МПа; $\overline{R}'_{28}$ – середнє значення міцності бетону нижнього шару на розтяг при згині у віці 28 діб, МПа.

Для денного періоду доби температурні напруження виникають на нижній поверхні цементобетонної плити у зоні її крайових ділянок. Вночі відбувається зниження температури поблизу крайових та кутових ділянок цементобетонної плити аеродромного покриття і температурне напруження є стискувальним і не враховується у формулах (4) та (5), тому коефіцієнт k_p приймається таким, що дорівнює одиниці.

Величина нормативного навантаження на чотириколісну стандартну опору k-го повітряного судна визначається за емпіричною формулою, отриманою на основі графічних даних для коду міцності ґрунтової основи C [2],

$$F_{n,k} = 46{,}522 \cdot \mathrm{ACN}_{C,k}^{0{,}673} - 40{,}8751, \qquad (6)$$

де $\mathrm{ACN}_{C,k}$ – число ACN k-го повітряного судна для коду міцності ґрунтової основи C.

Якщо ступінь нагромадження руйнувань від утоми цементобетонного аеродромного покриття D або D' більше одиниці, то необхідно зменшити величину злітної маси повітряного судна із найбільшим кодом ACN. Якщо D або D' менше одиниці, то можна збільшити масу літаків у межах значень, запропонованих розробниками. Як величина PCN приймається величина ACN повітряного судна із найбільшою злітною масою у розрахунковому списку.

Проведено тестове визначення величини класифікаційного числа PCN за запропонованим методом для двошарового монолітного цементобетонного аеродромного покриття ЗПС на штучній основі, укріпленій в'яжучим, що розташоване на 50°23′ п.ш., з урахуванням розрахункового списку повітряних суден, що експлуатуються (табл. 1). Вихідні дані: аеродромне покриття ЗПС – цементобетонне двошарове; клас цементобетону верхнього шару за міцністю на розтяг при згинанні B_{tb}4.4; товщина верхнього шару 0,42 м; клас пісного бетону нижнього шару на розтяг при згинанні B_{tb}1.6, товщина – 0,20 м; штучна основа – ґрунтоцемент завтовшки 0,15 м та з модулем пружності 1500 МПа. Коефіцієнт постелі природної ґрунтової основи 40 МН/м^3. Покриття спроектовано на дію категорії 1 нормативного навантаження, розрахункове число прикладення нормативного навантаження – 200000.

Таблиця 1

Розрахунковий список повітряних суден

Повітряне судно	Злітна маса, т	Кількість операцій за рік	ACN для коду *C*
A321-100	83,400	5000	57
A330-200	202,900	2000	61
B737-500	60,781	10000	40
B737-800	79,243	10000	54
B767-200ER	179,623	2000	62
B747-400	397,800	2000	74

Розподіл злітних операцій літаків за порами року та часом доби наведено у таблиці 2. Вибрано варіант при цілодобовому здійсненні злітних операцій.

Для зими та літа середня тривалість дня приймається на основі даних для січня та липня (табл. 10–17 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010), не враховуючи дві години після сходу і дві години до заходу сонця для січня місяця та чотири години після сходу і три до заходу сонця для липня, тобто середня тривалість дня приймається як годинний інтервал, на який припадає 95 % добової сонячної радіації. Для весни та осені середня тривалість дня (для квітня та жовтня) може бути визначена на основі рекомендацій Дмитрієва М.М. [8]. Від отриманої розрахункової тривалості дня необхідно відняти 5 годин.

Відповідно до результатів розрахунку за запропонованим методом класифікаційне число PCN аеродромного покриття становить 74. Повний код PCN матиме такий вигляд: PCN 74/R/C/X/T. Обмеження злітної маси повітряних суден із розрахункового списку відсутні.

Таблиця 2

Кількість злітних операцій повітряних суден за порами року та часом доби

Пора року	Час доби	Кількість злітних операцій					
		A321-100	A330-200	B737-500	B737-800	B767-200EK	B747-400
Зима	День	309	123	617	617	123	123
	Ніч	924	370	1849	1849	370	370
Весна	День	368	147	736	736	147	147
	Ніч	892	357	1784	1784	357	357
Літо	День	506	202	1012	1012	202	202
	Ніч	755	302	1510	1510	302	302
Осінь	День	364	146	728	728	146	146
	Ніч	882	353	1764	1764	353	353
Всього за рік		5000	2000	10000	10000	2000	2000

Таблиця 3

Порівняльний розрахунок числа PCN

Метод	PCN	Обмеження за злітною масою	Обмеження кількості злітних операцій
МОС НГЭА	61	Не визначаються	B767-200ER (10 операцій за добу), B747-400 (2 операції за добу), для інших літаків без обмежень
КП «Аеродром 380»	61	Не визначаються	B767-200ER (10 операцій за добу), B747-400 (2 операції за добу), для інших літаків без обмежень
COMFAA (AC 150/5335-5C)	64	Для всіх літаків у розрахунковому списку	Не визначаються
Розроблений метод	74	Без обмежень (див. табл. 2)	Без обмежень (див. табл. 2)

Результати розрахунку величини класифікаційного числа двошарового монолітного цементобетонного аеродромного покриття, отримані на основі методики [2], комп'ютерної програми «Аеродром 380», програми COMFAA [4] та розробленого методу, наведено у таблиці 3.

Висновки.

1. Запропоновано формули для визначення коефіцієнта нагромадження руйнувань від утоми для двошарового монолітного цементобетонного аеродромного покриття при дії колісного навантаження від розрахункового списку повітряних суден і зміни температури впродовж доби та пір року.

2. Отримано формули для визначення кількості допустимих проходів чотириколісної стандартної опори до моменту відмови покриття за критерієм розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні плит верхнього та нижнього шару.

3. Число PCN, визначене за розробленим методом, на 21,3 % більше ніж при розрахунку за чинним нормативним методом [2], за комп'ютерною програмою «Аеродром 380» на 15,6 % більше ніж за програмою COMFAA (AC 150/5335-5C).

[1] Руководство по проектированию аэродромов. Часть 3. Покрытия // Рекомендации Международной организации гражданской авиации (ИКАО). Doc № 9184. – 1983. – 348 с.

[2] Методика оценки соответствия нормам годности и єксплуатации в СССР ГА (МОС НГЭА СССР), 1992. – 144 с.

[3] СНиП 2.05.08-85. Аэродромы. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 59 с.

[4] Advisory Circular 150/5335-5C. Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCN,US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2014. – 113 p.

[5] Gabrial Bazy Mechanistic-Empirical PCN Procedure/ Gabrial Bazy// Airport Pavement Working Group Meeting. Atlantic City, April, 2012. – Atlantic City, 2012. – 34 p.

[6] Advisory Circular 150/5320-6F. Airport Pavement Design and Evaluation,US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2016. USA Standard.

[7] *Степушин А.П.* К обоснованию сроков службы жёстких аэродромных покритий из цементобетона / А.П. Степушин // Проектирование, строительство и эксплуатация сооружений аэропортов: сб. науч. трудов МАДИ (ТУ). – М., 2001. – С. 12–28.

[8] *Дмитрієв М. М.* Визначення крайових умов на поверхні аеродромного покриття для постановки завдання моделювання його теплового поля / М.М. Дмитрієв, О.М. Папченко, О.Б. Деркачов, І.А. Рутковська // Вісник НАУ. – 2008. – №1. – С. 161–164.

Надійшла 06.06.2017 р.

УДК 624.191.22

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИБЛИЖЕНИЯ ЗАБОЯ ВЫРАБОТКИ К ЭКСПЛУАТИРУЕМОМУ ТОННЕЛЮ В УСЛОВИЯХ ФЛИШЕВОГО СЛОЖЕНИЯ ПОРОД

Обоснован новый подход к расчёту крепи подземных выработок во флишевом сложении геомассива. Дано решение задачи безопасной эксплуатации действующей подземной выработки при ведении горнопроходческих работ в непосредственной её близости. Приведены результаты расчётно-теоретических исследований, позволяющие выполнить анализ влияния горнопроходческих работ на напряженно-деформированное состояние (НДС) крепи эксплуатируемой выработки. Предложенная методология расчёта крепи подземной выработки позволяет получить полную и объёмную картину НДС как строящейся выработки, так и крепи вблизи эксплуатационного тоннеля и, в случае необходимости, оперативно вносить конструктивные и технологические изменения в разработанную базовую модель для её корректировки в процессе строительства. Технические решения, принятые на основе расчётно-теоретических исследований по данной методологии, позволяют обеспечить как безопасность горнопроходческих работ, так и эксплуатационную надежность действующей подземной выработки.

Substantiation of a new approach to calculating the support of underground excavations in a flyslide addition of a geomass. Solution of the problem of safe operation of the existing underground mine while conducting mining operations in its immediate vicinity. The results of theoretical and theoretical studies allow performing the analysis of the influence of mining works on the stress-strain state (SSS) of the support of the developed work. The proposed methodology for calculating the support for underground mining allows one to obtain a full and volumetric picture of the SSS of both the construction of the output and the SSS to be attached to a number of operational tunnels and, if necessary, to promptly make structural and technological changes to the developed base model for its adjustment during construction. Technical decisions made on the basis of theoretical and theoretical studies on this methodology allow to ensure both the safety of mining operations and the operational reliability of the existing underground mine.

Ключевые слова: Бескидский тоннель, сбойки, НДС обделки тоннеля и геомассива, мониторинг, численный анализ, ПК Plaxis, «массив–технология строительства–крепь» («М–ТС–К»).



О.С. Осипов
инженер проектного института «Укрспецтоннельпроект», аспирант кафедры «Геостроительство и горные технологии» Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Знание характеристик напряженно-деформированного состояния горных пород в массиве имеет большое значение для обеспечения безопасных условий строительства и эксплуатации подземных сооружений, особенно это важно в тоннелестроении. Проходка тоннелей, как правило, осуществляется в сложных инженерно-геологических условиях гористого рельефа местности и, по этой причине, недостаточной изученности условий строительства в целом. В первую очередь это касается геомеханических условий, определяющих состояние устойчивости породных обнажений, параметры крепи сооружений и их эксплуатационную безопасность.

Особенно актуально это при раскрытии выработки вблизи действующих эксплуатируемых тоннелей, когда остановка движения железнодорожного транспорта невозможна. Характерным примером в этом отношении является строительство эвакуационных сбоек между строящимся двухпутным железнодорожным Бескидским тоннелем и эксплуатируемым однопутным железнодорожным тоннелем, построенным в 1886 г., являющимся единственным на перегоне между станциями «Бескид» – «Скотарское» (рис. 1).

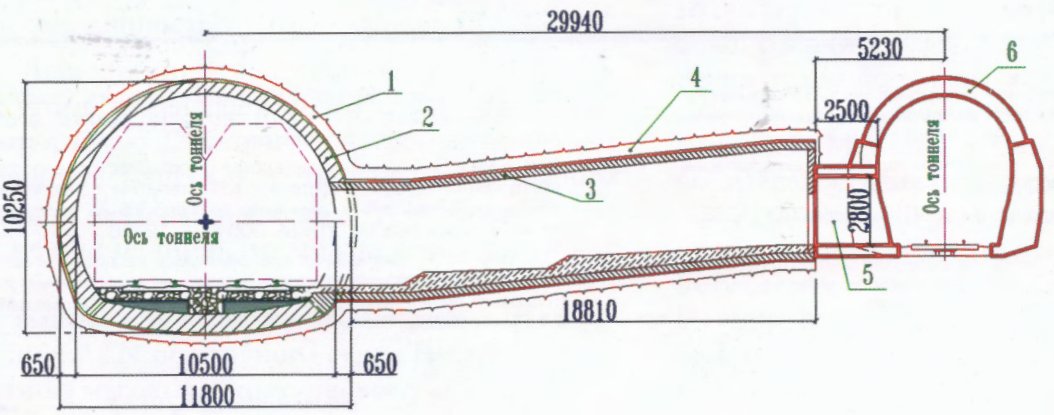


Рис.1. Конструкция эвакуационной сбойки:
1 – временная крепь строящегося тоннеля;
2 – постоянная обделка строящегося тоннеля;
3 – постоянная обделка строящейся сбойки;
4 – временная крепь строящейся сбойки;
5 – камера существующего тоннеля;
6 – существующий тоннель

Инженерно-геологические условия в зоне проходки эвакуационных сбоек классифицируются как сложные. Все три сбойки разрезают флишевую толщу, которая характеризуется наслоением аргиллитов и алевролитов с чередованием песчаников. Из-за высокой трещиноватости флишевая толща имеет повышенный уровень анизотропности. Инженерно-геологическая ситуация более детально описана в статье [1].

Принимая к сведению все факторы геологических условий и учитывая, что действующий железнодорожный тоннель попадает в зону влияния сооружаемых сбоек, нами были приняты жесткие требования к минимизации степени влияния проходки сбоек на эксплуатационные качества действующего тоннеля.

Для оценки технического состояния эксплуатируемого тоннеля был проведен комплекс работ, включающий:

- анализ результатов предыдущих обследований;
- визуальное обследование обделки с составлением дефектных карт;
- определение прочностных характеристик материалов обделки.

На основании проведенного обследования было установлено следующее:

1. Сечение тоннеля подковообразное, обделка выполнена из природного камня (песчаника) на цементно-песчаном растворе. Обделка разделена деформационными швами на 177 колец, которые пронумерованы. Длина каждого кольца составляет 9,8 м. Толщина обделки 850–900 мм.

2. Дефекты тоннельной обделки представлены слабой кладкой, выпиранием и вывалами в стенах и своде, отсутствием обратного свода, несоответствием габариту С, обводненностью тоннеля. Система дренажных штолен, сооруженная в 60-е годы, в настоящее время не обеспечивает отведение подземных вод. Проходка дренажных штолен и разборка обратного свода привели к расширению толщи горных пород уменьшенной прочности.

По результатам обследования технического состояния тоннель признан дефектным.

Для обеспечения эксплуатационной надежности железнодорожного тоннеля в процессе проходки сбоек были намечены следующие мероприятия для решения данной проблемы:

- выполнение расчетно-теоретических исследований по форме, площади сечения выработки (сбойки) и технологии проходки;
- установление пороговых значений прочностных и деформационных параметров конструкции;
- определение НДС обделки тоннеля в условиях ее работы, близких к реальным;
- осуществление мониторинга НДС обделки тоннеля в процессе проходки сбоек.

На первом этапе расчетно-теоретических исследований были определены предельные значения напряжений и деформаций в обделке действующего тоннеля, при которых технический уровень конструкции снизится до ограниченно работоспособного. Они были определены по результатам анализа статической работы конструкции на заданные ожидаемые перемещения, возникающие в геомассиве в процессе его разгрузки при подходе забоя сбойки к обделке существующего тоннеля. Анализ проводился методом конечных элементов с применением программного комплекса «Plaxis».

Физико-механические характеристики горного массива и материалов обделки в расчетной модели были приняты близкими к реальным, полученным по данным инженерно-геологических изысканий и по результатам обследования. Переход от предела прочности на одноосное сжатие образцов породы (в лаборатории) к значениям параметров сжатия и растяжения в скальном массиве выполнялся с использованием геологического индекса прочности (GSI), приведенного в работе (Hoek, 1999), а также в работе [2]. Данный индекс является основным параметром эмпирического критерия разрушения скальных грунтов Хоека-Брауна [2, 3].

Для моделирования обделки использовались объемные линейно-эластичные элементы, для вмещающего грунтового массива – объемные элементы по модели пластического деформирования Мора-Кулона. Необходимые расчётные параметры модели определялись из диаграммы наибольших кругов напряжений (паспорта прочности горного массива).

Все элементы, моделирующие конструкцию обделки и грунтовый массив, – весомые.

Значения допустимых деформаций обделки установили по величинам, при достижении которых в обделке возникали растягивающие напряжения, а сжимающие приближались к

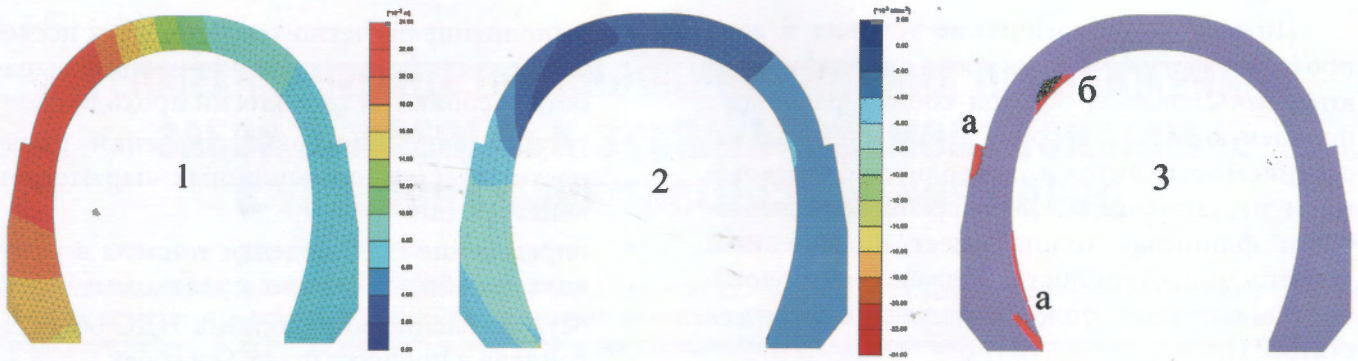


Рис. 2. Распределение главных напряжений в обделке эксплуатируемого тоннеля при максимальных деформациях |u| = 0,023 м:

1 – общие перемещения обделки существующего тоннеля, мм; **2** – напряжения , кН/м^2; **3** – точки напряжений в пластическом состоянии; **а** – красный кубик (точка разрушения) – напряжения имеют место на поверхности огибающей разрушения Кулона; **б** – белый кубик (точка Tension cut-off) – показывает, что был применён критерий ограничения области растяжения

Таблица 1

Результаты расчёта напряженно-деформированного состояния обделки существующего тоннеля на заданные перемещения

Ожидаемые (заданные) перемещения приконтурного геомассива, мм	Максимальные деформации обделки, мм			Максимальные напряжения (сжимающие/растягивающие), МПа		
	Свод	Левая стенка	Правая стенка	Свод	Левая стенка	Правая стенка
1–5	2	3	1	–2,8	–5,2	–4,7
2–10	4	7	2	–2,7	–5,5	–4,8
3–15	6	10	4	–2,6	–5,9	–4,9
4–20	6	13	6	–2,5	–6,3	–5,0
5–25	10	17	8	–2,4/+0,3	–6,8	–5,1
6–30	12	20	10	–2,3/+0,5	–7,6	–5,2
7–35	14	23	12	–2,2/+0,7	–8,1	–5,3

пределу прочности на сжатие кладки. Численный анализ НДС обделки, проведенный в процессе кососимметричного приложения перемещений приконтурного массива по линии наибольшего ожидания, показал, что максимальные значения деформаций обделки, при которых в её своде возникнут напряжения, близкие к предельно допустимым, должны находиться в пределах 20 мм. При превышении этой величины в своде возникнут растягивающие напряжения, а сжимающие напряжения в левой стене (со стороны подходящей выработки) приблизятся к пределу прочности на сжатие кладки (рис. 2). Результаты расчета напряженного состояния обделки тоннеля на заданные перемещения представлены в таблице 1.

На следующем этапе моделирования был выполнен численный анализ степени влияния проходки сбоек на НДС обделки железнодорожного тоннеля. С этой целью составлены результаты моделирования НДС обделки железнодорожного тоннеля по 5-ти вариантам расчетных схем, в зависимости от местоположения забоев тоннеля и сбоек:

1) до проходки двухпутного ж.д. тоннеля;

2) после проходки двухпутного ж.д. тоннеля;

3) при расстоянии от забоя сбойки до действующего тоннеля 16 м;

4) при расстоянии от забоя сбойки до действующего тоннеля 8 м;

5) при сопряжении сбойки с действующим ж.д. тоннелем (образовании сквозной выработки).

Варианты расчётных схем представлены на рис. 3.

Для решения задачи безопасной эксплуатации действующей подземной выработки (однопутного ж.д. тоннеля) при ведении горнопроходческих работ в непосредственной её близости предложена методология расчёта конструкции временной крепи сооружаемой выработки (сбойки) и определение НДС обделки эксплуатируемого тоннеля на основе единой

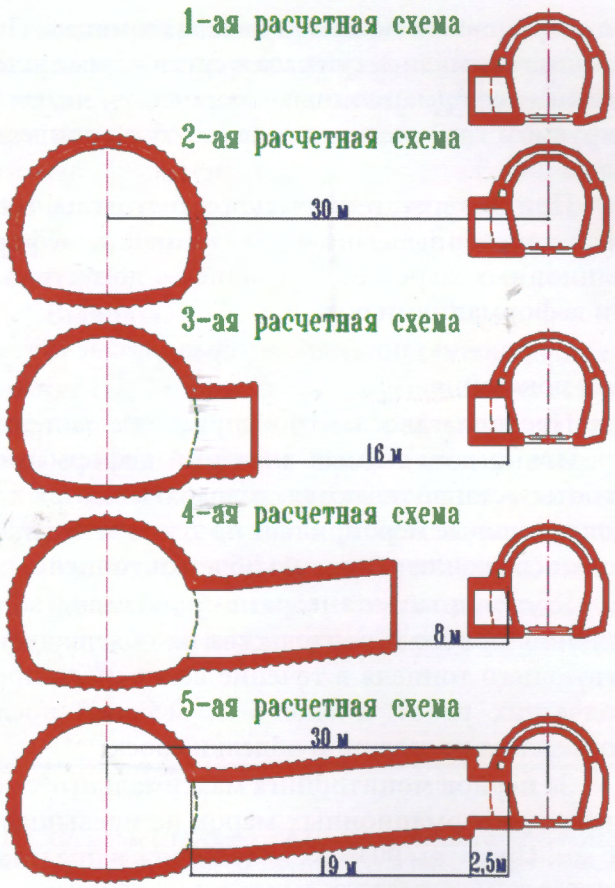


Рис. 3. Варианты расчётных схем

системы «массив–технология строительства–крепь» («М–ТС–К») и моделирования с учётом временного фактора (последовательности строительства). Из рассматриваемой системы «М–ТС–К» наибольшее влияние на формирование НДС обделки эксплуатируемого тоннеля оказывает технология строительства сбоек. На графике (рис. 4) показано развитие напряжений по мере подхода сбойки к эксплуатируемому тоннелю (от расчётной схемы № 1 до расчётной схемы № 5).

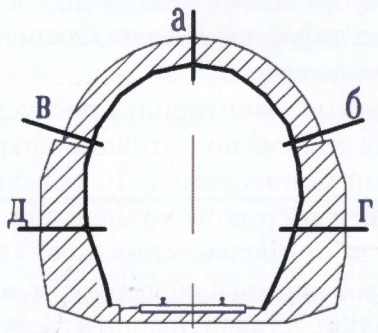
Формирование НДС обделки происходит в зависимости от технологических этапов (схем). Кроме того распределение напряжений в сечении обделки также не равномерно – более загруженными оказываются стены, расположенные по направлению к подходящей выработке.

Результаты численного анализа (табл. 2) позволили сделать вывод о том, что проходка эвакуационных сбоек между строящимся двухпутным и действующим однопутным железнодорожным тоннелями не окажет существенного влияния на НДС обделки эксплуатируемого тоннеля.

Таблица 2

Результаты численного анализа влияния проходки выработок на НДС обделки существующего однопутного ж.д. тоннеля

№ расчётной схемы	Напряжения, мПа, в сечениях обделки (наружный контур/внутренний контур)				
	Сечение				
	а	б	в	г	д
1	-3/-1,6	-4,3/-2,5	-4,3/-2,5	-5,0/-2,5	-5,0/-2,5
2	-3/-1,6	-4,3/-2,5	-4,3/-2,5	-5,0/-2,5	-5,0/-2,5
3	-3/-1,6	-4,3/-2,5	-4,8/-2,5	-5,1/-2,6	-5,3/-2,8
4	-3,2/-1,8	-4,8/-2,6	-5,2/-2,9	-5,2/-2,9	-5,4/-3,2
5	-3,4/-2,0	-5,3/-2,8	-7,0/-4,2	-5,7/-3,4	-7,5/-5,0



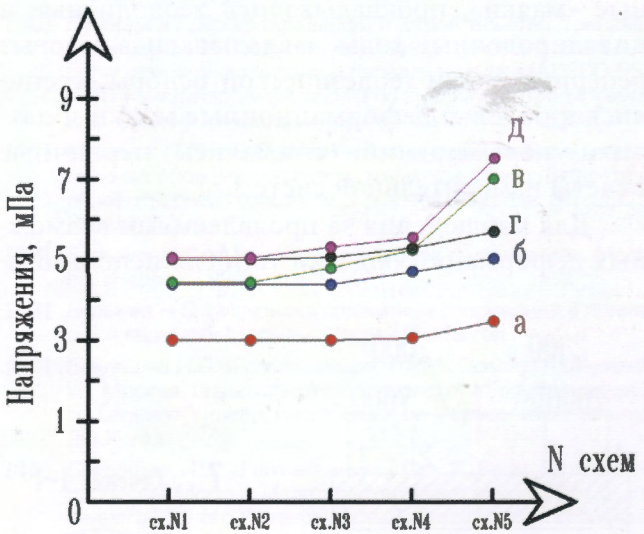


Рис. 4. График формирования напряжений в обделке эксплуатируемого тоннеля

По результатам таблицы 2 построен график формирования напряжений в обделке эксплуатируемого тоннеля (см. рис. 4).

Установлено, что на всех этапах строительства материал обделки однопутного тоннеля испытывает только сжимающие напряжения.

Максимальное значение деформаций зафиксировано расчётом в шелыге свода эксплуатируемого тоннеля и составляет 6 мм, что не превышает ранее установленного предельно допустимого значения, равного 20 мм. При этом максимальные сжимающие напряжения 7,5 мПа не превышают предел прочности кладки на сжатие.

С целью постоянного контроля степени влияния строительства на техническое состояние эксплуатируемого тоннеля маркшейдерской службой «Интербудтоннель» был осуществлен постоянный мониторинг в процессе проходки сбоек.

Задача мониторинга – оперативная и регулярная информация о возможных изменениях напряженно-деформированного состояния (НДС) обделки тоннеля.

Программа мониторинга предусматривала следующие этапы: подготовительный период; постоянный мониторинг НДС обделки; анализ технического состояния тоннельной обделки в зависимости от продвижения забоя сбойки.

В подготовительный период в местах трещин обделки устанавливались деформационные «маяки», прокладывались теодолитные и нивелировочные ходы, закладывались базовые реперные знаки геодезической основы, крепились к обделке деформационные марки и датчики перемещений, снимались первичные отчеты измерительной системы.

Для наблюдения за проявлениями возможных деформаций обделки тоннеля использовали современные высокоточные тахеометры. Показания снимались три раза в сутки. Схема установки деформационных марок в эксплуатируемом тоннеле при проходке сбоек приведена на рис. 5.

При анализе технического состояния тоннеля полученные данные по смещению деформационных марок сравнивались с допустимыми деформациями обделки.

Сравнению подлежали усредненные суточные показания.

Предполагалось, что в случае превышения предельно допустимых значений деформаций работы останавливаются, разрабатываются дополнительные мероприятия по технологии проходки сбоек или усилению обделки тоннеля.

Постоянный мониторинг проводили в зоне влияния нового строительства на обделку действующего тоннеля в течение всего срока проходческих работ и еще 6-ти месяцев после возведения постоянной обделки сбоек.

За период мониторинга максимальные смещения деформационных марок не превышали 10 мм. При этом 90 % их находились в пределах интервала 5–6 мм.

Результаты мониторинга свидетельствуют о том, что в процессе горнопроходческих работ при сооружении сбоек обделка однопутного тоннеля постоянно находилась в условиях всестороннего сжатия. При этом максимальные смещения обделки составили 50 % от предельно допустимых, определенных в результате численного анализа.

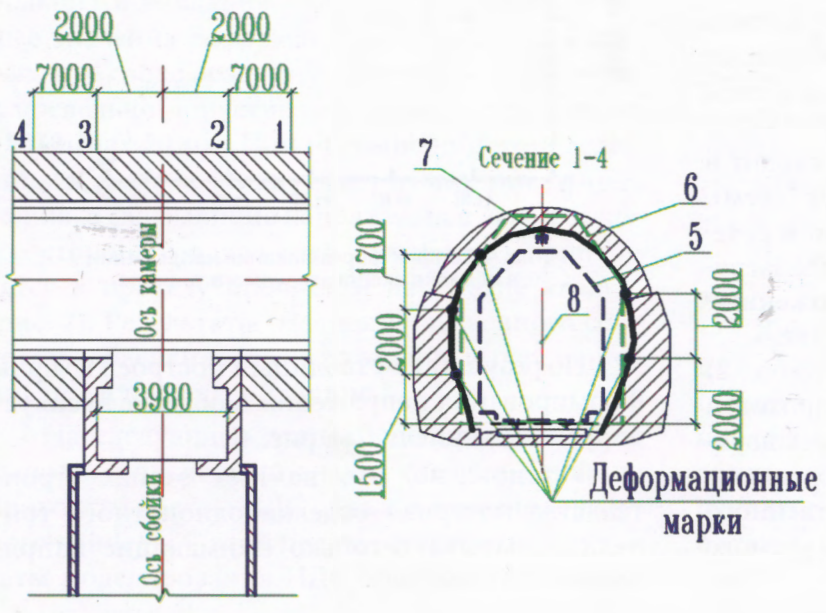


Рис. 5. Схема расположения деформационных марок геодезического мониторинга:

1, 2, 3, 4 – номера сечений, где установлены деформационные марки; **5** – габарит приближения подвижного состава Т; **6** – габарит приближения строений С; **7** – контактный провод; **8** – ось существующего тоннеля

Таким образом, принятые конструктивно-технологические решения на основе расчетно-теоретических исследований, реализованные при проходке эвакуационных сбоек, обеспечили как безопасность производства горнопроходческих работ, так и эксплуатационную надежность действующего железнодорожного тоннеля.

Выводы.

Рассмотренный в данной статье подход к оценке НДС горных пород в условиях их естественного залегания служит реальной основой для оценки качества проходческих работ в сложных инженерно-геологических условиях, и, прежде всего, в условиях близко расположенных эксплуатируемых подземных выработок.

Решение геомеханической задачи на основе предлагаемого подхода наиболее эффективно с помощью численного моделирования методом конечных элементов, позволяющим учесть этапность строительства сбоек.

Предложенная методология расчёта конструкции временной крепи [1] и влияния проходки на эксплуатируемый тоннель с учётом технологии строительства позволяет получить полную информацию об объекте проектирования и эксплуатации (НДС, деформации).

Достаточным доказательством работоспособности рассматриваемого метода оценки НДС породного массива служат натурные данные деформаций обделки эксплуатируемого тоннеля при сооружении эвакуационных сбоек (3 шт) между строящимся двухпутным Бескидским железнодорожным тоннелем и действующим однопутным железнодорожным тоннелем в условиях флишевого сложения геомассива.

[1] *Стовпник С.Н., Осипов А.С.* «Оптимизация комбинированной конструкции временной крепи тоннелей для сложных инженерно-геологических условий флишевого сложения массива пород», Вісті Донецького гірничого інституту – Красноармейск, 2016 – Выпуск №1(38), – С. 105–114.

[2] *М.Г. Зерцалов* «Механика грунтов» (введение в механику скальных грунтов), Издательство Ассоциации строительных вузов, Москва, 2006 год.

[3] Plaxis 3D. Руководство пользователя. Часть 3. Пособие по моделям материалов, «НИП-Информатика», Санкт-Петербург, 2012 год.

[4] Научно-техничекий отчёт о результатах комплексных инженерных изысканий. Строительство Бескидского тоннеля. ГП «Энергопроект», Киев – 2012 год.

[5] ВСН 126-90. Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ.

[6] СНиП II-44-78. Тоннели железнодорожные и автодорожные. Нормы проектирования, 1978.

[7] СНиП III-44-77. Тоннели железнодорожные, автодорожные и гидротехнические. Метрополитены. Правила производства и приемки работ.

[8] *Бартон Н, Лин К, и Лунде Й.*. Инженерная классификация пород, используемая для проектирования тоннельной крепи. Rock Mech; 6(4):189–236., 1974.

[9] *Бартон Н.* Некоторые новые корреляции Q-значения в поддержку характеризации площадки и проектирования тоннелей. Международный журнал по механике горных пород и горному делу.39-2. Стр.185–216, 2002.

[10] *Лунарди П.* Проектирование и строительство тоннелей с применением подхода, основанного на анализе контролируемой деформации в породах и грунте (ADECO-RS). «T&T Международный подход по анализу контролируемой деформации в породах и грунте (ADECO-RS)», 2000.

[11] *Маринос П, Хок Е.* Оценка геотехнических свойств гетерогенных породных массивов, таких как флиш. Бюллетень по инженерной геологии и окружающей среде. 60 (2001) 85–89, 2001.

[12] *Булычев Н.С.* «Механика подземных сооружений», Москва, «Недра» 1994 год.

[13] *Булычев Н.С.* «Механика подземных сооружений в примерах и задачах», Москва, «Недра», 1989 год.

[14] *Баклашев И.В.* «Геомеханика», Том 1. Основы геомеханики, Москва, Издательство Московского Государственного Горного Университета, Высшее Горное образование, 2004 год.

[15] *Баклашев И.В.* «Геомеханика», Том 2. Геомеханические процессы, Москва, Издательство Московского Государственного Горного Университета, Высшее Горное образование, 2004 год.

Надійшла 17.10.2017

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЇ КОРОБЧАСТОЇ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ МОСТА



П.М. Сташук
директор
ТОВ «НВП Мостовий центр»,
к.т.н., м. Київ



А.Є. Фаль
головний інженер Інституту
комплексного проектування об'єктів
будівництва, к.т.н.

Сучасні тенденції у мостобудуванні характеризуються широким впровадженням нових технологій, удосконаленням конструктивних форм та методів розрахунків [1]. При цьому значну роль відіграють натурні випробування мостів з метою встановлення характеру і величини навантажень на конструкції моста, визначення дійсного рівня напружень в його елементах.

ТОВ «НВП Мостовий центр» у 2015 р. проведено випробування нового залізобетонного моста із коробчастою прогоновою будовою у м. Баку.

Метою дослідження було визначення фактичного напружено-деформованого стану конструкцій нового моста, оцінка його жорсткості та вантажопідйомності.

Прогонова будова моста складається з однієї нерозрізної залізобетонної балки коробчастого перерізу, що влаштована за схемою $L = 30 \text{ м} + 8 \times 40 \text{ м} + 30 \text{ м}$ (по осі моста). В плані прогони 0–1, 1–2, 2–3, 3–4, 4–5, 5–6, 9–10 розміщені на прямій, а прогони 6–7, 7–8, 8–9 вписані в горизонтальну криву з радіусом 150 м. Габарит проїзної частини моста Г–$9{,}5 + 2 \times 0{,}85$ м. Прогонова будова в поперечному перерізі має дві замкнені пустоти, за винятком надопорних перерізів на ділянках 7 м від опор, в яких переріз є суцільним. Висота балки 1,7 м, нижній пояс має ширину 5,5 м при товщині 0,5 м, верхній – 12,0 м при товщині 0,3 м. Балка попередньо напружена методом «натягу на бетон» з використанням канатів із поперечним перерізом 150 мм^2, виготовлених за EN 10138-3. Канати об'єднані в пучки по 25 штук. Опорні частини на опорах – гумово-металеві.

Перед початком випробувань було проведено візуальний огляд конструкцій шляхопроводу та виконано дослідження матеріалів елементів споруди неруйнівними методами.

Як випробувальне навантаження використали чотири автомобілі, завантажені баластом (Mercedes Benz Axor 3028 з повною масою одного автомобіля в середньому 30,4 т). Загальна вага випробувального навантаження становила 121,6 т. Відповідно до програми статичних випробувань реалізовано чотирнадцять схем навантаження прогонової будови:

- Схеми № 1, № 2, № 3, № 4 – автомобілі розташовані попарно в два ряди для створення максимального згинального моменту в прогонах 0–1, 1–2.
- Схеми № 5, № 6 – автомобілі розташовані попарно в один ряд по одному ряду в прогоні для створення максимального згинального моменту над опорами 2, 3.
- Схеми № 7, № 8, № 9, № 10, № 11, № 12, № 13, № 14 – автомобілі розташовані попарно в два ряди для створення максимального згинального моменту в прогонах 2–3, 3–4, 4–5, 5–6, 6–7, 7–8, 8–9, 9–10.

Під час статичних випробувань виконувалися заміри прогинів, фіброві напружень по висоті балки та реєструвались сигнали акустичної емісії ПТК «АКЕМ-3к» на базі персонального комп'ютера з використанням технології «PCLabCard» (рис. 1, 2).

Для виявлення величин динамічного впливу, що створюються реальним рухомим навантаженням, та визначення динамічних характеристик прогонової будови шляхопроводу (частоти і форми власних коливань конструкції, характеристики затухання коливань, величин динамічних коефіцієнтів) були проведені динамічні випробування. Динамічне навантаження на прогонову будову шляхопроводу створюва-

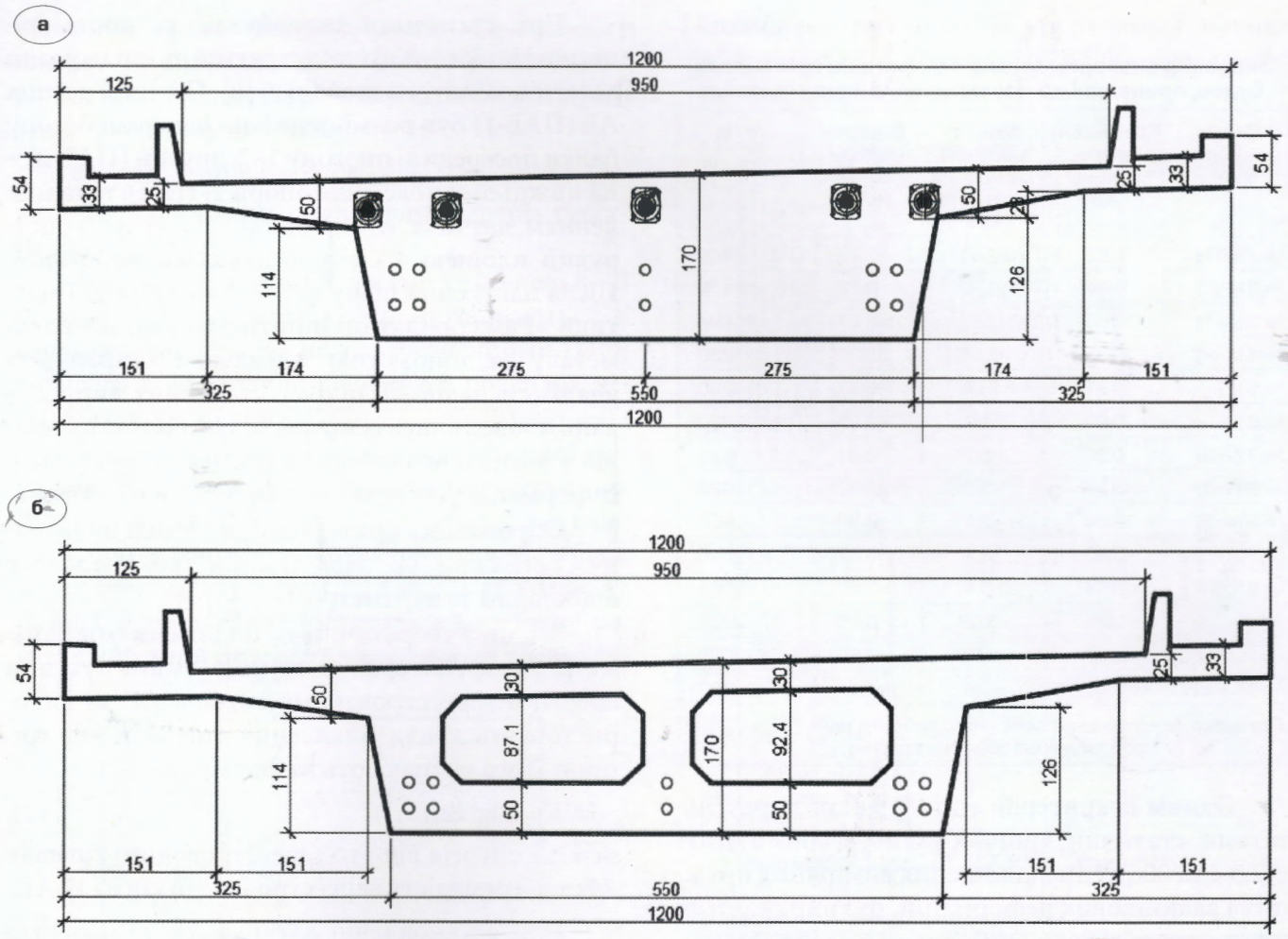


Рис. 1. Поперечний розріз прогонових будов над опорами (а) та посередині прогонів (б)

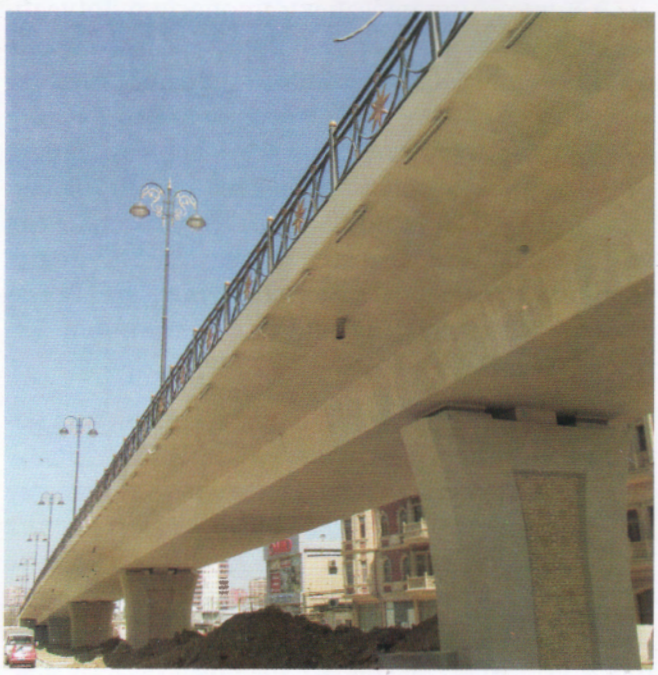


Рис. 2. Загальний вигляд естакади

лось завантаженим автомобілем «Mercedes Benz Axor 3028», що рухався зі швидкістю 40 км/год. Для реєстрації та аналізу динамічних характеристик прогонової будови шляхопроводу використовували датчик для реєстрації механічних коливань ПТК «FREQS-2к», встановлений посередині кожного прогону на поверхні покриття проїзної частини біля поздовжньої осі.

Для визначення розрахункових величин прогинів, напружень прогонової будови моста та динамічних характеристик виконували статичний і динамічний розрахунок із використанням програмного комплексу «Midas Civil».

Максимальна інтенсивність випробувального навантаження по відношенню до нормативного А-11 для середини прогонових будов становила 91,5 %, для надопорних перерізів – 81 %.

Приведені до нормативного навантаження максимальні значення прогинів для прогонів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення експериментальних прогинів прогонових будов, приведені до нормативного навантаження

Схема завантаження	Коефіцієнт приведення, *Kp*	Максимальний виміряний прогин, *fe*, мм	Виміряні приведені прогини, *fe*/*Kp*	*fe*/*lp*
№ 1 (0–1)	0,87	–2,41	–2,77	1/12448
№ 2 (1–2)	0,94	–3,93	–4,18	1/10178
№ 3 (0–1)	0,85	–2,61	–3,07	1/11494
№ 4 (1–2)	0,96	–3,56	–3,71	1/11236
№ 5 (2)	0,81	–2,08	–2,57	1/19230
№ 6 (3)	0,80	–1,8	–2,25	1/22222
№ 7 (2–3)	0,97	–3,7	–3,81	1/10811
№ 8 (3–4)	0,94	–3,5	–3,72	1/11429
№ 9 (4–5)	0,94	–3,1	–3,30	1/12903
№ 10 (5–6)	0,80	–2,7	–3,37	1/14815
№ 11 (6–7)	0,94	–3,1	–3,30	1/12903
№ 12 (7–8)	0,95	–3,03	–3,19	1/13201
№ 13 (8–9)	0,92	–3,31	–3,60	1/12085
№ 14 (9–10)	0,92	–1,8	–1,96	1/16667

Примітка. *fe* – значення виміряного прогину, мм; *lp* – розрахункова довжина прогону.

Одним із критеріїв оцінки моста за результатами статичних випробувань згідно з ДБН В.2.3-14:2006 є співвідношення виміряних пружних і залишкових деформацій, що виражається показником роботи конструкції α (табл. 2).

Таблиця 2

Показник роботи конструкції α

Схема навантаження (переріз)	Максимальне значення пружних виміряних напружень, σ_{el}, МПа	Максимальне значення залишкових виміряних напружень, σ_r, МПа	α, (σ_r/σ_{el})
№ 1 (середина 0–1, нижній пояс)	0,972	0,0052	0,0053
№ 2 (середина 1–2, нижній пояс)	1,063	0,0588	0,0553
№ 3 (середина 2–3, нижній пояс)	1,105	0,0976	0,0884
№ 4 (середина 3–4, нижній пояс)	0,704	0,0169	0,0240
№ 5 (опора 2, нижній пояс)	–0,827	0,0228	0,0276

Згідно з ДБН В.2.3-6-2002 значення показника роботи конструкції α для металевих та залізобетонних мостів, закінчених будівництвом, може досягати 0,15. Експериментальний показник роботи конструкції α приймає значення від 0–0,15, що свідчить про задовільну роботу прогонової будови.

При статичних випробуваннях моста тріщиностійкість його конструкцій досліджували за методом акустичної емісії [6]. Перший датчик АЕ (ПАЕ-1) був розміщений на поверхні бетону балки посередині прогону 1–2, другий (ПАЕ-2) – на нижньому поясі біля опори 2. Перед встановленням датчика АЕ на металі поверхні конструкції площею 4 см^2 очищувалась від фарби. Після нанесення шару акустично прозорої мастики «Рамзай» датчик притискали до поверхні металу за допомогою тримача. Реєстрація та аналіз сигналів АЕ під час статичних випробувань проводились із моменту зупинки автомобілів у місцях, визначених схемами випробувань. Інформація реєструвалась протягом 40–60 с.

Оброблення критеріальної оцінки виявлення сигналів АЕ від тріщин виконувалось відповідно за параметром *Kp* [5].

Згідно з теоретичними положеннями параметр *Kp* характеризує ступінь зміни густини енергії в зареєстрованому сигналі АЕ та використовується для виявлення сигналів від тріщин. Його визначають за формулою

$$Kp_j = \lg(Ec_j/\tau_j^2), \qquad (1)$$

де Ec_j – енергія від j-го зареєстрованого сигналу АЕ; τ_j – тривалість зареєстрованого сигналу АЕ.

При встановленні датчика АЕ на поверхні металу значення критерію виділення сигналів АЕ від тріщин параметр *Kp*, враховуючи прийняті параметри порогу дискретизації, становить 4.

Оцінювання небезпеки процесів руйнування, що відбуваються в структурі матеріалів об'єктів при навантаженні, здійснюється за аналізом кінетики розвитку випромінювання АЕ з використанням спільного аналізу даних, отриманих на етапах витримування під навантаженням [5]. Для порівняння та узагальнення результатів, незалежних від розмірності аналізованих параметрів, використовують їх формалізацію із нормуванням шкал до одиничної

$$\overline{E}_H = f(\overline{P}), \qquad (2)$$

де $\overline{E}_H = E_i/E_{i\max}$; $\overline{P} = P_i/P_{i\max}$; E_i – значення накопичення енергії сигналів АЕ під час витримування на ступенях навантаженням в обраному часовому перерізі; P_i – значення навантаження на досліджуваний об'єкт; $E_{i\max}$ – максимальне значення накопичення енергії сигналів АЕ під час витримування під навантаженням на ступенях у обраному часовому перерізі; $P_{i\max}$ – максимальне значення навантаження на об'єкт дос-

лідження при випробуванні. Проведення аналізу із апроксимацією експериментальних даних у відповідності до попередньо описаного виконують за формулою

$$\overline{E}_H = a\overline{P}^b, \text{ при } t_i = \text{const}, \quad (3)$$

де a, b – константи; t_i – часовий переріз реєстрації сигналів АЕ.

Абсолютне значення показника степені $b < 3$ свідчить, що дефекти, котрі розвиваються в структурі матеріалу, не є небезпечними. При значенні показника степені $b \geq 3$ розвиток дефектів є небезпечним.

Дослідження моста методом акустичної емісії показало, що при статичних випробуваннях фіксуються сигнали акустичної емісії, які свідчать про наявність мікродефектів у матеріалі прогонової будови (рис. 3). Але аналіз розвитку процесів руйнування у структурі матеріалу показав, що вони не мають тенденції до розвитку.

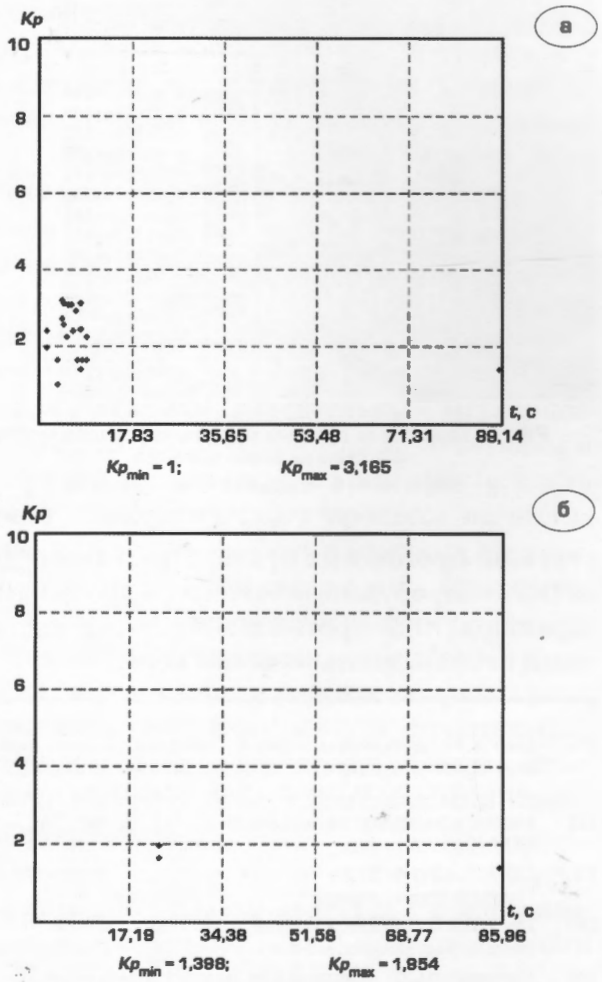


Рис. 3. Зміна параметра *Kp* сигналів АЕ, зафіксованих при випробуванні прогонової будови моста:

а – ПАЕ-1 за схемою № 2, тимчасове навантаження на прогонову будову 30 т; **б** – ПАЕ-2 за схемою № 5, тимчасове навантаження на прогонову будову 61 т

Параметри коливань прогонової будови, що виникають від руху автомобілів, наведено на рис. 4 та в таблиці 3.

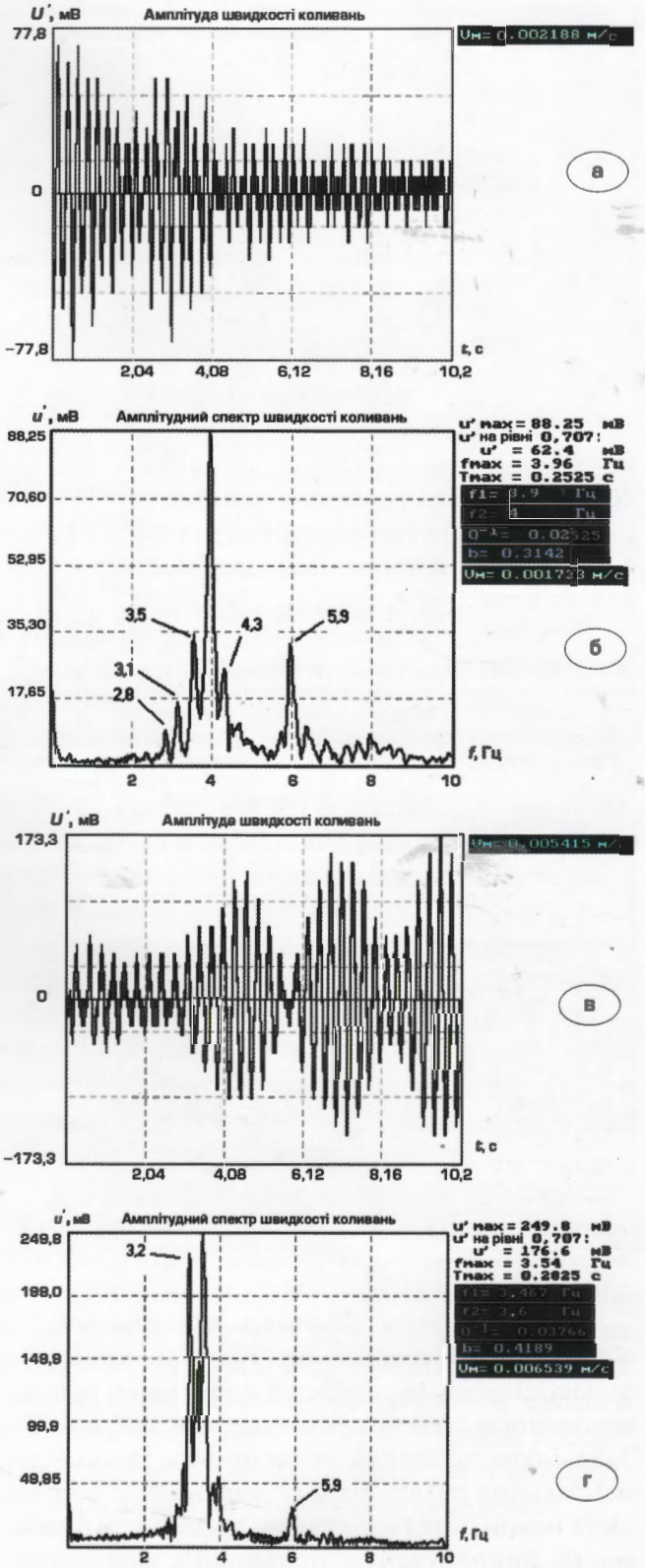


Рис. 4. Загальний вигляд механічних коливань прогонових будов (а, в) та амплітудні спектри механічних коливань прогонової будови (б, г)

Таблиця 3

Параметри коливань прогонових будов

Номер прогону	*Vм*, м/с	*Ам*, мм	Перша частота в спектрі віброшвидкості f_1, Гц	Максимальна частота в спектрі віброшвидкості f_{max}, Гц
0–1	0,00219	0,3	2,8	4,0
1–2	0,00541	0,3	–	3,5
2–3	0,00203	0,2	2,9	3,4
3–4	0,00441	0,3	2,6	3,5
4–5	0,00353	0,2	2,6	3,6
5–6	0,00461	0,4	2,6	3,5
6–7	0,00504	0,3	2,6	3,5
7–8	0,00243	0,3	2,8	3,8
8–9	0,00340	0,2	2,8	4,0
9–10	0,00481	0,4	2,8	3,6

Теоретичні значення напружень та прогинів у прогонових будовах моста визначали за допомогою програмного комплексу «Midas Civil». Максимальні експериментальні та теоретичні значення прогинів прогонової будови наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Експериментальні та теоретичні прогини

Схема завантаження (прогін/опора)	Максимальний виміряний прогин, *fe*, мм	Теоретичне значення максимального виміряного прогину, *fcal*, мм
№ 1 (0–1)	–2,41	–2,81
№ 2 (1–2)	–3,93	–5,18
№ 3 (0–1)	–2,61	–2,76
№ 4 (1–2)	–3,56	–5,33
№ 5 (опора 2)	–2,08	–2,80
№ 6 (опора 3)	–1,8	–2,66
№ 7 (2–3)	–3,7	–5,62
№ 8 (3–4)	–3,5	–5,31
№ 9 (4–5)	–3,1	–5,31
№ 10 (5–6)	–2,7	–5,20
№ 11 (6–7)	–3,1	–5,34
№ 12 (7–8)	–3,03	–5,42
№ 13 (8–9)	–3,31	–5,16
№ 14 (9–10)	–1,8	–2,98

Висновки.

Випробування показали ефективність та надійність попередньо напруженої монолітної залізобетонної коробчастої прогонової будови, виконаної за схемою прогонів 30 м + 8×40 м + 30 м. Задовільна збіжність теоретичних та експериментальних результатів свідчить про достовірність виконаних розрахунків прогонової будови моста. Випробування, проведені з використанням методу акустичної емісії, показали, що при випробувальному навантаженні не виникають дефекти, розвиток яких є небезпечним для конструкцій прогонових будов. У результаті динамічних випробувань встановлено, що динамічні характеристики прогонової будови є задовільними і відповідають вимогам норм.

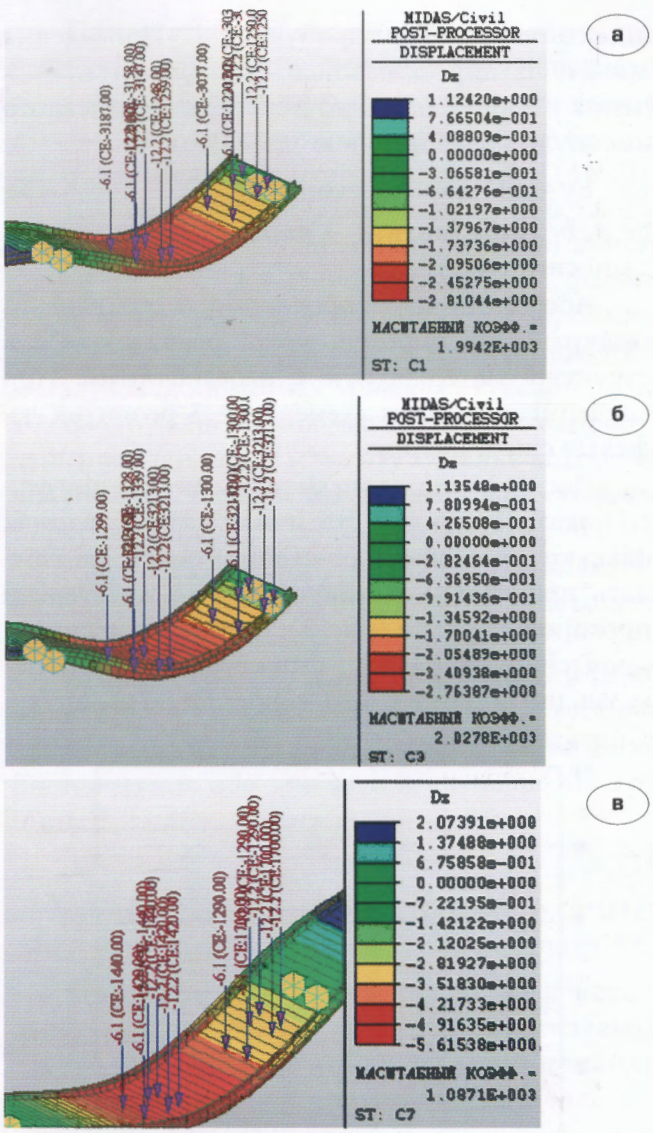


Рис. 5. Теоретичні прогини прогонової будови моста при схемах завантаження:
а – схема № 1; **б** – схема № 3; **в** – схема № 7

[1] *Bien J., Krzyzanowski J., Rawa P., Zwolski J.* Dynamic load tests in bridge management // 9-th Int. Bridge management Conf. (April 28-30, 2003, Orlando, USA). – IBMC03-20. – 18 p.

[2] Мости: конструкції та надійність / *Й.Й. Лучко, П.М. Коваль, М.М. Корнієв та інші.* – Львів: Каменяр, 2005. – 989 с.

[3] ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування.

[4] ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування.

[5] *Филоненко С.Ф.* Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. – К: Вид-во КМУГА, 1999. – 305 с.

[6] МВВ 218-03450778-240-2004 «Метод акустико-емісійного діагностування технічного стану мостів при статичних випробуваннях».

Надійшла 17.08.2017 р.

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ДЛЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КОЖУХОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ



В.Н. Король
начальник Днепропетровского филиала ООО «Метинвест Инжиниринг», г. Днепр



Е.И. Гезенцвей
начальник отдела строительного проектирования ООО «Метинвест инжиниринг», г. Днепр



Е.С. Иосилевич
ведущий инженер отдела строительного проектирования ООО «Метинвест инжиниринг», к.т.н., г. Днепр

Металлургическое производство в Украине было и остается базовой отраслью промышленности, ориентированной в основном на собственные сырьевые и топливно-энергетические ресурсы, а доменная плавка – основным способом получения чугуна.

Среди объектов доменного комплекса собственно доменная печь является сооружением, определяющим не только возможность непрерывного ведения технологического процесса, но и его общую промышленную безопасность.

Основным элементом доменной печи служит ее стальной кожух, представляющий собой ряд соосных сопряженных цилиндрических и конических оболочек различной толщины, ослабленных большим числом отверстий различного размера и конфигурации, предназначенных для крепления оборудования. Особенностью конструкции кожуха печи является совмещение им функций сложного инженерного строительного сооружения и технологического агрегата.

Выполняя функции технологического агрегата, кожух подвергается постоянному воздействию переменных по времени высоких температур, циклическому, пульсирующему давлению газовой среды, значительным механическим нагрузкам, коррозионным воздействиям и т.п. При этом сложность и многофакторность ведения технологического процесса не всегда обеспечивает стабильность расчетных эксплуатационных нагрузок. В связи с этим, проектирование кожуха доменной печи напрямую связано с пониманием технологии доменного производства, назначения и работы оборудования, а также взаимного влияния всех строительных и технологических факторов, определяющих характер и величину передаваемых ими нагрузок и воздействий.

Основной характерной особенностью процесса доменной плавки является его идеализируемая непрерывность, что, при соблюдении условия стабильности, должно было бы обуславливать стационарный характер нагрузок и воздействий, воспринимаемых конструкциями печи в процессе эксплуатации.

Однако реальный доменный процесс, несмотря на его действительную непрерывность, носит весьма нестабильный характер, что приводит в процессе эксплуатации печи к нестационарному характеру основных нагрузок как по величине, так и по зоне их максимального воздействия.

Нестационарность технологического процесса в первую очередь связана с его основным противоречием, заключающимся в непрерывности доменной плавки с одной стороны и периодичности загрузки печи и выпуска жидких продуктов плавки – с другой (см. таблицу 1). Это обстоятельство в значительной степени влияет на газодинамические и тепловые процессы внутри печи, изменяя нагрузки и воздействия по величине и району возникновения.

Таблица 1

Объем печи, м^3	1000	1000–1700	2000	2700	3200	5000
Ориентировочное число выпусков чугуна в сутки	4–5	6–7	8–12	14–16	18–20	20–24

© Король В.Н., Гезенцвей Е.И., Иосилевич Е.С.

Среди других причин, нарушающих стационарный характер нагрузок, можно отметить:

- остановку печи на ремонт;
- выплавку различных видов чугуна, что приводит к существенному изменению как теплового, так и газодинамического состояния печи.

Кроме того, возникают ситуации, вызванные нарушением технологического процесса и приводящие к возникновению дополнительных нагрузок на металлоконструкции кожуха печи:

- перекос уровня шихты в печи, приводящий к неравномерному одностороннему нагреву кладки;
- подвисание шихтовых материалов с дальнейшим их обрушением;
- настылеобразование;
- образование тепловых пятен, приводящее к появлению зон двухосного сжатия;
- изменение направления движения газов внутри печи (канальный, периферийный ход газов).

За время кампании печи (т.е. за время, исчисляемое от ее задувки до капитального ремонта I-го разряда, составляющее, как правило, 10–15 лет) происходит существенное разрушение огнеупорной кладки, просыпание набойки, выход из строя значительного числа холодильников, что вызывает перегрев и связанное с этим снижение прочностных характеристик стали. По имеющимся данным [1, 2] разогрев отдельных зон кожуха достигает 300–600 °С.

В монографии [3] приведены результаты расчетно-теоретических исследований кожухов доменных печей в районе чугунной летки, в зоне ослаблений фурменными отверстиями, а также в зоне крепления плитового вертикального холодильника при выходе его из строя, результаты которых приведены в таблице 2.

Кроме того, при длительных и повторяющихся температурных воздействиях в сварных соединениях кожуха развиваются процессы охрупчивания металла, которые при наличии двухосного и трехосного напряженного состояния повышают риск хрупкого разрушения. Одной из причин снижения характеристик сопротивления хрупкому трещинообразованию является развитие в металле тепловой хрупкости в процессе эксплуатации при температурах свыше 300 °С.

Таблица 2

Фактор	Коэффициенты концентрации напряжений	
	кольцевых	меридиональных
Ослабление фурменными отверстиями	2,82	1,26
Ослабление в зоне чугунной летки	2,13	0,87
Зона крепления плитового вертикального холодильника при выходе его из строя и нагреве до:		
600 °С	4,47	7,95
800 °С	5,96	10,6
1000 °С	7,45	13,25

Кожух доменной печи может длительное время эксплуатироваться в экстремальных условиях «пиковых» воздействий, вызывающих значительные напряжения, иногда превышающие предел текучести металла. Так, натурные экспериментальные исследования показывают, что на ряде печей при средних измеренных напряжениях в кожухе лещади и горна, обычно составляющих 200–250 МПа, в районе чугунной летки возникают местные деформации, соответствующие растягивающим напряжениям на уровне 450 МПа.

Это может стать причиной сравнительно невысокой длительности эксплуатации сооружения и создать условия для возникновения непредсказуемых ситуаций, а также увеличивает вероятность возникновения трещин и других повреждений, приводящих к его частичному, а иногда и значительному повреждению.

Анализ эксплуатации объектов металлургических предприятий показывает, что на доменное производство приходится более 26 % всех аварий. При этом почти 15 % из них происходят из-за повреждений кожухов доменных печей [4].

Дополнительный ориентировочный уровень напряжений, вызванный некоторыми дефектами, возникшими в результате неудовлетворительного качества монтажа и нарушения нормального режима эксплуатации [4], приведен в таблице 3.

Наиболее опасным видом повреждений для кожуха доменной печи являются трещины, поскольку, учитывая наличие избыточного внутреннего давления, их возникновение может привести к аварийной ситуации.

Таблица 3

Дефекты конструкции или воздействие на нее	Дополнительные напряжения, МПа
Местный перегрев кожуха до 300 °С	80
Местный перегрев кожуха до 500–700 °С	150–200
Депланации стыков в листах до 5 мм	30
Оставленные при монтаже футерованных кожухов скобы и кронштейны	80–150
Уменьшение компенсационного слоя в футеровке на 20–25 мм	70–80
Подрез глубиной 0,5 мм радиусом 0,25 мм для толщины листа 20 мм	Коэффициент концентрации напряжений 3,6

Согласно данным [5], места возникновения опасных трещин локализуются по зонам кожуха следующим образом:

- зона горна и чугунных леток – 65 %;
- заплечики – 16 %;
- шахта – 19 %.

Также часто возникают трещины в кожухе лещади, располагающиеся, как правило, вертикально и зачастую проходящие по всей ее высоте. Такие трещины особенно опасны, поскольку плохо поддаются ремонту (после заварки через короткий промежуток времени появляются вновь) и могут привести к прорыву жидкого чугуна, что, как правило, вызывает значительное повреждение не только кожуха, но и окружающих конструкций.

Восстановление доменных печей после аварий связано с длительными остановками производства, значительными потерями продукции и большими капиталовложениями, что существенно усложняет проблему обеспечения длительной прочности кожуха печи.

Учитывая вышеизложенное, особое значение при проектировании металлоконструкций таких сооружений, как кожух доменной печи приобретает выбор материала, максимально соответствующего по свойствам сложным условиям его эксплуатации.

Кроме обеспечения прочностных свойств, сталь для кожуха доменной печи должна воспринимать расчетные напряжения, в том числе и «пиковые», без возникновения хрупкого разрушения. Поскольку хрупкое разрушение не прогнозируется при традиционных расчетах конструкций на прочность, для наиболее ответственных конструкций, таких как кожух доменной печи, должна выбираться сталь с малой склонностью к хрупкому разрушению, основным показателем которого является показатель ударной вязкости. Согласно данным [4], независимо от климатической температуры района строительства и температуры эксплуатации для кожухов доменных печей применяется сталь с гарантированным показателем ударной вязкости не менее 0,3 МДж/м^2 на образцах KCU при температуре –40 °С. Кроме того, сталь должна обладать хорошей свариваемостью.

Таблица 4

Влияние химических элементов на свойства стали

Показатель	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	V	Mb	Ti	Al
Механические свойства												
Временное сопротивление	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Предел текучести	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Относительное удлинение	=	–	–	=	0	0	0	0	–	–	0	0
Ударная вязкость	–	=	–	=	–	+	+	0	0	0	–	0
Твердость	++	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	0
Усталостная прочность	+	0	0	0	0	0	0	0	++	++	0	0
Технологические свойства												
Свариваемость	–	–	0	–	0	0	0	–	+	+	+	0
Стойкость против коррозии	0	–	+	+	0	+	+	++	+	+	0	0
Хладноломкость	0	0	0	+	0	–	–	–	0	0	0	0
Красноломкость	+	+	0	0	+	0	0	0	0	–	0	0
Сохранение микрозернистой структуры при нагреве	0	0	0	0	0	0	++	0	++	0	++	++
Сопротивление охрупчиванию при нагревании	0	++	0	0	0	++	++	+	0	++	0	0

Условные обозначения: ++ – значительно повышает; + – повышает; = – значительно снижает; – – снижает; 0 – не оказывает влияния;

Поскольку сталь фактически является сплавом железа, углерода и других примесей, существенное влияние на ее механические и технологические свойства оказывает химический состав. В таблице 4 приведены данные о качественном влиянии на свойства стали различных химических элементов [6].

Кроме того, высокие температуры негативно влияют на физико-механические свойства стали, при нагревании наблюдается заметное снижение механических характеристик. Значения расчетного сопротивления стали марки 09Г2С при изменении температуры по данным [4] приведены в таблице 5.

Таблица 5

Температура, °С	Расчетное сопротивление, МПа
20	290
200	230
250	220
300	200
350	180
400	150
450	100
500	–

Наиболее широко применяемая в практике проектирования кожухов сталь класса С345-3 (марка 09Г2С-12) по ГОСТ 19281-89 при толщине листов 30–50 мм не в полной мере удовлетворяет всем указанным требованиям. При обеспечении достаточного уровня прочности по приведенным расчетным напряжениям, в местах возникновения зон повышенных локальных напряжений предел текучести стали бывает превышен.

В зарубежной практике проектирования (США) кожухи доменных печей объемом 3200–4000 м^3, как правило, выполняются из листов толщиной 75 мм из сталей с пределом текучести 380–620 МПа. Для печей меньшего объема толщина кожуха составляет 40–60 мм.

ООО «Метинвест инжиниринг» при проектировании замены кожуха доменной печи объемом 2000 м^3 для ДП № 3 ЧАО «Азовсталь» были проведены расчетно-теоретические исследования его напряженно-деформированного состояния, которые показали, что при применении для металлоконструкций стали марки 09Г2С уже при нагреве до 200 °С прочность в зоне лещади не обеспечивается (т.е. при возникновении зон локального перегрева кожуха весьма вероятно возникновение аварийной ситуации).

Учитывая все изложенные выше аспекты, была предложена экономлегированная сталь марки 06Г2Б класса прочности С440 по ТУ У 27.1-26416904-150:2005 толщиной 40–50 мм.

Сталь разработана украинским НИИ конструкционных материалов «Прометей», Институтом электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины совместно с ЧАО «Азовсталь». Ранее сталь применялась при капитальном ремонте доменной печи № 9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», при строительстве доменной печи № 2 ЧАО «Азовсталь», а также при строительстве резервуара для хранения нефти объемом 75000 м^3 в г. Броды и серии резервуаров объемом 20000 м^3.

Таблица 6

Химический состав сталей, применяемых для ответственных металлоконструкций

Марка стали	Нормативный документ	Класс прочности	Массовая доля элементов, %						
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S
09Г2С	ГОСТ 19281-89	295–345	≤0,12	0,05–0,08	1,3–1,7	≤0,3	≤0,3	0,15–0,3	≤0,04
10ХСНД		390	≤0,12	0,8–1,1	0,5–0,8	0,6–0,9	0,5–0,8	0,4–0,6	≤0,04
06ГБ	ТУ У 27.1-26416904-150:2005	390	0,04–0,09	0,15–0,35	1,1–1,4	≤0,25	≤0,25	≤0,14	≤0,01
06Г2Б		440			1,3–1,6				
		490			1,5–1,7				

Марка стали	Нормативный документ	Класс прочности	Массовая доля элементов, %						
			P	Nb	Ti	Mo	V	N	Прочие
09Г2С	ГОСТ 19281-89	295–345	≤ 0,035	–	≤0,03	–	–	–	–
10ХСНД		390	≤ 0,035	–	≤0.03	–	–	–	–
06ГБ	ТУ У 27.1-26416904-150:2005	390	≤0,02	0,01–0,03	≤0,02	0,01–0,2	≤0,07	≤ 0,012	≥0,001Ca 0,02–0,05 Al
06Г2Б		440		0,03–0,05		0,05–0,2	0,04–0,07		
		490							

Сталь марки 06Г2Б имеет высокие прочностные показатели и ударную вязкость, низкую способность к механическому старению. Листовой прокат из этой стали отличается высокой сопротивляемостью ламелярному растрескиванию (Z-свойства) и гарантированными показателями сплошности [7]. К преимуществам стали 06Г2Б также относится низкое содержание примесей, за счет чего снижается образование горячих трещин при сварке и повышается хладостойкость и коррозионная стойкость.

Таблица 7

Механические свойства сталей, применяемых для ответственных металлоконструкций

Марка стали	Нормативный документ	Класс прочности	Толщина металла, мм	$\sigma_т$, МПа	δ, %	KCU, Дж/см^2		
						–40 °С	–70 °С	после мех. старения (+20 °С)
09Г2С	ГОСТ 19281-89	295	20–60	295	21	29	24	29
		325	20–60	325		29	24	
		345	20–32	345		29	29	
10ХСНД		390	до 10	390	19	44	34	29
			10–15			39	29	
			15–40			39	29	
06ГБ	ТУ У 27.1-26416904-150:2005	390	8–50	390	22	–	–	–
06Г2Б		440		440	22			
		490		490	20			

Таблица 7а

Марка стали	Нормативный документ	Класс прочности	Толщина металла, мм	KCV, Дж/см^2					
				0 °С	–20 °С	–40 °С	–60 °С	–70 °С	после мех. старения
09Г2С	ГОСТ 19281-89	295	20–32	–	–	–	–	–	–
		325	10–20						
		345	до 10						
10ХСНД		390	до 10	–	–	–	–	–	–
			10–15	40	–				
			15–40	40	40				
06ГБ	ТУ У 27.1-26416904-150:2005	390	8–50	–	–	98	78	59	39
06Г2Б		440							
		490							

Таблица 8

Механические свойства сварных соединений (при толщине проката 30 мм)

Способ сварки	Сварочные материалы	Сварное соединение			Металл шва			
		$\sigma_в$, МПа	место разрыва	угол загиба, град.	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ_5, %	ψ, %
Автоматическая под флюсом	Св-10НМА, АН-47	527 538	ОМ ОМ	180 180	624 638	537 572	23	66
Автоматическая в CO_2 (горизонтальные швы на вертикальной плоскости)	Св-08Г2С, CO_2	540 532	ОМ ОМ	150 62	690 693 600	624 636 492	19 22 20	64 67 67
Полуавтоматическая в CO_2	Св-08Г2С, CO_2	–	–	–	575 563	461 445	27 29	73 69
Ручная дуговая	Электроды УОНИ 13/55	542 531	ОМ ОМ	148 150	568 617	454 541	25 20	73 75
	Электроды FOX EV 50	585 627	ОМ ОМ	180 180	577 604	471 514	28 32	76 77

Таблица 9

Ударная вязкость металла шва и ЗТВ сварных соединений (при толщине проката 30 мм)

Способ сварки	Сварочные материалы	KCV, Дж/см^2			
		+20 °С		–40 °С	
		центр шва	ЗТВ	центр шва	ЗТВ
Автоматическая под флюсом	Св-10НМА, АН-47	125 142 100	431 226 285	34 36 36	233 195 195
Автоматическая в CO_2 (горизонтальные швы на вертикальной плоскости)	Св-08Г2С, CO_2	164 182 132	432 433 431	114 89 41	432 429 430
Полуавтоматическая в CO_2	Св-08Г2С, CO_2	189 172	244 302	99 107 76	143 119 131
Ручная дуговая	Электроды УОНИ 13/55	118 141 158	107 299 431	55 50 29	208 302
	Электроды FOX EV 50	–	355 369 362	–	324 373 352

Сравнительные характеристики химического состава и механических свойств различных марок сталей, применяемых для ответственных металлоконструкций, приведены в таблицах 6, 7, 7а.

Одним из важнейших технологических свойств стали для кожуха доменной печи является свариваемость. Исследования, проведенные в ИЭС им Е.О. Патона, показали, что прокат из стали 06Г2Б обладает хорошей свариваемостью. Результаты испытаний сварных соединений на растяжение и ударную вязкость [7] представлены в таблицах 8 и 9.

Выводы. Экономлегированная сталь повышенной прочности 06Г2Б по ТУ У 27.1-26416904-150:2005 выгодно отличается от сталей, обычно применяемых в отечественном домностроении. В ней сочетаются высокая прочность и ударная вязкость за счет ограничения содержания углерода, серы, фосфора, микролегирования ниобием, ванадием и молибденом в оптимальном соотношении, модифицирующей обработки кальцийсодержащими реагентами, а также максимального измельчения структуры при термоулучшении или термической обработке.

Благодаря химической и структурной однородности сталь 06Г2Б имеет высокие прочностные характеристики в направлениях *x*, *y* и *z*. Металл не теряет своих свойств после механического старения, имеет хорошие характеристики свариваемости, технологичен при использовании в условиях монтажной площадки. Неоспоримым преимуществом стали 06Г2Б также является низкое содержание примесей, за счет чего снижается склонность к образованию горячих трещин при сварке, повышается коррозионная стойкость и хладостойкость.

Учитывая изложенное, экономлегированная сталь марки 06Г2Б по ТУ У 27.1-26416904-150:2005 утверждена для изготовления кожуха реконструируемой ДП № 3 ЧАО «Азовсталь» и может быть рекомендована для применения в подобных конструкциях.

[1] *Кандаков Г.П., Горицкий В.М., Шнейдеров Г.Р., Мартынчук В.Д.* Повышение надежности и ресурса кожухов доменных печей на основе оценки и прогнозирования состояния металла // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 4. – С. 6–9.

[2] *Востров В.К.* Трещиностойкость и долговечность кожухов доменных печей и воздухонагревателей // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 11. – С. 40–43.

[3] *Байшев Ю.Л.* Доменные печи и воздухонагреватели (конструкции, эксплуатационные воздействия, свойства материалов, расчеты): Научное издание / Уральское отделение РАН. – Екатеринбург, 1996. – 993 с.

[4] *Любин А.Е.* Металлические конструкции сооружений комплекса доменной печи. Проектирование, эксплуатация, диагностика технического состояния – К.: вид-во «Сталь», 2010. – 471 с.

[5] *Миллер В.Я., Корчагин В.А., Толоконников В.Г.* Стальные конструкции комплекса доменной печи и газоочистки. – М.: Стройиздат, 1965. – 275 с.

[6] *Мельников Н.П., Зелятров В.Н.* Выбор стали для строительных конструкций – М.: Стройиздат, 1967. – 135 с.

[7] *Ковтуненко В.А., Герасименко А.М., Гоцуляк А.А.* Выбор стали для ответственных сварных строительных конструкций // Автоматическая сварка. – 2006. – № 11. – С. 32–37.

Надійшла 10.05.2017 р.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ СТРУКТУРА СОВРЕМЕННЫХ МОДУЛЕЙ АЭРОВОКЗАЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ



Касим Мухаммед Басим
аспирант архитектурного факультета Киевского национального университета строительства и архитектуры

Существующие здания аэропортов уже не удовлетворяют всевозрастающих требований к функционально-планировочной организации и архитектурно-пространственным решениям высокотехнологичных аэропортов и аэровокзальных комплексов. Именно поэтому во всем мире на протяжении последних десятилетий начали появляться абсолютно новые здания аэропортов, проектирование и строительство которых основано на некоторых основных формообразующих принципах: комфортность перелетов и пребывания пассажиров в аэропортах; технологичность (полное функционально-технологическое соответствие внутренних процессов); безопасность полетов и пребывания в аэропортах; эффективность и быстрота обслуживания пассажиров и транспортных перевозок; полное соответствие современным IT-технологиям всего компьютерного и технического оснащения; энергоэффективные и энергосберегающие технологии, адаптированные в новые здания аэропортов и аэровокзальных комплексов. Современный аэропорт – это сложное авиатранспортное предприятие, которое обеспечивает быстрое, безопасное и эффективное систематическое (или чартерное) передвижение по воздуху пассажиров, транспортировку багажа, почты, разнообразных грузов, осуществляет отправление и прием летательных аппаратов, используя дополнительные технические средства, необходимые для их взлета и посадки, а также технического обслуживания и ремонта. В структуру аэропорта входят аэровокзалы и взлетно-посадочная полоса (ВПП). Аэровокзальный комплекс состоит из аэровокзалов (часто сблокированных старых и новых корпусов) и зданий для хранения, приема и отправки грузов и почты, а также подъездных шоссейных и железных дорог, станций наземного транспорта; метро и автостоянок. Проектирование и строительство современных аэропортов позволяет классифицировать их здания в соответствии с величиной (размером), вместимостью, назначением, функциями, типом самолетов, которые они могут принимать и обслуживать.

Среди основных видов транспорта – морской, речной, железнодорожный, автомобильный, авиационный – именно авиационный транспорт является наиболее быстрым и перспективным. Разнообразие современных летательных аппаратов, а также стремительное увеличение числа средних и больших самолетов на международных авиалиниях и внутригосударственных рейсах стимулирует потребность в проектировании и строительстве большого количества новых аэропортов, оснащенных по последнему слову техники и отвечающих самым высоким требованиям комфорта и безопасности полетов.

Главным определяющим критерием, которым руководствуются проектировщики при выборе места расположения аэропорта, является наличие достаточно большого горизонтального участка земли на сравнительном удалении от города для обеспечения их обоюдного перспективного развития. Аэропорты и аэровокзальные комплексы должны располагаться в равнинной местности, свободной от искусственных и природных препятствий (ЛЭП, горы, возвышенности). Поскольку малые, большие и средние аэропорты размещаются на значительном удалении от городов-«магнитов», которые они обслуживают, важное значение приобретают подъездные дороги, связывающие эти города с комплексами аэропортов. Из-за значительного шума двигателей самолетов в районе аэропорта к строительству всех зданий комплекса предъявляются жесткие нормативные требования. Строительство любого здания или комплекса подобного уровня и их техническое наполнение требуют наличия технико-экономического обоснования.

Аэровокзалы и аэровокзальный комплекс (АВК) относятся к транспортному типу общественных зданий [3, 4] и предназначены для комплексного обслуживания пассажиров воздушного транспорта, провожающих, встречающих, а также транспортировки различных грузов. Основным технико-производственным показателем аэропорта является его мощность (про-

© Касим Мухаммед Басим

пускная способность), которая определяется количеством пассажиров, которых может обслужить аэровокзал в течение определенного периода времени (года, месяца, часа). Пропускная способность аэровокзальных зданий принимается за расчетный час «пик». Необходимая пропускная способность АВК определяется исходя из планируемого годового объема перевозок на расчетный год эксплуатации. В зависимости от пропускной способности аэровокзалы подразделяются на следующие группы (пасс/ч): малые (до 400); средние (от 400–1200); большие (от 1200–2000); АВК (комплексы – более 2000).

Классификацию терминалов и аэровокзалов необходимо осуществлять на основе их систематизации по различным признакам, а именно:

- большие, средние, малые;
- частные или государственные;
- коммерческие, некоммерческие;
- военные или гражданские;
- типы обслуживаемых самолетов;
- регулярность авиаперевозок (расписание или чартерные рейсы);
- наличие таможни, охраны, служб иммиграции, инспекций, необходимых для обслуживания международных авиаперевозок;
- наличие средств и сооружений для отправки, транспортировки и хранения грузов (рис. 1).

Авиационная отрасль и сфера авиаперевозок наиболее развита в США, Европе и Японии, где построены самые крупные аэропорты в мире. Их внутренняя функционально-планировочная структура максимально соответствует современным международным требованиям и местным нормам проектирования. Например, пропускная способность большинства аэропортов США составляет 100–120 операций взлета и посадки в час при хорошей погоде и снижается до 40 операций в час (в расчете на одну ВПП) в условиях плохой видимости. Для ведущих авиакомпаний мира главным сегодня является триединый лозунг современных перевозок грузов и пассажиров: безопасность – быстрота – комфортность.

Управление движением самолетов в контролируемом воздушном пространстве аэровокзального комплекса осуществляется с использованием радиолокационных станций совместно с техническим оснащением бортовых систем предупреждения столкновений с системами определения близости земли, сохранения необходимого удаления сопровождаемого самолета от других самолетов и от поверхности земли.

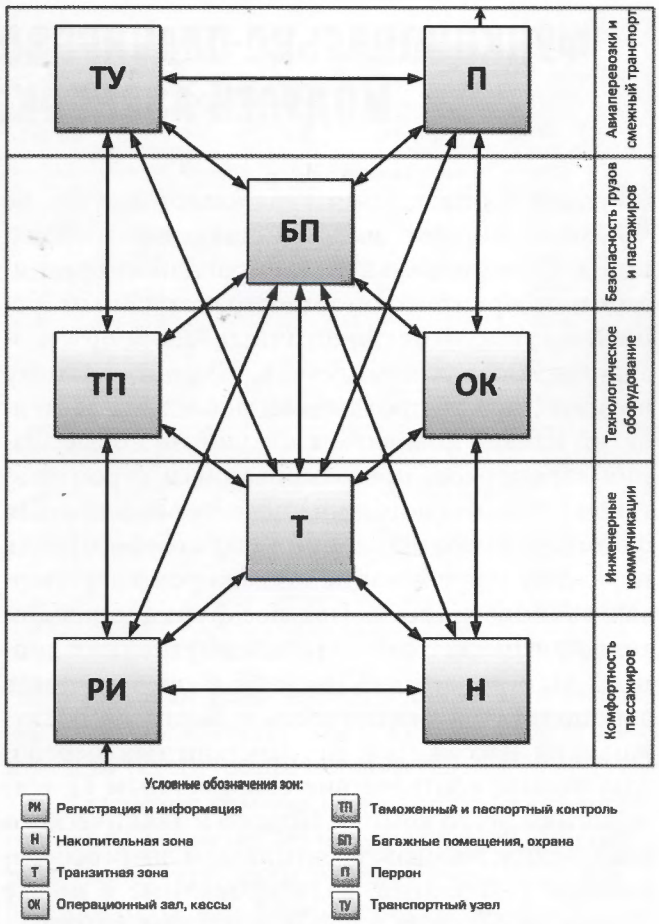


Рис. 1. Структура функциональных взаимосвязей аэровокзальных терминалов

На основе предварительного анализа зарубежного и отечественного опыта проектирования и строительства аэропортов можно выделить ряд основных градообразующих факторов, непосредственно влияющих на принятие решения об их проектировании:

- острая потребность народного хозяйства в авиационном транспорте;
- сложившаяся благоприятная градостроительная ситуация;
- наличие сопутствующих отраслей промышленности в непосредственной близости от аэропорта;
- соответствующий уровень развития науки и техники в стране;
- наличие необходимой инфраструктуры, а также проектно-строительной базы и местных строительных материалов.

Перед началом планирования работ и проектирования аэропорта (аэровокзального комплекса) архитекторам необходимо спрогнозировать будущий уровень развития обслуживаемого региона. При прогнозировании нового строи-

тельства следует учитывать разнообразные факторы, такие как ожидаемое число рейсов, интенсивность пассажиропотоков, количество перевозимых грузов, тенденции перспективного экономического развития региона, демографическая ситуация, рост и подвижность населения и т.д.

При прогнозировании перспективных перевозок наиболее важной оцениваемой характеристикой является годовой (сезонный и месячный) объем пассажирских потоков и грузоперевозок.

Многие страны мира не имеют своей авиационной и авиастроительной промышленности и используют авиаборты импортного производства. Эти самолеты проектируются и строятся по всемирно принятым нормам, поэтому имеют соответствующие этим нормам параметры и вес. Особенности устройства самолетов, точки высадки пассажиров, ограничение шума двигателей, вес самолетов непосредственно влияют на специфику организации функционально-планировочной структуры самих аэровокзалов, аэродромов и ВПП.

Планирование и проектирование аэропортов предусматривает учет самолетовылетов, определение максимальных нагрузок в часы «пик», категории суммарного пассажиропотока, расчет вместимости автостоянок, ширину автодорог и размеры транспортных развязок. В процессе планирования развития аэропорта рассчитывается число пассажиров на международных авиалиниях, время прибытия и отправления рейсов, периоды работы таможенных и иммиграционных служб.

Планирование пассажирских и грузовых аэровокзалов и аэровокзальных комплексов выполняется с учетом их четкой взаимосвязи с другими (обслуживающими) зданиями аэропорта, площадками-стоянками для самолетов, подъездными дорогами, вспомогательными средствами и обслуживающей инфраструктурой.

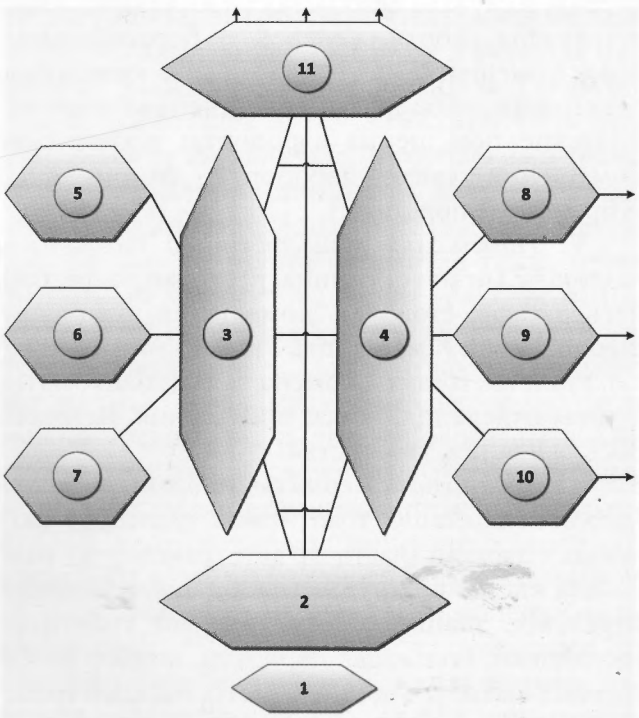
Аэровокзальный комплекс в составе всего аэропорта является основным связующим звеном между наземными видами транспорта и воздушными судами. По архитектурно-пространственному решению современные аэровокзалы бывают: точечными, линейными, развитой структуры, периметральными.

Предлагаемая номенклатура помещений АВК:

I. *Входная группа (входной портал)*: централизованный вестибюль; гардеробная; информация (информационное табло), рецепшн; регистрация билетов; камера хранения.

II. *Группа основных помещений*

II.1. Терминальная (децентрализованная) форма (рис. 2): 1, 2 – накопительная зона; 2 – информационное табло; 3 – стойки приема багажа; 4 – система обработки багажа; 5 – преддосмотровая зона; 6 – паспортный контроль; 7 – таможенный досмотр; пункт спецконтроля; помещения (кабина) личного досмотра; 8 – зона ожидания; 9 – операционный зал, терминалы, кассы; 10 – внутренний межвокзальный транзит; 11 – посадочный павильон; перронная галерея (перрон ↔ автобус); телескопический трап.



Обязательные помещения общественного назначения

Рис. 2. Функциональные взаимосвязи основных зон терминальных комплексов

II.2. Классическая форма (централизованный тип): накопители; залы прилета (прилетающих пассажиров), вылета (вылетающих пассажиров), транзитных пассажиров, общий (зал ожидания, зона ожидания, второй свет); регистрация пассажиров; кассы, киоски; багажные помещения (стойки приема багажа), багажная лента, сортировка багажа, выдача багажа; выдача почтовых посылок (почта); служебные помещения; туалетные комнаты.

II.3. Дополнительные помещения (децентрализованная форма): конторы авиакомпаний; помещения для переговоров; зона «ВИП» (дьюти фри) и «интуриста»; офисы коммерческих компаний (субаренда); служебные помещения; парикмахерская, туалетные комнаты.

III. *Группа вспомогательных (обслуживающих) помещений*: справочное бюро; помещения дополнительного обслуживания; регистрация чартерных рейсов; детские спальные и игровые комнаты; медпункт (1-й этаж); бытовое обслуживание и мелкий ремонт; парикмахерская, киоски, почта (современная связь, WI-FI, скайп, отправление посылок, корреспонденции.

IV. *Группа дополнительных технических помещений*: помещения технического персонала; комната психологической разгрузки; цех бортпитания (упаковки и погрузки); помещения охраны и службы безопасности аэропорта; класс техслужбы (бортинженеров и бортпроводников); помещение погранслужбы и кинологов; электрощитовая; венткамеры; специальные технические помещения аэропорта; технические помещения связи аэропорта; башня КДП (управление полетами).

V. *Помещения общественного питания и торговли*: мини-гостиница, ресторан, кафе, бар, летнее кафе, столовая, помещения кухни, пищеблок, буфет, магазины, киоски, мини-маркеты, туалеты; пункты обмена валют; банкоматы; офисы отделения банка; помещения бытового обслуживания, химчистка.

VI. *Группа помещений смежного транспортного обслуживания*: транзитный транспорт (ж/д вокзал); паркинг (частного автотранспорта); рампа для въезда в паркинг (на крыше, в подвале, отдельное здание); общественный транспорт (остановки, подъезды, парковки, подбор пассажиров); выходы к остановкам городского транспорта (вертикальные и горизонтальные коммуникации: лестницы, эскалаторы, движущиеся дорожки, пандусы); остановки такси и маршруток; стоянки и парковки экскурсионного транспорта.

Общеизвестно, что в проектировании и строительстве современных аэропортов и аэровокзальных комплексов (АВК) наметилось несколько основных формообразующих тенденций, обусловленных современным уровнем социально-экономического и научно-технического развития общества, а также насущными требованиями комплексной безопасности полетов, пассажиров, грузов и обслуживающего персонала. В связи с этим, прослеживаются два основных взаимодополняющих аспекта в архитектурной организации аэровокзалов:

- укрупнение объемов, связанное с развитием архитектурно-планировочной структуры и объемно-пространственной пластики образа, с высоким уровнем развития современных конструкций и конструктивных систем, которые эту пластику позволяют развивать практически неограниченно;
- сокращение времени на регистрацию, а, следовательно, и пути прохождения таможенного досмотра потенциальным пассажиром.

Эти два направления не противоречат друг другу, а взаимодополняют и полностью соответствуют современным требованиям технического оснащения и модернизации всех без исключения процессов, происходящих в аэропорту и способствующих повышению качества, комфорта, быстроты и безопасности обслуживания клиентов. Известный американский архитектор Вальтер Прокош – автор аэровокзала «Пан-Американ» в аэропорту Кеннеди – писал в своей книге «Проектирование аэропортов», что при проектировании аэровокзалов сталкиваются две концепции – централизации и децентрализации.

В истории современных аэропортов можно выделить два основных направления развития объемно-пространственного и функционально-планировочного решения АВК:

- *централизация* – выражающая стремление зодчих собрать окончательное решение АВК в единое целое, перенаправив все существующие блоки в условный композиционный центр (в большинстве случаев – это зал ожидания);
- *децентрализация* – попытка проектировщиков собрать в единое композиционное целое (комплекс) довольно разрозненные функциональные блоки, элементы, играющие свои определенные специфические роли, связанные, в основном, с технологическими особенностями жизнедеятельности аэропорта, но имеющие статус полноценного отдельного предприятия (например, заправка авиатранспорта, сортировка грузов, управление полетами, уборка территории и т.п.).

Обе эти тенденции отразились непосредственно на образе и окончательном объемно-пространственном решении большинства современных аэропортов, организацию пространства которых можно вписать в следующие схемы: точечные, линейные, периметральные (или круговые), комплексные и развитой структуры. Безусловно, аэропорты бывают первых трех типов, а два последних более характерны для АВК, как более сложной и развитой в объемно-пространственном отношении структуры.

Урбанистическая идея объединения аэропортов с межгородской и внутригородской системами транспорта не покажется утопической, если принять во внимание современные глобалистические тенденции в формировании архитектуры:

- укрупнение;
- фетишизация образа здания;
- поиск бионических или фрактальных идей свободного развития пластики фасада и структуры плана;
- технизация и компьютеризация всех функциональных процессов;
- развитие огромных открытых и перетекающих пространств в интерьере;
- создание совершенных транспортных узлов, решающих проблему эффективного перераспределения транспортных и пассажиропотоков на разных уровнях.

Тут представляется эффективным органическое включение аэропорта в транспортную структуру современного города на стыке городской и пригородной территории, а не проектирование его на большом удалении от города, поскольку в мире наметилась общая тенденция не только к укрупнению самих городов (более 5–15 млн.чел.), но и к уплотнению сетки транспортных коммуникаций, а также к увеличению числа разновеликих аэропортов в одном крупном городе. Ярким примером чему могут послужить большие и крупные города США, где очень развита сеть разноуровневого авиатранспорта: международные авиаперевозки; трансатлантические авиарейсы; местные перевозки; чартерные рейсы и т.п. Большинство крупных и очень больших городов Северной Америки (а это в основном Восточное побережье США или Западное побережье Атлантики) ближайшие 20 лет будут иметь острую потребность в развитии подобных авиакомплексов, органично включенных в транспортную структуру современных городов. Общеизвестно, что рынок формирует спрос. Поэтому пассажиры будут нуждаться в организации эффективной, безопасной и комфортной системы авиационного транспорта и его органической связи с городским транспортом (города прибытия или убытия пассажиров).

Длинные коммуникационные и транспортные связи становятся невыгодными ни по финансовым соображениям, ни по времени транспортировки из-за всеувеличивающейся стоимости энергоносителей и топлива. В связи с этим, проблемы эффективности транспорта, скорее всего, могут быть решены частично архитектурными и градостроительными методами, приближая вокзалы к городу и включая их в систему общегородского транспорта. Таким образом, ближайшие 25 лет возможно частичное объединение аэровокзалов с городскими транспортными узлами (станциями, иными вокзалами, местами пересадок пассажиров, многоуровневыми коммуникациями), а также приоритетными многоуровневыми транспортными развязками на уровне аркологии и урбанистических тенденций создания города будущего, мегаполиса. Заглядывая в недалекое будущее, можно предположить, что аэровокзалы и АВК станут еще более сложными транспортными узлами и образованиями, идущими в ногу со все более и более развивающимися средствами технического и компьютерного обеспечения всех технологических процессов. Модернизация внутреннего оборудования и технического оснащения – это только малая толика того, что может ожидать аэропорты и АВК при расширенной реконструкции их комплексов (реконструкция с модернизацией, с расширением: надстройкой, пристройкой и т.п.). Увеличение общего пассажиропотока может инициировать не только реконструкцию аэропорта, но и его модернизацию (переоснащение) с последующим расширением площадей, вплоть до создания целого комплекса АВК, состоящего как минимум из нового и старого зданий аэропорта.

[1] *Голубев Г.Е.* Современные вокзалы / Г.Е. Голубев, Г.М. Анджелини, А.Ф. Модоров. – М.: Стройиздат, – 1967.

[2] *Комский М.В.* Архитектура аэровокзалов нарастающей пропускной способности (поэтапное развитие объемно-планировочных решений зданий децентрализованного типа в аэропортах IV – III классов). Диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры/ М.В. Комский. – М.: МАИ. – 1977.

[3] *Локшин В.Г.* Аэровокзалы аэропортов / В.Г. Локшин, Н.М. Согомонян, Ю.И. Берлин – М,: изд. Транспорт. – 1966.

[4] *Предтеченский В.М.* Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков / В.М. Предтеченский, А.И. Милинский – М.: Стройиздат, 1969.

[5] *Филенков Ю.П.* Городские аэровокзалы (принципы организации сети обслуживания пассажиров и архитектурно-планировочные решения транспортных сооружений). Диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Ю.П. Филенков. – М.: ЦНИЭП жилища, М., 1967.

[6] *Hereford Peggy G.* New International Terminal for Los Angeles. Airport Forum, 1980. 10. № 5.

[7] *Kortan J.F.* Atlanta's New Central Passenger Terminal Complex. «Transp. Eng. J. ASCE. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng.», 1980, 106. № 6.

Надійшла 13.06.2017 р.

К 100-летию

ЯКОВА МОИСЕЕВИЧА ЛИХТАРНИКОВА

ВЫДАЮЩЕГОСЯ УЧЕНОГО В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛОСТРОИТЕЛЬСТВА, ПРОФЕССОРА, ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



(1917–1981)

Яков Моисеевич Лихтарников родился 30 декабря 1917 года в деревне Душелан, что в 25 км от с. Баргузин (Бурятия), в многодетной семье ссыльного поселенца. После окончания инженерно-строительного института (ИСИ) в г. Новосибирске (1942 г.) был направлен на Новосибирский завод «Стальконструкция», где прошел путь от инженера-конструктора до главного инженера. В 1948 г. Яков Моисеевич был переведен на Орский завод металлических конструкций (ЗМК) Минтяжстроя на должность главного инженера. В этот период формируются его научные интересы, направленные на совершенствование технологий изготовления строительных металлоконструкций. В 1953 г. под руководством проф. Н.С. Стрелецкого Яков Моисеевич подготовил кандидатскую диссертацию «Трудоемкость изготовления металлоконструкций промзданий и методика ее определения», которую успешно защитил в Московском ИСИ. В период с 1954 г. по 1956 г. работал главным инженером Донецкого ЗМК, преподавал на строительном факультете Донецкого политехнического института (ДПИ), а в 1956 г. возглавил созданную им кафедру «Строительные конструкции» ДПИ.

Яков Моисеевич исследовал взаимосвязь конструктивной формы, технологии и трудоемкости изготовления металлических конструкций, занимался разработкой методов технико-экономического анализа эффективности проектных решений. Много внимания он уделял оснащению кафедры современным оборудованием и приборами, созданию лабораторий для испытания новых материалов и технологий, стендов для изучения действительной работы фрагментов металлических ферм и железобетонных панелей. Яков Моисеевич существенно укрепил научно-техническое взаимодействие кафедры с предприятиями и научными центрами страны, привлекая выпускников кафедры к научным исследованиям. С целью обеспечения перспективных исследований в области металлостроительства при ДПИ была создана аспирантура, первыми выпускниками которой стали известные специалисты в области строительства Е.И. Зайцев, В.Г. Колесниченко, Е.В. Горохов.

Благодаря непосредственному взаимодействию кафедры с ведущими предприятиями-изготовителями металлоконструкций появились научные разработки, которые способствовали росту объемов производства эффективных конструкций из низколегированных и термоупрочнённых сталей холодногнутых профилей.

В 1968 г. Я.М. Лихтарников защитил докторскую диссертацию «Влияние конструктивной формы и технологии на трудоемкость изготовления стальных стержневых конструкций». Таким образом было завершено формирование научной школы, которую возглавил первый в Донбассе доктор технических наук в области металлостроительства Яков Моисеевич Лихтарников. С 1970 г. на кафедре «Строительные конструкции» по инициативе проф. Я.М. Лихтарникова начали готовить инженеров-строителей по специализации «Металлические конструкции», первый выпуск которых состоялся в 1972 г.

В дальнейшем Яков Моисеевич уделял много внимания вопросам создания и развития Макеевского ИСИ на базе строительного факультета ДПИ (1972 г.), подготовке научных кадров, совершенствованию конструктивной и технологической подготовки изготовления и монтажа строительных конструкций. Коллектив кафедры «Строительные конструкции» активно работал над совершенствованием формообразования конструкций по направлениям:

- изучение новых марок сталей, действительной работы трубчатых ферм, ферм из гнутых замкнутых профилей и их узлов, подкрановых балок;
- исследование технологии и трудоемкости изготовления решетчатых конструкций из гнутосварных профилей.

На базе Макеевского ИСИ была организована отраслевая научно-исследовательская лаборатория (ОНИЛ) оценки технико-экономических показателей изготовления металлоконструкций. Возглавил лабораторию д.т.н., проф. Я.М. Лихтарников.

Яков Моисеевич много внимания уделял вопросам учебно-методической работы на кафедре и организационному обеспечению практической подготовки студентов на предприятиях-изготовителях металлоконструкций. Он подготовил 12 кандидатов технических наук. Результаты его научно-исследовательской деятельности обобщены в 114 публикациях, монографиях, справочном пособии и в ряде нормативных документов.

Трудно переоценить вклад научной школы проф. Я.М. Лихтарникова в развитие теории проектирования экономичных конструкций, совершенствования методов определения технико-экономических показателей на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации строительных объектов и в создание в нашей стране новой отрасли по специализированному производству легких металлоконструкций комплектной поставки.

Методологические исследования Якова Моисеевича связаны с выбором базовых показателей качества при изготовлении металлоконструкций. Исследования строительных коэффициентов массы и трудоемкости изготовления конструкций предопределили формирование интегральной структуры рангов показателей качества (их весовых коэффициентов).

Теоретические разработки и практический опыт, накопленный базовой кафедрой «Строительные конструкции» под руководством Якова Моисеевича Лихтарникова, были использованы при создании кафедры «Строительство, техническая эксплуатация и реконструкция» (СТЭР) ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». Согласно договору о стратегическом партнерстве с ООО «Украинский институт стальных конструкций им. В.Н. Шимановского», кафедра СТЭР в новых условиях хозяйствования продолжает развивать квалиметрический подход к оценке комплексных показателей надежности и технологичности на основе экономических рисков, подготовке строительных кадров и специалистов высшей квалификации.

Традиции, заложенные Яковом Моисеевичем Лихтарниковым, сохраняются и преумножаются при организации учебно-методической и научной деятельности и в настоящее время. Его беззаветное служение науке, большие достижения во всех сферах многогранной деятельности этого талантливого ученого всегда будут служить ярким примером для преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов.

Светлая память об этом великом ученом, прекрасном организаторе, педагоге и просто замечательном человеке навсегда останется в сердцах тех, кто знал его, учился у него, работал с ним.

Клыков В.М., *канд. техн. наук, доцент*
Королёв В.П., *докт. техн. наук, профессор*
Рыженков А.А., *канд. техн. наук*

ДО ВІДОМА ДОПИСУВАЧІВ ЖУРНАЛУ !

Вимоги щодо публікації статей:

- Текст статті в електронному виді, авторська довідка (для наукових статей ще анотація мовою статті та англійською, ключові слова, УДК), підготовлені у Microsoft Word та фото авторів.
- Ілюстрації надаються підготовленими у Adobe Photoshop або Microsoft Word, Excel чи на паперових носіях для сканування. Формат надання – tif, eps, jpg, pcx, doc, docx – 300 dpi.
- Авторська довідка має містити наступні дані: прізвище, ім'я та по батькові повністю, місце роботи, посада, науковий ступінь, вчені звання, а також номер контактного телефону та електронну адресу.

ЖУРНАЛ МОЖНА ПЕРЕДПЛАТИТИ
У БУДЬ-ЯКОМУ ВІДДІЛЕННІ ДП «ПРЕСА»
(передплатний індекс – 98848)
АБО ЗАМОВИТИ У РЕДАКЦІЇ ЖУРНАЛУ

Видавець ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»

Рекомендовано до друку вченою радою ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського» (протокол № 4 від 07.12.2017 р.)

Адреса редакції та видавця: вул. В. Шимановського, 2/1, Київ, 02125, ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»
тел. (044) 516-52-85, 543-98-36 e-mail: redakpbis@urdisc.com.ua

Оригінал-макет підготовлений редакцією журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди»
Комп'ютерна верстка та дизайн – **Цапро Т.І.**
Дизайн обкладинки – **Артюшенко В.С.**

Підписано до друку 07.12.2017 р. Формат 60 × 84/8. Папір крейдяний. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 8,1.
Тираж 300 прим.
Віддруковано ТОВ «Поліпрінт», вул. Лугова, 1-А, м. Київ, 04074, тел. 464-17-91
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1250 від 22.02.2003 р.

* **Оформлення, стиль та зміст журналу є об'єктом авторського права і захищається законом**
* **Передрук розміщених у журналі матеріалів дозволяється тільки за письмовою згодою редакції**
* **Відповідальність за підбір та висвітлення фактів у статтях несуть автори**
* **За зміст реклами відповідає подавач**
* **Редакція не завжди поділяє думку авторів**
* **Редакція залишає за собою право редагувати та скорочувати подані матеріали**

Вітаємо із 90-річчям

ЗЛОБІНА
Геннадія Карповича

**знаного фахівця і організатора будівельного виробництва,
засновника і першого президента Академії будівництва України,
лауреата премії АБУ ім. академіка М.С. Буднікова,
заслуженого будівельника України,
лауреата Державної премії в галузі науки і техніки України,
іноземного члена Російської Академії архітектури
і будівельних наук, доктора будівництва АБУ, професора**



Геннадій Карпович Злобін народився в 1927 р. у м. Стаханові Луганської обл. у шахтарській родині. Після закінчення Харківського гірничого інституту працював на різних інженерних посадах. Пройшов шлях від начальника дільниці до начальника комбінату «Донбасантрацитшахтобуд».

Злобін Г.К. брав участь у будівництві багатьох вугільних шахт, збагачувальних фабрик, серед яких Новолавлівська-Східна, Червоний партизан, комсомольські шахти Суходольські № 1 і № 2, Дувана № 2, Молодогвардійська № 1 і № 2, Суходольська центральна збагачувальна фабрика, а також багатьох об'єктів соціального призначення.

У 1963–1964 рр. працював заступником Міністра Мінбуду УРСР, в 1964–1975 рр. – завідувачем відділу будівництва та комунального господарства ЦК Компартії України. Брав безпосередню участь у спорудженні заводів чорної металургії, об'єктів нафтохімії, азотних добрив, важкого машинобудування та інших галузей промисловості, а також у зведенні Палацу «Україна», Українського дому, музею Великої Вітчизняної війни у м. Києві та багатьох інших.

З 1975 по 1990 рр. Злобін Г.К. очолював Державний комітет у справах будівництва УРСР.

Під його керівництвом Комітет здійснював науково-технічну діяльність у будівельній галузі – розробляв генеральні плани і планувальну документацію для населених пунктів, проекти територіального розвитку; технічну документацію для житлового та соціального будівництва, окремі загальносоюзні галузеві нормативи, стандарти і технічні регламенти; виконував наукові дослідження щодо вдосконалення технологій будівельного виробництва, експертизу проектних рішень, контроль якісного ведення будівельних процесів, приймання завершених об'єктів. Особлива увага приділялась розвитку бази великопанельного будівництва житла та індустріалізації зведення промислових об'єктів.

У перші роки незалежної України Злобін Геннадій Карпович ініціював створення громадської організації нового типу – Академії будівництва України, яка об'єднала в своєму складі основний інтелектуальний потенціал галузі. З 1993 по 2015 роки обіймав посаду президента Академії.

Злобін Г.К. – автор низки видань. За його редакцією надруковано монографії: «Капітальне будівництво в Українській РСР» (1984), «Чорнобиль – післяаварійна програма будівництва» (1998) та ін. Він є головним редактором «Вісника» та часопису «Економіка будівництва» АБУ.

Злобін Г.К. нагороджений орденами Трудового Червоного Прапора (1964, 1966, 1973, 1986), Жовтневої Революції (1971), Дружби народів (1977), «За заслуги» III ступеня (1997), знаком «Шахтарська Слава» I, II, III ступенів Міністерства вугільної промисловості СРСР, відзнаками Уряду України. Обирався депутатом Верховної ради УРСР VII-XI скликань.

Щиро зичимо Геннадію Карповичу міцного здоров'я та гарного настрою!