ISSN 1996-8159

ПБіС

4'2021

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ



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.
Білик С.І., д.т.н., проф.
Гайдайчук В.В., д.т.н., проф.
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.
Лапенко О.І., д.т.н.
Лобанов Л.М., академік НАНУ, д.т.н., проф.
Оглобля О.І., д.т.н., проф.
Онищенко А.М., д.т.н., проф.
Пасечнюк В.Л.
Пічугін С.Ф., д.т.н., проф.
Харченко В.В., академік НАНУ, д.т.н., проф.
Шимановський О.В., член-кор. НАНУ, д.т.н., проф.

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА
на 2021 — 2022 роки

Абель Д., д.т.н., проф. (США)
Агощ З., д.т.н., проф. (Словаччина)
Бєлоєв М., к.т.н. (Болгарія)
Вєдяков І.І., д.т.н., проф. (Росія)
Грінченко В.Т., академік НАНУ, д.т.н., проф. (Україна)
Каравайченко М.Г., д.т.н., проф. (Росія)
Като Ш., д.т.н., проф. (Японія)
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

ПБіС
4'2021

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Виходить 4 рази на рік

Заснований у листопаді 2007 року

ЗМІСТ

МОСТОВІ СПОРУДИ

О.В. Шимановський, Д.О. Котлубей, В.В. Шалінський, Б.П. Кобернюк, П.М. Сташук

НАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІВДЕННОГО МОСТА ЧЕРЕЗ р. ДНІПРО В м. КИЄВІ 2

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

А.М. Онищенко, В.С. Бугаєв, О.Ю. Лепіхова

СТАЛЕВІ ШПУНТОВІ ПАЛІ – ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ 11

НОРМОКОНТРОЛЬ

О.І. Лапенко

РОБОТА НА СТИСК СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН 20

ТРАНСПОРТНІ СПОРУДИ

А.М. Онищенко, О.М. Гібаленко, Л.П. Боднар, Я.В. Болотов, М.А. Борисенко

МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ПОКРИТТЯ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОТРАНСПОРТНОЇ МАГІСТРАЛІ 24

ДОРОЖНІ ПОКРИТТЯ

Є.П. Плазій

ПРАКТИЧНІ ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ШТУЧНИХ СПОРУДАХ 32

НАУКА – ВИРОБНИЦТВУ

Ю.Д. Абрашкевич, О.А. Марченко, Г.М. Мачишин, О.В. Човнюк

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ШЛІФУВАЛЬНИХ МАШИН З АБРАЗИВНИМИ АРМОВАНИМИ КРУГАМИ 38

ЮВІЛЕЙНІ ДАТИ

ГОРДЕЄВ ВАДИМ МИКОЛАЙОВИЧ (до 85-річчя від дня народження) 47

© Промислове будівництво та інженерні споруди, 2021

НАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІВДЕННОГО МОСТА ЧЕРЕЗ р. ДНІПРО В м. КИЄВІ



О.В. Шимановський
генеральний директор ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», член-кореспондент НАН України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор



Д.О. Котлубей
радник заступника голови КМДА з питань технічного стану, ремонту і реконструкції вулично-дорожньої мережі, заслужений будівельник України



В.В. Шалінський
завідувач відділу мостів та спеціальних споруд ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», к.т.н., старший науковий співробітник



Б.П. Кобернюк
в.о. начальника Комунального підприємства по ремонту та утриманню мостів і шляхів м. Києва «Київавтошляхміст»



П.М. Сташук
директор ТОВ «Діагностика та інжиніринг мостів», к.т.н.

Вступ. Передусім нагадаємо про те, що у достатньо далекому 1990 році за проєктом Київської філії Державного інституту з проектування і вишукування автомобільних доріг «Союздорпроект» під керівництвом головного інженера проєкту Г.Б. Фукса був збудований черговий міст для пропуску автомобільного та пішохідного руху, а також потягів метрополітену через р. Дніпро у м. Києві. Міст з'єднує розташовані на правому березі Саперно-Слобідську вулицю та Столичне шосе з проспектом Миколи Бажана (житловий масив Позняки) на лівому березі й до того ж слугує частиною автошляху міжнародного значення М03 (Е40). Рішенням виконавчого комітету Київської міської Ради народних депутатів за № 905 від 19 жовтня 1990 року «Про повернення історичних назв, найменування та перейменування вулиць, станцій метро та нового мостового переходу в м. Києві» цей мостовий перехід отримав назву «Південний».

Будівництво моста розпочалось у 1983 році згідно з проєктом, розробленим з урахуванням норм проєктування [1]. У постійну експлуатацію мостовий перехід введено в 1990 році спочатку під автомобільний рух, а після спеціального обстеження в 1992 році по мосту було відкрито рух потягів метрополітену. Автомобільний рух здійснюється по роздільних для кожного напрямку проїздах – з верхового й низового боку від колій метрополітену, які проходять уздовж осі моста, причому на кожному автомобільному проїзді розташовано три смуги руху завширшки по 3,75 м. Колії метрополітену запроєктовано відокремленими від автопроїздів бар'єрною та залізобетонною огорожею.

У плані міст розміщується на прямій, а його подовжній профіль утворений низкою вертикальних кривих із вершиною у вантовому прогоні з короткими прямолінійними вставками між ними.

Розрахункові тимчасові навантаження на міст прийняті у вигляді шести смуг автомобільного навантаження класу А-11, одиночного навантаження НК-80, двох колій для п'ятивагонних потягів метрополітену, чотирьох трубопроводів ∅ 1220 мм і тридцяти кабельних мереж до 1,0 кВ кожна.

Стислий опис основних конструктивних рішень. А тепер перейдемо до розгляду основних конструктивних рішень моста. Прогони моста перекриті у такий спосіб: лівобережна однопілонна вантова споруда – трипрогонова нерозрізна сталева прогонова будова (з вантовим прогоном) за схемою 80,5 + 90,0 + 271,0 м і двопрогонова нерозрізна залізобетонна коробчаста прогонова будова (анкерна частина вантового прогону) за схемою 60,7 + 63,0 м, а правобережна частина – дев'ятипрогонова нерозрізна залізобетонна

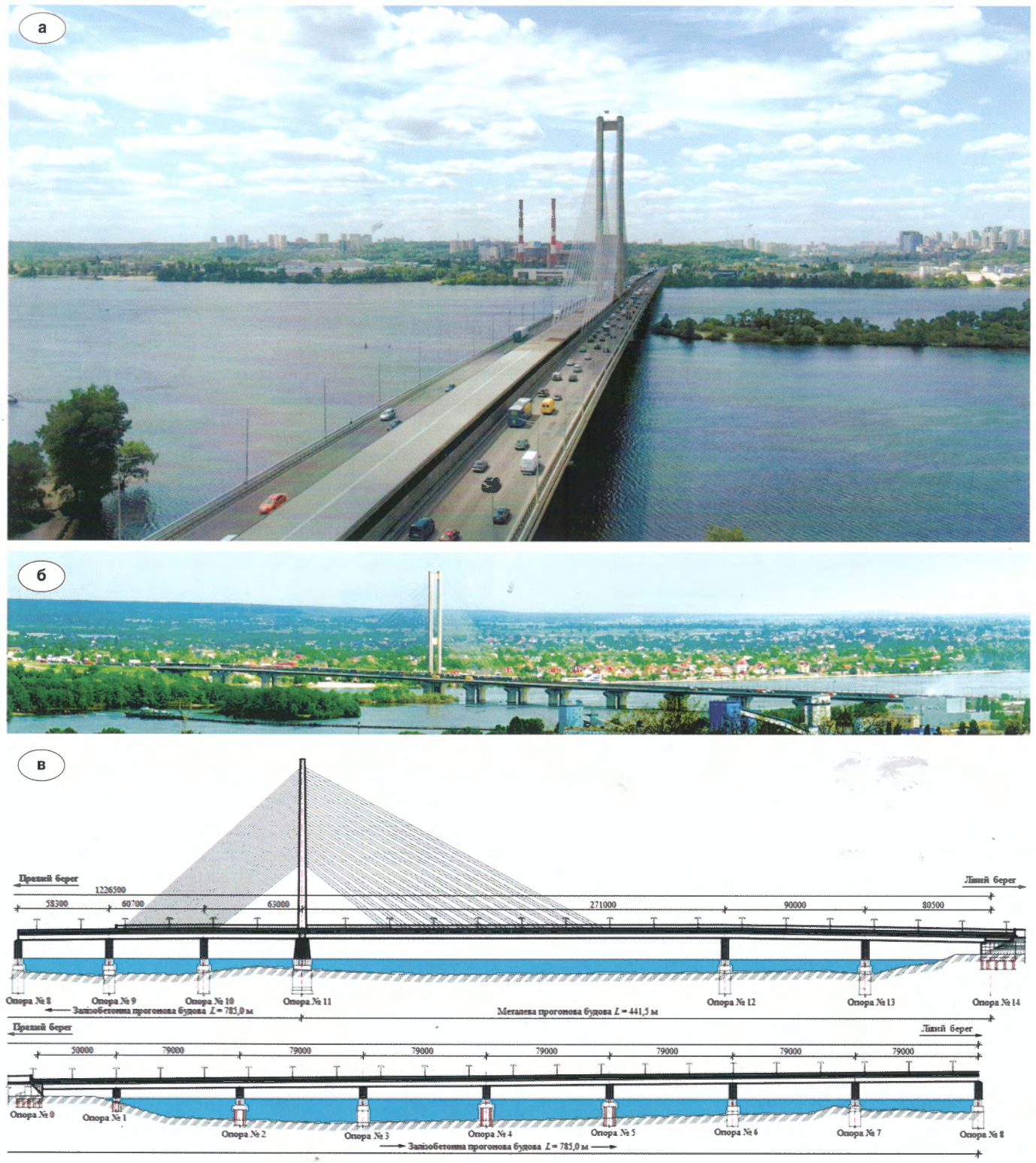


Рис. 1. Панорамні вигляди (а, б) і фасад (в) Південного моста

коробчаста прогонова будова за схемою 58,3 + + 7×79,0 + 50,0 м. Сталеві вантові прогонові будови та залізобетонні вантові прогони примикають до пілона на опорі № 11 і шарнірно опираються на нього.

Нерозрізна трипрогонова балка жорсткості сталевого вантового прогону завдовжки 441,5 м виконана за схемою в осях обпирання 271,0 + 90 + + 80,5 м і вертикально оперта на опори № 12, 13, 14 й вертикально та горизонтально на пілон

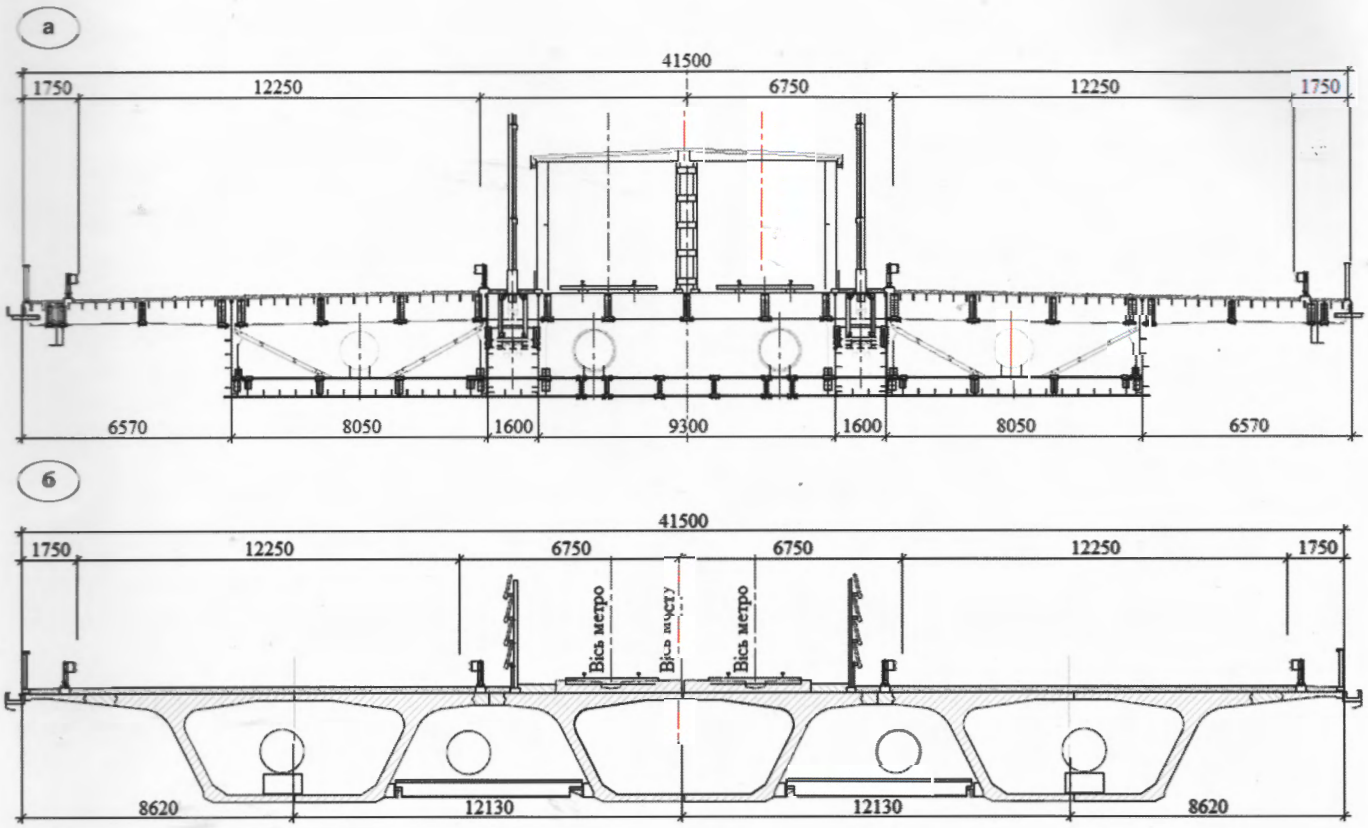


Рис. 2. Поперечний переріз балки жорсткості Південного моста:
а – на сталевих прогонах; **б** – на залізобетонних прогонах

(опора № 11). Сталева балка жорсткості Південного моста складається з двох тристінчастих коробчастих балок, що симетрично розташовані відносно подовжньої осі моста (рис. 2, а). Над коробчастими балками влаштовано автопроїзди. Коробчасті балки зверху поєднані сталевою ортотропною плитою, на якій прокладені дві колії метрополітену, а по низу – в'язями-розпірками. Всередині великих коробок балок містяться трубопроводи холодної води – по одному в кожній коробці, а під проїздом метрополітену два трубопроводи гарячої води. Всередині малих коробок балок влаштовано анкерні кріплення вантів.

Пілон моста заввишки 110 м від рівня проїзду виконано із монолітного залізобетону, а поперечний переріз його «ніг», розміщених у зоні між авто- і метропроїздом, у площині проїздів становить 2×5 м. Важливим також є те, що зменшення гнучкості ніг пілона поперек моста досягнуто шляхом встановлення горизонтальних розпірок, які створюють раму, а їх жорсткість у поперечному напрямку збільшено з допомогою збірних залізобетонних елементів, в яких передбачені сходові марші з боку автопроїздів і монолітні виступи з боку метропроїзду.

Вантова система моста реалізована у двох паралельних площинах, ванти в яких простягаються в зоні між авто- і метропроїздом. Ванти, що йдуть у бік головного прогону, мають горизонтальну орієнтацію канатів, а в бік залізобетонної частини, навпаки, вертикальну. Умовно всі ванти розподілені на 12 груп по 3 ванти у групі, причому їхня довжина змінюється від 77,74 до 226,41 м.

Що ж стосується внутрішньої структури вантів, то кожна з них сформована з пари канатів ∅ 62 мм, виготовлених за технічними умовами [3]. Між собою канати у ванті об'єднуються спеціальними стяжними пристроями, а самі ванти за довжиною сполучаються завдяки трьом гасникам коливань із метою зміни частот і зменшення амплітуди їх (вантів) коливань. У поперечному перерізі канат складається з чотирьох шарів Z-подібних дротин і чотирьох шарів круглих дротин, отже загалом у канаті налічується 154 дротини за схемою 1×154 (1 + 7 + 7/7 + 14 + + 20Z + 28Z + 32Z + 38Z).

Вузли анкерування вантів у сталевій балці жорсткості розміщені в малих коробках групами по три через 2,5 м за довжиною балки. Відстань між групами вантів становить 10,0 м. Канати вантів оперті через систему шайб на нахилені по осі вантів траверсні балки. На поясах траверсних балок встановлена опорна шайба, в якій утворено отвір для пропускання анкера й сферичної випуклої шайби. Між сферичною випуклою шайбою і торцем анкера встановлені пакети роз'ємних шайб задля коректування довжини канату. А на поверхнях коробок встановлено кожух, в якому міститься дубовий вкладиш, що не тільки фіксує положення вантів, а й не допускає їхніх коливань у зоні анкерування.

Балка жорсткості вантових прогонових будов опирається на пілон за допомогою системи вертикальних та горизонтальних опорних частин, які уможливлюють не тільки її поворот, а й незначні подовжні переміщення. Розпір (іншими словами, горизонтальна складова від зусилля в вантах) близько 18000 тс передається на пілон за допомогою вісімнадцяти горизонтальних опорних частин, встановлених на нижній ортотропній плиті, подовжні ребра якої влаштовані підсиленими і зближеними. Що ж стосується вертикальної складової від зусилля в вантах, то вона передається на шість обмежено рухомих опорних частин, що розташовані під стінками балки жорсткості.

В частині залізобетонних прогонів моста зазначимо наступне. По-перше, прогони моста 0–9 перекриті дев'ятипрогоновими нерозрізним залізобетонними прогоновими будовами з розрахунковою схемою 50,0 + 7×79,0 + 58,3 м і повною довжиною 661,3 м. У поперечному перерізі прогони складаються з трьох коробчастих балок із попередньо-напруженим армуванням (рис. 2, б). Коробчасті балки об'єднані між собою по верхніх плитах. Над середньою балкою розміщено дві колії метрополітену, а над крайніми – автопроїзди та пішохідні тротуари. Два трубопроводи холодної води знаходяться всередині крайніх коробчастих балок, два трубопроводи гарячої води – між середньою і крайніми коробчастими балками на поперечних балках. Коробчасті балки складені зі збірних залізобетонних блоків типу «К», що були виготовлені на Дніпропетровському заводі мостових залізобетонних конструкцій. Об'єднання блоків уздовж моста виконано з допомогою плоских клейових стиків із фіксуючим виступом і обтисненням пучками попередньо-напруженої арматури. Зовнішні розміри блоків однакові за всією довжиною прогону, а саме: заввишки 3,40 м, завширшки по верху 11,20 м і завдовжки вздовж моста 1,98 м для рядового блока й 1,50 м для надопорного. Потовщення нижньої плити та стінок блоків виконано за рахунок зміни їх внутрішніх розмірів, а в надопорних блоках влаштовано діафрагми. Як монтажну та робочу попередньо-напружену арматуру використано пучки з дванадцяти семидротових пасм, що натягувались на зусилля 180 тс. Пасма розташовані в каналах ∅ 90 мм і заінєктовані цементним розчином. В опорній зоні в верхній плиті містяться вісімдесят вісім пучків, всередині прогону в нижній плиті – тридцять шість пучків. З'єднання коробок між собою виконано подовжнім монолітним стиком по верхній плиті. Консольні частини плит крайніх коробок сполучені подовжніми монолітними стиками зі збірними плитними тротуарними блоками, а між тротуарними блоками влаштовані поперечні монолітні стики.

По-друге, прогони моста 9–11 перекриті двопрогоновими нерозрізним залізобетонними прогоновими будовами з розрахунковою схемою 60,7 + 63,0 м і повною довжиною 123,7 м, які за своїм функціональним призначенням слугують прогонами-противагами. На опорі № 9 в прогоні заанкерені ванти з метою відтягування пілона. Аналогічно до прогонових будов 0–9 у поперечному перерізі прогони складаються з трьох коробчастих балок із збірних залізобетонних блоків типу «К» із попередньо-напруженим армуванням. Коробчасті балки об'єднані між собою по верхніх плитах. Над середньою балкою розміщено дві колії метрополітену, а над крайніми – автопроїзди та пішохідні тротуари. Два трубопроводи холодної води розташовано всередині крайніх коробчастих балок, два трубопроводи гарячої води – між середньою і крайніми коробчастими балками на поперечних балках. У прогоні 9–10 подовжні стики омонолічування верхньої плити між середньою і крайніми коробками виконані потовщеного перерізу з влаштованими вузлами анкерування вантів-відтяжок. Стики коробок мають подовжнє та поперечне попередньо-напружене армування, що поширюється в прогін 10–11. У прогоні 9–10 між середньою та крайніми коробками на рівні плити влаштовано днище, на яке вкладені чавунні

елементи привантаження задля врівноваження вертикальної складової від розпору в вантах. Додатково на опорі № 9 влаштовано анкерний вузол для притискання кінця прогонової будови до опори з допомогою канатів. Постійне зусилля притискання кінця балки жорсткості виконано за допомогою шістнадцяти витих закритих канатів ∅ 62 мм, що були використані для канатів вантів. Горизонтальна складова зусилля від розпору в вантах сприймається подовжньо-нерухомими шарнірними опорними частинами на опорі № 11 на рівні нижньої плити.

А наприкінці вкажемо ще й на те, що проміжні опори моста зібрані зі збірних залізобетонних контурних блоків із монолітним залізобетонним ядром. Фундаменти опор виконано на буронабивних палях, а внутрішній простір стоянів (крайніх опор) моста використано для розведення комунікацій.

Результати обстеження конструкцій моста. Попереднє обстеження споруди було виконано у 2017 році, а в 2021 році проведено чергове комплексне планове обстеження Південного моста. Результати обстеження свідчать, що конструкції моста мають низку дефектів і недоліків, в основному корозійного походження, що знижує не тільки їх (конструкцій) несну здатність, а й довговічність і надійність споруди у цілому.

На підтвердження наведеного найперше привернемо увагу до того, що найбільше занепокоєння викликає стан канатів вантів сталевої частини вантової споруди, які мають значну кількість корозійних дефектів. Причому зазначимо, що головною причиною не тільки виникнення, а й швидкого розвинення цих дефектів є вода (а точніше, розчини агресивних протиожеледних соляних сумішей). Приміром, місця входу канатів вантів в анкерні вузли сталевої прогонової будови закриті металевими кожухами квадратного перерізу, котрі в зимовий період постійно зазнають впливу цих розчинів, які потрапляють на них із проїзної частини. Крім цього обтяжує реальну ситуацію ще декілька небезпечних факторів. Перший з них полягає в тому, що гумові ковпаки, які повинні закривати вхідні отвори в кожухи, практично повністю відсутні. По-друге, дерев'яні вкладиші, які встановлені в кожухах, зокрема й з метою герметизації вхідних отворів, внаслідок постійного замокання акумулюють у собі хлориди й інші хімічні складові розчинів, що спричиняє постійну активізацію деградаційних процесів. І, нарешті, третій фактор, який, напевне, є найгіршим, пов'язаний з тим, що стан нанесеного на кожухи герметика, який повинен унеможливлювати просочення розчинів крізь вхідні отвори, є незадовільним, він майже повністю зруйнований, що зумовлює безперешкодне потрапляння розчинів всередину анкерних вузлів.

Всі зазначені вище фактори призвели до того, що на нижній грані дерев'яних вкладишів для фіксації положення як самих вантів, так і їх канатів зафіксовані помітні сліди іржі та просочування води. Причому такий дефект виявлено у **ста десяти** канатах при їх загальній чисельності в сталевій частині моста **сто сорок чотири** (тобто у **76,4 %** канатів)!!! У цьому сенсі принагідно нагадаємо, що у 2017 році таких канатів було лише **двадцять один**, інакше кажучи, за **чотири** роки їхня кількість катастрофічно зросла до неприпустимих **5,3** раза.

Ба більше, вже тоді у **п'яти** канатах було виявлено перші обриви дротин зовнішнього шару канатів, а всього обірваними було **вісімнадцять** дротин. Наразі кількість канатів із корозійними обривами дорівнює **чотирнадцяти** в сталевій частині моста (рис. 3), а кількість обірваних дротин у цих канатах за **чотири** роки (з 2017 по 2021) збільшилась загалом із **вісімнадцяти** до **вісімдесяти дев'яти**.

Автори привертають особливу увагу фахівців до цих позначених в останніх двох абзацах товстим шрифтом цифр, бо ці цифри самі по собі не тільки просто свідчать, а й «красномовно промовляють» (якщо лише в даному випадку можливе застосування таких мовних побудов), про існуючі серйозні проблеми технічного стану конструктивних елементів Південного моста.

Не останню роль у ситуації, яка склалася, відіграли недоліки конструкції канатів вантів Південного моста, а насамперед відсутність антикорозійного захисту внутрішніх шарів дротин. Тут йдеться про те, що цинкове покриття, а також захисне фарбове покриття, котре, до речі, оновлювалось востаннє тринадцять років тому, було нанесене виключно на зовнішню поверхню канатів. Слід пам'ятати, що схожа ситуація раніше трапилася на іншому відомому київському мості – Гаванському вантовому, де на початку 2000-х років було виявлено перші корозійні обриви дротин канатів. Через це рух по мосту було негайно припинено, балку жорсткості підперто риштуванням, а у 2020 році канати вантів взагалі були розвантажені та обрізані.



Рис. 3. Обриви дротин зовнішнього шару канатів вантів Південного моста



Рис. 4. Вилуговування бетону елементів залізобетонних прогонових будов

Іншими суттєвими негативними обставинами, пов'язаними з експлуатаційним станом залізобетонних елементів моста, є вилуговування бетону (рис. 4), утворення сколів захисного шару бетону конструктивної арматури та її корозія. Причому у повній відповідності з розглянутим вище прикладом канатів вантів причиною розвинення всіх вказаних пошкоджень залізобетонних прогонових будов і в цьому випадку стали розчини протиожеледних соляних сумішей, що внаслідок початкових недоліків гідроізоляції та її природного зношення потрапляли й наразі продовжують потрапляти на елементи конструкцій. А найбільш загрозливим у цьому деградаційному процесі є те, що з моменту попереднього обстеження у 2017 році кількість таких дефектів значно збільшилась, що свідчить про пришвидшення руйнування гідроізоляції та необхідність термінової її заміни.

Що ж стосується сталевої балки жорсткості вантової прогонової будови моста, то вона в цілому перебуває у задовільному експлуатаційному стані. Проте основними дефектами та пошкодженнями елементів конструкцій, що знижують їх довговічність, несну здатність та надійність, є такі:

- лущення та відшарування антикорозійного фарбового покриття ззовні та всередині коробок балки жорсткості (рис. 5);
- пошкодження антикорозійного покриття та вогнища поверхневої корозії металу листа настилу та повздовжніх ребер ортотропної плити мостового полотна проїзду внаслідок термічного впливу від зварювання при влаштуванні бар'єрної огорожі та огорожі зони пропуску проїздів метрополітену (рис. 6);



Рис. 5. Руйнування антикорозійного фарбового покриття поверхонь стінок та подовжніх ребер ззовні коробки балки жорсткості

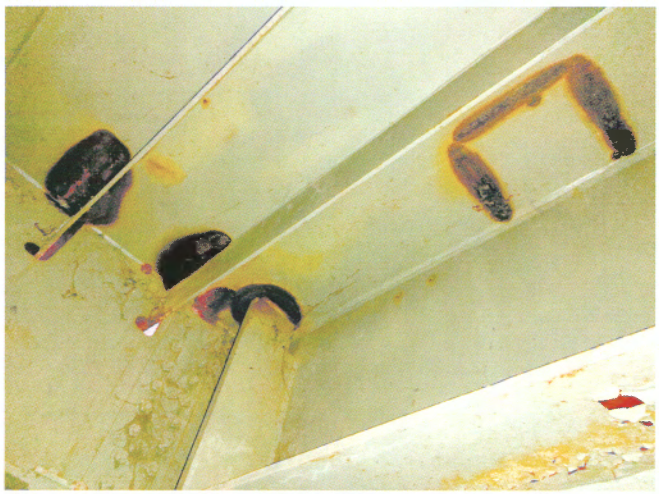


Рис. 6. Пошкодження антикорозійного покриття та поверхнева корозія ортотропної плити внаслідок термічної дії зварювання

- прогресуюча місцева корозія листа настилу нижньої ребристої плити, стінки та подовжніх ребер у відсіках малих і великих коробок балки жорсткості біля опори № 11, що сягає глибини до 15 % товщини їх перерізу;
- корозія листів настилів та подовжніх ребер у місцях потрапляння води, сміття та бруду крізь вентиляційні отвори, деформаційні шви, анкерування вантів у відсіках малих коробок балки жорсткості біля опори № 11.

А далі зупинимося на основних результатах ще одного вкрай важливого етапу комплексного планового обстеження Південного моста – обстеженні підводних частин руслових опор, яке було проведено у червні–липні 2021 р.

Зауважимо, що попередні обстеження підводної частини руслових опор виконувалися у 2009 й у 2017 роках, причому з висновків обстеження 2017 року випливає, що в підводній частині руслових опор не було зафіксовано ані руйнування бетону з оголенням і корозією арматури, ані їхнього підмиву.

Що ж стосується обстеження 2021 року, то його результати загалом збігаються з даними, які були отримані у 2017 році, в розумінні відсутності видимих нахилів, перекосів, просадок і деформацій руслових опор, а також дефектів і пошкоджень несних конструкцій підводних частин опор і фундаментів, що впливають на несну здатність і стійкість як проміжних опор, так і моста в цілому, через що технічний стан підводної частини опор відповідно до [2] є цілком працездатним (стан 3).

Втім, незважаючи на те, що понадрозрахункових загальних розмивів обабіч більшості руслових опор і в створах моста не було зафіксовано, все ж таки навколо опор № 4 і 5 їх вдалося відшукати. Те саме було встановлено й щодо наявності місцевих розмивів – вони були помічені вздовж як ростверків опор № 2, 4 на глибину від 0,7 до 1,8 м, так і периметра опори № 5 на глибину від 1,0 до 3,8 м (рис. 7). Поза тим, порівнянням нинішніх глибин розмивів по периметру опор із отриманими у 2017 році їхніми значеннями виявлено зменшення місцевих розмивів ростверку опори № 4 (від 4,0 до 1,8 м) (рис. 8) та опори № 5 (від 5,8 до 3,8 м) й утворення підмиву фундаменту опори № 2 (рис. 9). Тобто, технічний стан фундаментів опор № 2, 4, 5 відповідно до [2] визнаний обмежено працездатним (стан 4).

Тому задля продовження строків експлуатації та довговічності фундаментів руслових опор слід провести відновлювані роботи з укріплення підмостового русла навколо фундаментів опор № 2, 4, 5, 6, 10. А додатково до цього, враховуючи величини місцевих розмивів по периметру фундаменту опори № 5, невідкладно потрібно вжити спеціальних заходів щодо укріплення підмостового русла навколо даної опори.

Отже, якщо наразі підсумувати наведені вище результати обстеження в частині рейтингу експлуатаційного стану основних конструктивних елементів Південного моста, то в цілому відповідно до [2] його можна кваліфікувати як стан 4 (обмежено працездатний).

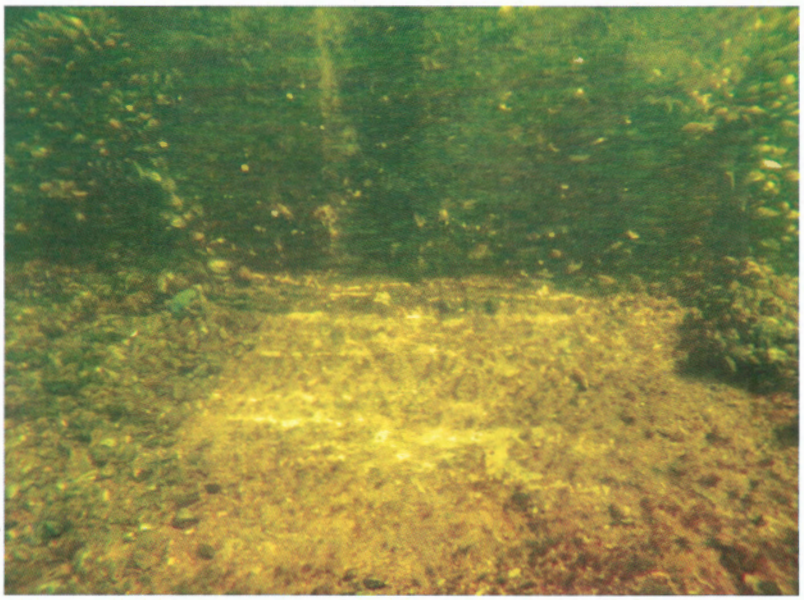


Рис. 7.
Обростання біологічними організмами всієї поверхні підводної частини тіла та ростверку опори № 5.
З верхової та низової сторін моста ростверк підмито на глибину до 2,0 м зі зменшенням глибини розмиву до 1,0 м по центру опори з лівого боку, а з правого боку підмив ґрунту зафіксовано по всій довжині на глибину до 3,8 м

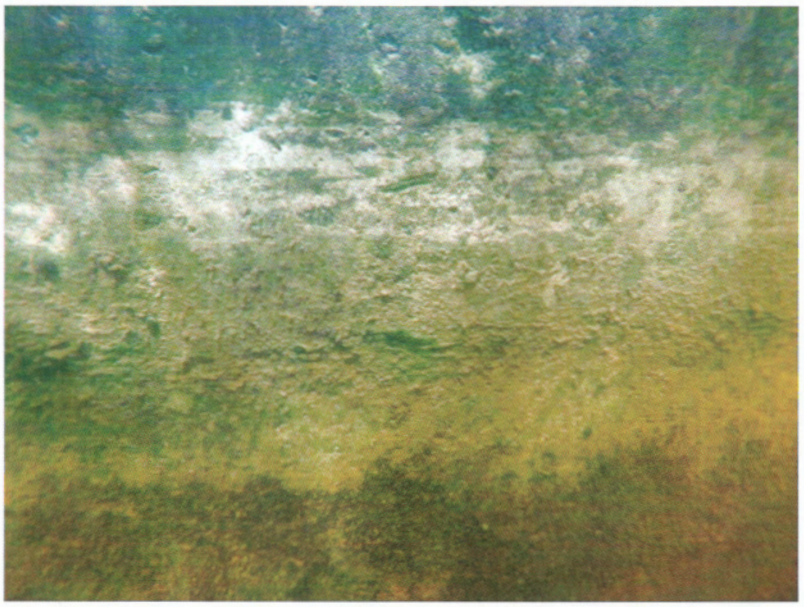


Рис. 8.
Обростання біологічними організмами всієї поверхні підводної частини тіла та ростверку опори № 4.
З низової сторони моста ростверк занурений у ґрунт, а з верхової сторони з лівого боку підмив ґрунту на глибину від 0,7 до 1,8 м

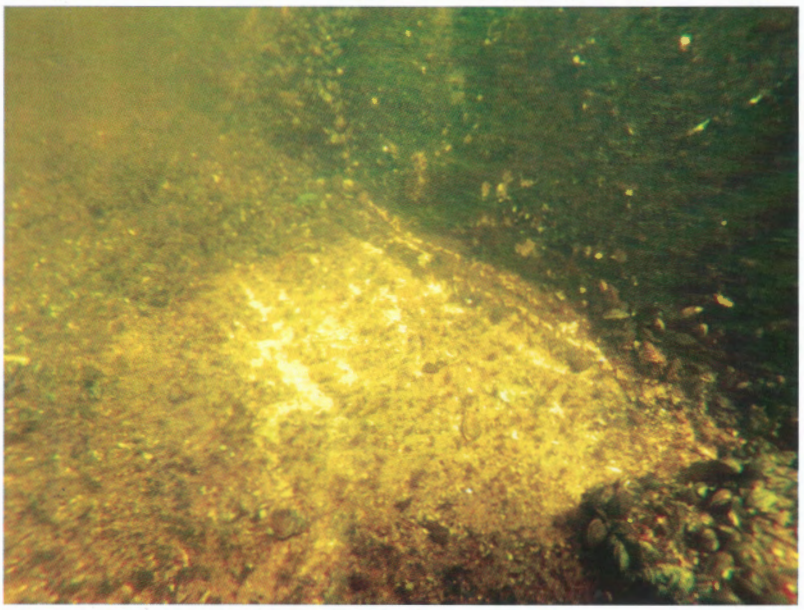


Рис. 9.
Обростання біологічними організмами всієї поверхні підводної частини тіла та ростверку опори № 2.
Підмиви ростверку з верхової сторони моста на глибину 1,2÷1,4 м

Висновки. Узагальнюючи викладене вище та враховуючи нинішній технічний стан усіх конструкцій Південного моста, з метою подовження строків їх експлуатації та довговічності, перш за все рекомендується вжити низку заходів, зокрема з проведення:

- укріплення підмостового русла навколо фундаментів руслових опор № 2, 4, 5, 6, 10;
- відновлення захисного шару бетону контурних блоків усіх руслових опор у межах змінного рівня води;
- ремонту ділянок захисного шару бетону, на яких виявлені місцеві сколи бетону на опорах № 12 і 13;
- відновлення захисного шару бетону з ліквідацією оголення й корозії арматури на опорі № 0;
- заміни конструкцій деформаційного шва на опорі № 0;
- ремонту ліхтарної щогли № 4 із низової сторони в бік проїзної частини шляхом ліквідації її нахилу;
- герметизації тріщин у залізобетонних блоках прогонових будов при їхньому розкритті більше 0,3 мм зі встановленням відповідних «маяків»;
- заміни гідроізоляції автомобільних проїздів;
- відновлення захисного шару бетону з ліквідацією його сколів і оголення й корозії арматури на локальних ділянках, що знаходяться з низового та верхового боку «ніг» пілона;
- відновлення герметизації та заміни елементів конструкції більшості входів канатів вантів в анкерні вузли в сталеву прогонову будову;
- заміни чотирнадцяти канатів вант, які мають обриви від двох до дванадцяти дротин;
- зачищення та відновлення антикорозійного захисту за всією довжиною сталевої прогонової будови на ділянках із зафіксованим відшаруванням антикорозійного покриття та поверхневою корозією металу;
- зачищення та відновлення антикорозійного захисту сталевої прогонової будови на опорах № 11 і 14 із зафіксованою локальною корозією в межах до 15 % перерізу конструкцій;
- зачищення та відновлення антикорозійного захисту у всіх внутрішніх відсіках коробок сталевої балки жорсткості зі зафіксованою поверхневою корозією листа та ребер ортотропної плити мостового полотна.

Таким чином, можна дійти такого важливого закономірного висновку, що у випадку неусунення найближчим часом виявлених у рамках обстеження дефектів (зокрема тих, які вимагають першочергового усунення), деградація конструкцій моста буде продовжуватися й у недалекій перспективі він перейде до стану 5 (непрацездатний) що, звісно, ніяк не зможе гарантувати безпечну експлуатацію споруди. Причому особливого нагляду потребують ванти, в яких обриви Z-подібних дротин зовнішнього шару канатів внаслідок їх корозії значно збільшились у порівнянні з попереднім обстеженням 2017 року.

[1] СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы. – Москва: Госстрой СССР, 1985. – 200 с.

[2] ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 45 с.

[3] ТУ 14-4-1216-82. Канаты стальные оцинкованные спиральные закрытой конструкции. – Москва: Министерство черной металлургии СССР, 1982. – 16 с.

Надійшла 13.09.2021 р.

УДК 624.154(075.8)

СТАЛЕВІ ШПУНТОВІ ПАЛІ – ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Стаття висвітлює досвід використання сталевих шпунтових паль в Україні та у світі. Основними сферами застосування шпунтових паль є: гідротехнічне будівництво – причали, хвилерізи, греблі, дамби; будівництво об'єктів інфраструктури – мости, шляхопроводи, автодороги, тунелі, канали; цивільне будівництво – огорожа будівельних котлованів, підземні паркінги. Наведено спрощений метод розрахунку бетонного оголовка, що піддається високим вертикальним та горизонтальним навантаженням. Показані приклади використання шпунтових паль у тимчасових конструкціях.

The article highlights the experience of using steel sheet piles in Ukraine and in the world. The main areas of application of sheet piles are: hydraulic engineering – berths, breakwaters, dams; construction of infrastructure facilities – bridges, overpasses, roads, tunnels, canals; civil construction – fencing of construction pits, underground parkings. A simplified method for calculating a capping beam subjected to high vertical and horizontal loads is presented. Examples of the use of sheet piles in temporary structures are given.

Ключові слова: сталеві шпунтові палі, прокатаний шпунт, коритний профіль, момент інерції, гідротехнічне будівництво.



А.М. Онищенко
завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд Національного транспортного університету, д.т.н., професор



В.С. Бугаєв
технічний спеціаліст із продажу компанії ArcelorMittal Projects Ukraine



О.Ю. Лепіхова
менеджер зі збуту компанії ArcelorMittal Projects Ukraine

Виробництво шпунтових паль має більш ніж столітню історію. Одні з перших шпунтових паль були прокатані на заводі ArcelorMittal Бельваль (раніше відомий як ARBED) у 1911 році.

З того часу виробнича лінійка заводу ArcelorMittal постійно розширюється, а інженери компанії вдосконалюють та модернізують модельний ряд задля забезпечення оптимального співвідношення міцності та практичності шпунтових паль. Але де і навіщо використовується шпунт?

Однією з основних функцій шпунтових паль є утримання масиву ґрунту під час виконання будівельних робіт, проте в певних ситуаціях палі також можуть використовуватися і як несні елементи конструкцій для передачі вертикальних навантажень на нижні шари ґрунтів.

Основними сферами застосування шпунтових паль є:

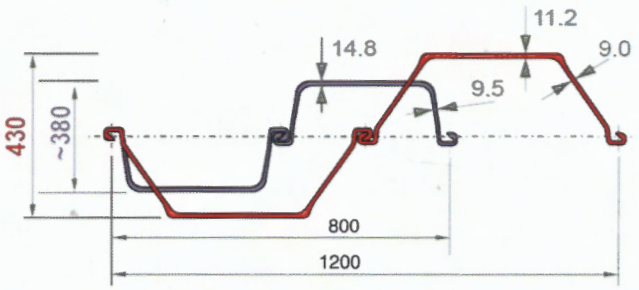
- Гідротехнічне будівництво (причали, хвилерізи, греблі, дамби тощо).
- Будівництво об'єктів інфраструктури (мости, шляхопроводи, автодороги, коффердами, тунелі, канали тощо).
- Цивільне будівництво (огорожа будівельних котлованів, підземні паркінги).

Українським проєктувальникам та будівельникам добре відомі шпунтові палі коритного профілю L4, L5 та L5-UM, які раніше широко використовувалися та вироблялися в Україні. Однак на сьогоднішній день ці секції та їх технічні характеристики застаріли, а на зміну їм прийшов покращений, більш легкий та широкий шпунт європейського виробництва. Всім перерахованим властивостям, та навіть більше, відповідають шпунтові палі виробництва ArcelorMittal. Компанія є першопрохідником та світовим лідером у цій галузі з більш ніж 100-річним досвідом з виробництва та розроблення нових шпунтових секцій, метою якої є досягнення оптимального балансу між характеристиками міцності та вагою шпунтових паль.

Порівняння шпунтових паль коритних профілів L4 та L5-UM з прогресивними аналогами виробництва ArcelorMittal приведено на рис. 1 та рис. 2.

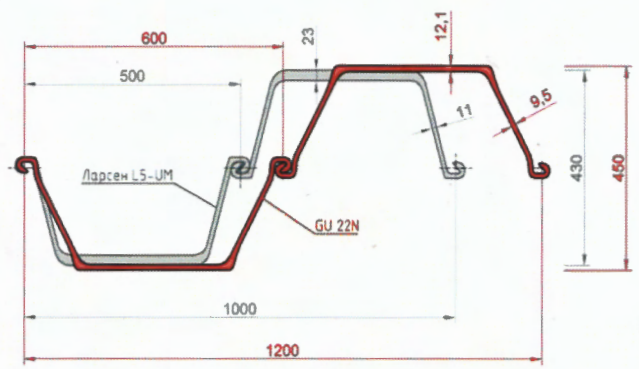
Несна здатність шпунта за згинальним моментом (основне навантаження, яке виникає в шпунті в результаті впливу бокового тиску ґрунту) спрощено визначається як добуток моменту опору (W_x) і межі плинності сталі (f_y), з якої прокатаний шпунт: $M_{max} = W_x \cdot f_y$.

© Онищенко А.М., Бугаєв В.С., Лепіхова О.Ю.



Характеристика	Од. вим.	GU 18N	Larsen L4
Пружний момент опору W_x	см^3/м	1800	2200
Маса стінки	кг/м^2	128,2	185
Економія	%	30	—
Межа плинності	МПа	355	235
Макс. згинальний момент	кН · м	639	517

Рис. 1. Порівняння секцій GU 18N з L4



Характеристика	Од. вим.	GU 22N	Larsen L5-UM
Пружний момент опору W_x	см^3/м	2200	3555
Маса стінки	кг/м^2	143,6	228
Економія	%	37	—
Межа плинності	МПа	430	245
Макс. згинальний момент	кН · м	946	871

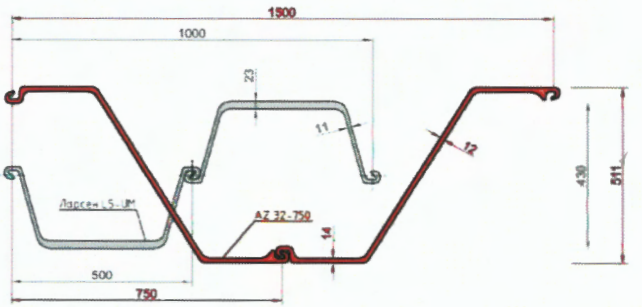
Рис. 2. Порівняння секцій GU 22N з L5-UM

Момент опору W_x залежить від секції шпунта та його геометричних характеристик (одиниці виміру см^3/м). Межа плинності сталі є якісним показником матеріалу, з якого прокатаний шпунт. Збільшення одного з параметрів дає можливість знизити другий без втрати несної здатності шпунта. За рахунок більш високих марок сталі (межа плинності мінімуму 355 Н/мм^2 у шпунтів ArcelorMittal проти 245 Н/мм^2 у L4 та L5) можливе зниження моменту опору секцій і, відповідно, загальної маси шпунтів. Додатково за рахунок більшої ширини шпунтової секції та меншої кількості самих шпунтів досягається прискорення процесу виконання робіт, а також зменшується кількість фільтрації води крізь замки в результаті скорочення кількості замкових з'єднань по периметру стінки.

Окремий інтерес представляють Z-секції шпунтових паль, найважливішими характеристиками котрих є протяжна форма стінки та симетричне розташування замків на обох сторонах нейтральної осі, що в свою чергу позитивно впливає на момент опору. Переваги Z-секцій з винятковими характеристиками і перевіреними властивостями замка Larssen полягають у наступному:

- конкурентоздатне співвідношення моменту опору та маси;
- збільшений момент інерції, що дає змогу знизити деформацію стінки;
- велика ширина, що забезпечує високопродуктивне заглиблення;
- підвищений коефіцієнт протидії корозії за рахунок потовщення сталі в критичних корозійних точках.

Нижче наведено порівняння шпунтових паль Z-профілю виробництва АрселорМіттал з вітчизняним L5-UM (рис. 3, 4).



Характеристика	Од. вим.	AZ 32-750	Larsen L5-UM
Пружний момент опору W_x	см^3/м	3200	3555
Маса стінки	кг/м^2	155,6	228
Економія	%	32	—
Межа плинності	МПа	355	245
Макс. згинальний момент	кН · м	1136	871

Рис. 3. Порівняння секцій AZ 32-750 з L5-UM

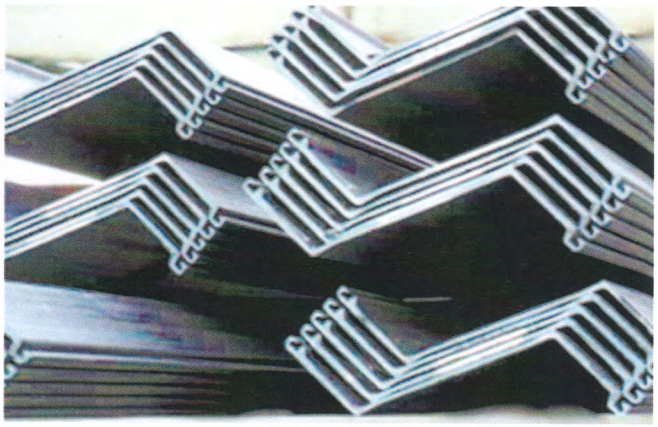


Рис. 4. Загальний вигляд Z-профілю

За рахунок геометрії профілю і більш високої марки сталі, при порівняльних значеннях міцності, загальна вага конструкції з Z-профілю буде легшою орієнтовно на 32 %. Завдяки геометричним особливостям порівнюваних профілів необхідний час на зведення шпунтової стінки буде значно меншим при використанні Z-профілів. До того ж, із заводу на будівельний майданчик Z-профіль зазвичай постачається з'єднаним у пакет, що дає можливість при одному заглибленні відразу отримати до 1,5–1,6 м стінки.

Нейтральна вісь у коритному профілі проходить через замки з'єднань шпунтів, як результат, створюється максимальне дотичне напруження, що несприятливо позначається на роботі замкових з'єднань і вимагає обтиснення замків. У Z-профілі замки розташовуються таким чином, що дотичні напруження в них дорівнюють нулю і обтиснення замків не потрібно (рис. 5).

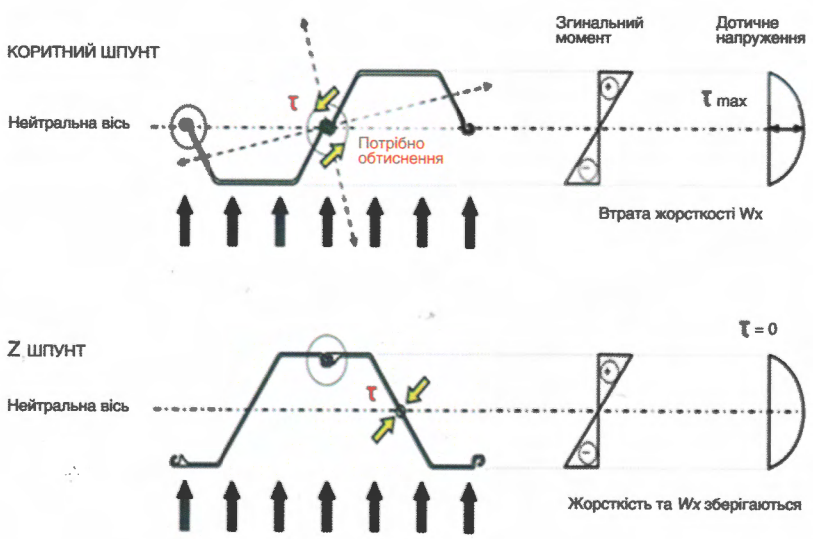


Рис. 5. Порівняння коритного U-профілю та Z-профілю

Важливим питанням є довговічність шпунтових паль. Незахищена сталь в атмосфері, воді або ґрунті піддається відповідному рівню корозії в залежності від ряду факторів (склад та якість ґрунтів і води, рівні постійних і перемінних вод, температурні показники тощо). Локальне послаблення та іржа зазвичай розглядаються як проблеми, які можна усунути на місці. У залежності від вимог до строків служби та можливостей доступу до споруди для його технічного обслуговування, довговічність сталевої конструкції може бути забезпечена одним або декількома з наступних способів:

- застосування товщого профілю або більш високої марки сталі для забезпечення більшого запасу за статичними характеристиками;
- захист шляхом нанесення покриття (рекомендується тільки для зон із високим ризиком виникнення корозії);
- уникнення максимальних згинальних моментів у зонах з високою ймовірністю виникнення корозії;
- розташування бетонного оголовка нижче рівня низької води;
- катодний захист, який подає струм, або анодне заземлення (захист поверхні, яка перебуває в постійному контакті з водою).

Важливою властивістю сталевих шпунтових паль є їх водонепроникність. Проникнення води крізь шпунтову стінку можливе тільки крізь замки. Завдяки своїй формі замки типу Larssen забезпечують високий ступінь протидії потоку фільтрації. Тому для таких споруд, як підпірні стінки, де допустимий помірний ступінь фільтрації, гідроізоляційні системи не вимагаються. У випадках, коли необхідно досягти середнього або високого рівня протидії фільтрації, наприклад у стінках, які огороджують забруднені ділянки, в опорних конструкціях мостів і тунелів рекомендується застосовувати подвійні палі з виконаною у заводських умовах гідроізоляцією або провареними змінними з'єднаннями. Для збільшення водонепроникності шпунтових стінок використовуються різні герметики на бітумній або силіконовій основі. Зварювання замків у місцях фільтрації забезпечує 100 % герметизацію.



Рис. 6. Використання шпунтових паль ArcelorMittal на будівельних майданчиках в Україні

У рамках державної програми «Велике будівництво» в Україні рекордними темпами будуються нові об'єкти інфраструктури, проводяться капітальні ремонти та відновлення дорожнього та комунального господарства. Тільки за останні два роки було реалізовано ряд проєктів із застосуванням шпунтових рішень виробництва ArcelorMittal, таких як міст у Нікополі, міст через канал Дніпро–Донбас, через річки Кільтиччя, Псел, Желонь, ряд штучних споруд на трасі Дніпро–Решетилівка та інші (рис. 6).

У світовій практиці шпунти вже давно та активно використовуються в різних галузях будівництва. Розглянемо кілька прикладів використання шпунтових паль ArcelorMittal зі світової практики.

Проєкт розширення кільцевої автодороги М25 навколо Лондона. Оскільки більша частина дороги прокладена у виїмці, будівництво ще однієї смуги вимагало спорудження підпірних стінок (рис. 7, 8). Підпірна стінка фіксувалася шляхом защемлення в ґрунті. Так як споруда лінійна, вкрай важливим фактором був час виконання підпірної стінки вздовж всієї ділянки дороги. Перші 22000 м^2 стіни планувалося звести за 40 машино-тижнів, але в результаті вдалося виконати за 28 тижнів. На будівельний майданчик шпунт постачався в здвоєних пакетах із обтисненням по замку, що також прискорило процес зведення стінки. Довжини паль варіювалися в діапазоні від 1,5 м до 18,5 м. Загальна вага шпунта склала близько 10000 тон. Використання шпунта дозволило продовжити роботу взимку.

На поперечному перерізі можна побачити, що довжина паль чергувалася таким чином, щоб з одного боку забезпечити стійкість підпірної стінки, з іншого – уникнути перевитрати матеріалу (рис. 9).



Рис. 7. Загальний вигляд шпунтової стінки



Рис. 8. Процес заглиблення шпунтових паль

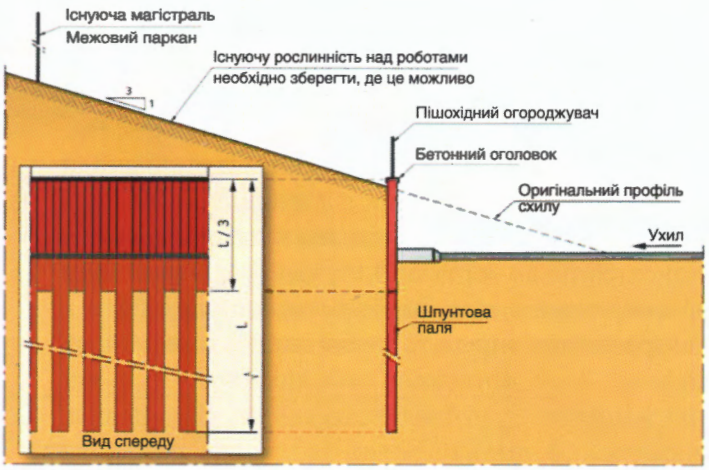


Рис. 9. Типовий поперечний переріз шпунтової стінки

Шосе С8 у Кракові (Польща). Опори шляхопроводу являють собою шпунтові палі з залізобетонним оголовком, який дає змогу розподілити вертикальні і горизонтальні навантаження на шпунтові палі. Таким чином, шпунтові палі даного типу конструкцій несуть не тільки горизонтальні, але й вертикальні навантаження (рис. 10).





Рис. 10. Загальний вигляд шляхопроводу

Розроблений метод спрощує розрахунок бетонного оголовка, що піддається високим вертикальним та горизонтальним навантаженням. Цей унікальний метод затверджений офіційним Німецьким Інститутом і отримав Національне Технічне Схвалення (National Technical Approval) в Німеччині (рис. 11, 12).

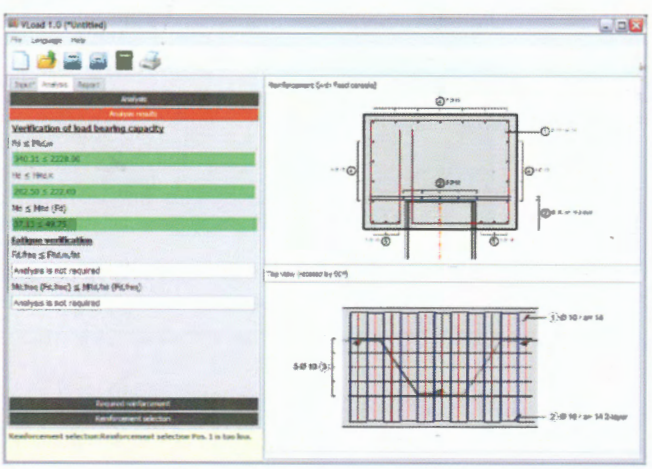


Рис. 11. Фрагмент розрахунку вузла стикування

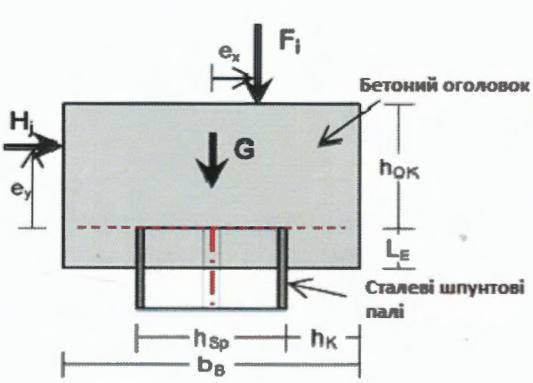


Рис. 12. Розрахункова схема вузла стикування

Реконструкція шосе А2 в Ейндховені (Нідерланди). В даному проєкті шпунт використовувався в якості шумозахисних екранів і як підпірна стінка між шосе та місцевими дорогами, що пролягають на різних рівнях (рис. 13). Для поліпшення звукозахисних властивостей шпунтова стінка забивалася під невеликим кутом по відношенню до вертикалі. Архітектори вирішили не покривати метал фарбою, залишивши його в натуральному вигляді, таким чином окалина на сталі надала своєрідного вигляду шосе, а також послугувала захистом від нанесення графіті. Протяжність звукозахисних екранів склала 10 км. Використовувався шпунт Z-профілю, довжина якого варіювалася в діапазоні від 2 м до 15 м. Загальна вага шпунта близько 14500 тон.

На деяких ділянках, задля забезпечення загальної стійкості стінки, було виконано анкерування шпунта за допомогою ґрунтових анкерів (рис. 14).

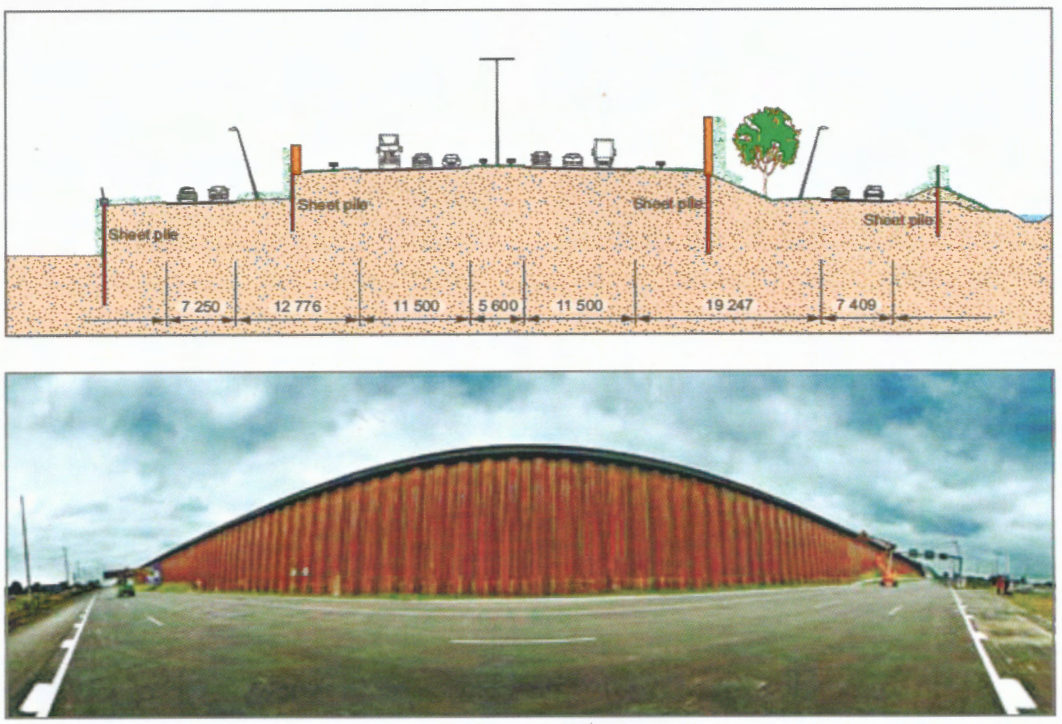


Рис. 13. Поперечний переріз та загальний вигляд шпунтової стінки вздовж шосе А2

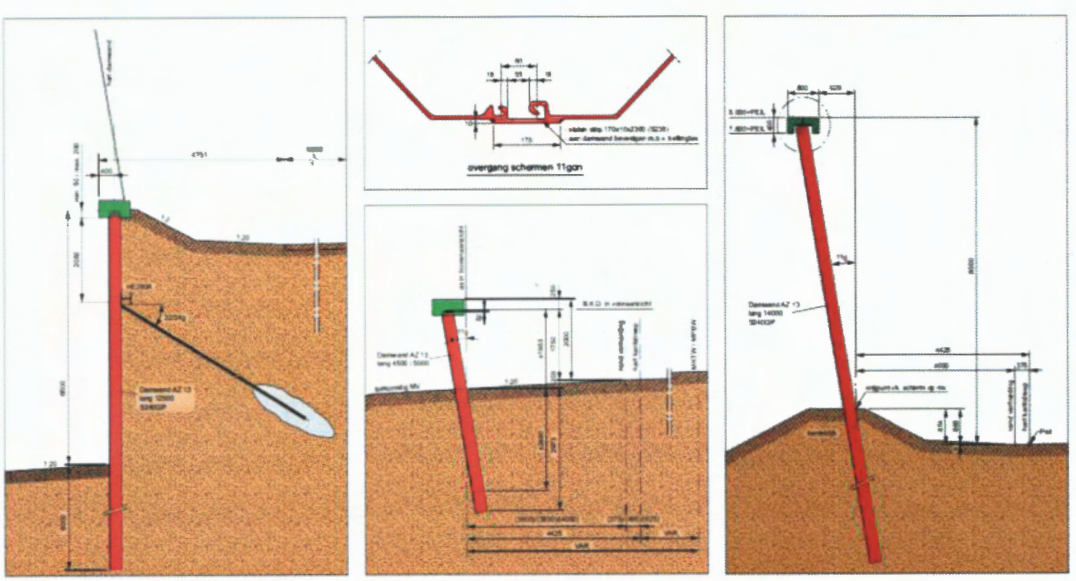


Рис. 14. Поперечні перерізи шпунтових стінок на різних ділянках шосе А2

Будівництво високошвидкісної залізничної лінії в Копенгагені (Данія). Дана залізнична лінія зі швидкістю руху поїздів до 250 км/год є частиною єдиної транс'європейської залізничної системи, що з'єднує північ Швеції із північною Італією. У проєкті використовувався шпунт коритного профілю завдовжки від 6 м до 15 м. Було використано близько 4500 тон шпунта для виконання 15100 м^2 стін тунелів і 19000 м^2 підпірних стін на відкритих ділянках (рис. 15, 16).

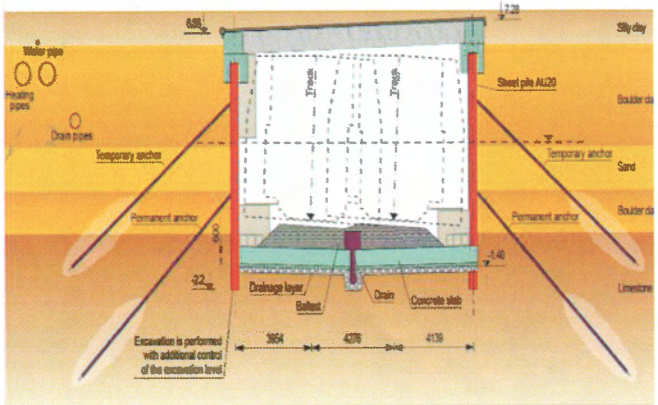


Рис. 15. Поперечний переріз (ділянка тунелю з використанням шпунтових паль)



Рис. 16. Загальний вигляд тунелю

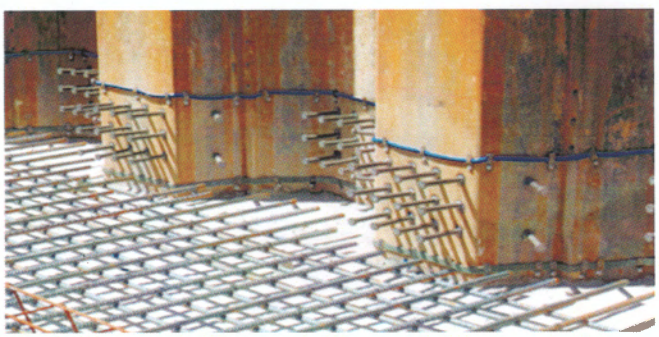


Рис. 17. Вузол з'єднання фундаментної плити зі шпунтовою стінкою

Вузол з'єднання фундаментної плити та шпунтової стінки, що забезпечує водонепроникність, показаний на рис. 17.

Дуже важливою перевагою шпунтових паль є можливість їх багаторазового використання під час будівництва тимчасових конструкцій (огородження котлованів, зведення коффердамів, виконання опор мостів тощо).

Для тимчасового утримання ґрунту та води можна використовувати сталеві шпунтові палі, профілі, і довжина яких підходить для будь-яких завдань, від невеликих проєктів до технологічно складних споруд із колосальними навантаженнями.

Оборотність шпунтових паль може досягати десяти разів, в залежності від обраної секції, досвіду підрядника, ґрунтових умов, обладнання для занурення і вилучення шпунтів тощо. Можливість багаторазового використання шпунта на різних ділянках будівництва або навіть в різних проєктах схиляє багатьох проєктувальників до вибору даного матеріалу для тимчасових конструкцій.

Застосовуючи сталеві шпунтові палі, слід також враховувати їх переваги щодо здоров'я та безпеки робітників, так як земляні роботи супроводжуються серйозною небезпекою в будь-якому будівельному середовищі. Сталеві шпунтові палі можуть значно знизити ризик нещасних випадків під час зведення тимчасових конструкцій.

Приклади використання шпунтових паль у тимчасових конструкціях наведені на рис. 18–22.

Таким чином, підсумовуючи, можна дійти висновку, що використання сталевих шпунтових паль має переваги, на які варто звернути увагу, а саме:

- геометрія перетинів і різні довжини дозволяють виконувати будівельні котловани різних геометричних форм згідно з планом;
- економічність та легкість виконання робіт;
- можливість багаторазового використання як для тимчасових конструкцій, так і в подальшому на інших об'єктах будівництва або в наступних проєктах;
- використання шпунтових паль мінімізує рух великовантажних автомобілів (бетон, автобетонозмішувачі) на будівельному майданчику. Також це сприяє утриманню ділянки будівництва у відносній чистоті;
- висока зносостійкість, у тому числі в важких умовах експлуатації;

ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ ШПУНТОВИХ ПАЛЬ У ТИМЧАСОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ



Рис. 18. Тимчасовий котлован. Метро у Відні (Австрія)



Рис. 19. Коффердам для влаштування опор моста (Франція)



Рис. 20. Загальний вигляд будівельного котловану з використанням шпунтових паль



Рис. 21. Процес заглиблення шпунтових паль поблизу житлових будинків





Рис. 22. Загальний вигляд будівельного котловану з використанням шпунтових паль

- можливість заздалегідь і з великою точністю спланувати витрати на матеріали;
- можливість виконання занурення шпунтів за умов обмеженого простору, а також при розташуванні поблизу існуючих комунікацій, старовинних будівель, об'єктів, що перебувають в аварійному стані тощо;
- простота транспортування та заглиблення з використанням сучасного обладнання;
- шпунти легко з'єднуються один з одним;
- шпунтові палі 100 % водонепроникні за умови зварювання замкових з'єднань.

Ринок сталевих шпунтових паль в Україні ще на етапі розвитку, а світовими лідерами в цій галузі залишаються Європа та США, але вже сьогодні сталеві шпунтові палі все частіше використовуються у проєктах українських компаній, як в приватних, так і в державних.

ArcelorMittal Projects Ukraine прагне донести до українського споживача всі переваги даного матеріалу, саме тому був відкритий склад шпунтових паль у м. Київ, що забезпечить швидкий доступ найпопулярніших секцій на будівельні майданчики по всій країні. З огляду на весь потенціал шпунтових паль, можна припустити, що найближчими роками цей продукт стане незамінним під час проєктування та будівництва будь-яких об'єктів, починаючи з невеликих котлованів, закінчуючи протяжними і багаторівневими мостами та розв'язками.

[1] Сучасні методи влаштування паль та шпунтових обгороджень: навч.посібник / О.В. Якименко; Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова. – ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2020. – 119 с.

[2] *Luchko J.* Determining patterns in the stressed-deformed state of the railroad track subgrade reinforced with tubular drains. / Luchko J., Kovalchuk V., Kravets I., Gajda O., Onyshchenko A. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, 5 (7–107), P. 6–13.

[3] *Shabatura O.* Development of a classification rule based on petrophysical parameters of rocks for the selection of massive with given properties / Shabatura O., Onyshchenko A. // 11th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 2017.

[4] *Onishchenko A.* Dam failure model and its influence on the bridge construction/ Onishchenko A., Koretskyi A., Bashkevych I., Ostroverkh B., Bieliatynskyi A. // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, 1258 AISC, P. 229–237.

[5] *Lantukh-Lyashchenko A.* Problem of the degradation criteria for transportation construction elements / Lantukh-Lyashchenko A., Onishchenko A., Davydenko O. // E3S Web of Conferences, 2020, 164, 03014.

Надійшла 25.10.2021 р.

НОВІ РОЗРОБКИ УКРАЇНСЬКОГО ІНСТИТУТУ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ІМЕНІ В.М. ШИМАНОВСЬКОГО

На замовлення Мінрегіону України та Асоціації «Український центр сталевого будівництва» базовою організацією – ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського» – завершена робота із підготовки нових нормативних документів, а саме:

1. Проект ДБН «Споруди холодильників. Основи проектування» (на заміну СНиП 2.11.02-87 «Холодильники»).
Проектом ДБН передбачається встановити нормативні вимоги до проектування та будівництва будівель та приміщень для збереження харчових продуктів.
Запровадження нового ДБН дасть можливість здійснювати проектування будівель та споруд із підвищеним рівнем безпеки, довговічності та енергоефективності, а також використання сучасних технологій, обладнання та виробничих процесів для забезпечення технологічного процесу довготривалого збереження харчових продуктів за рахунок низьких температур.

2. Проект Зміни ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд».
Розроблення зміни до ДБН дасть можливість привести положення норми до вимог чинного законодавства та підзаконних нормативно-правових актів; встановити принципи врахування результатів моделювання елементів конструкцій методом скінченних елементів та оновити нормативні посилання.

3. Проект Зміни ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування».
При розробленні зміни були опрацьовані наступні питання:
- уточнення вимог щодо використання сучасних марок сталі, в тому числі високоміцних, та виготовлення із них профілів;
- уточнення номенклатури кріпильних засобів та з'єднувальних матеріалів та вимог щодо їх використання;
- уточнення методик розрахунку та проектування сталевих конструкцій.

4. Проект Зміни 2 до ДБН А.1.1-94:2010 «Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення».
Метою розробки є удосконалення вимог застосування комплексу Європейських стандартів – Єврокодів для проектування будівельних конструкцій з урахуванням нових чинних нормативно-правових, нормативних актів та нормативних документів.

Введення в дію зазначених нормативних документів Мінрегіоном України заплановано на 2022 рік.

УДК 624.074

РОБОТА НА СТИСК СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН

Розглянуті питання розрахунку на стійкість та перевірки місцевої стійкості залізобетонних конструкцій в незнімній опалубці. Показана доцільність розрахунку загальної стійкості за приведеними перерізами, а при перевірці місцевої стійкості – згідно з вимогами Eurocode 4.

The considered questions of calculation are on firmness and verifications of local firmness of reinforced concrete constructions in planking which is not taken off. The done conclusion is about expedience of calculation of general firmness after the resulted cuts, and at verification of local firmness – to follow directions of Eurocode 4.

Ключові слова: стійкість, залізобетонні конструкції в незнімній опалубці.

Розрахунок на стиск сталезалізобетонних колон із зовнішнім армуванням незнімною опалубкою, проблеми якої розглянуті в [1], має суттєве значення, оскільки руйнування сталезалізобетонних колон найчастіше пов'язане з втратою загальної стійкості або їх окремих конструктивних елементів – місцевої втрати стійкості. Враховуючи це, діючі нормативні документи з розрахунку сталевих (ДБН В.2.6-198:2014 [2]), залізобетонних (ДБН В.2.6-98:2009 [3]), сталезалізобетонних (Evrocod 4 [4]) конструкцій передбачають розрахунки як на загальну стійкість, так і на перевірку місцевої стійкості.

Теорії стійкості стрижнів та пластин виникли із практичних проблем будівництва, оскільки при стискальних силах, що навіть трохи перевищують критичне навантаження, додаткові напруження вигину досягають вельми великих значень і безпосередньо загрожують міцності конструкції. Тому критичний стан, як безпосередня передумова руйнуванню, вважається неприпустимим у реальних умовах експлуатації. Визначення критичних навантажень є відповідальною частиною інженерного розрахунку конструкції і дозволяє уникнути втрати стійкості введенням належного запасу.

Як уже було відзначено, під час будівництва сталезалізобетонних колон доводиться застосовувати відносно тонкі сталеві листи, що працюють як робоче армування, тому у випадку їх стиснення виникають проблеми втрати ними місцевої стійкості. Вирішення цієї задачі ускладнюється тим, що ці сталеві листи з одного, а то й з обох боків, підкріплені бетоном, з яким вони працюють сумісно. Звичайно, ці випадки необхідно мати на увазі при розрахунку місцевої стійкості залізобетонних конструкцій в незнімній опалубці.

Eurocode 4 [4] містить загальні основи розрахунку комплексних будівельних конструкцій



О.І. Лапенко
завідувач кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів факультету архітектури, будівництва та дизайну Національного авіаційного університету, д.т.н., професор

та комплексних будівельних елементів наземних та інженерних споруд, тобто конструкцій з використанням сталевого прокату, поєднаного з бетоном.

Перевірку місцевої стійкості сталевих частин можна не проводити у стиснутих комплексних стійках наступних типів [4]:

- забетоновані поперечні перерізи (сталевий профіль повністю оточений бетоном, рис. 1,a);
- заповнені бетоном поперечні перерізи (сталевий профіль повністю забетонований, рис. 1,d–f);
- частково забетоновані поперечні перерізи (сталевий профіль тільки частково покритий бетоном, рис. 1,b,c),

а також для інших поперечних перерізів сталезалізобетонних колон (рис. 1), якщо виконуються наступні умови:

- для заповнених бетоном сталевих круглих труб $d/t \le 90\varepsilon^2$;
- для прямокутних сталевих порожнистих профілів $d/t \le 52\varepsilon$;
- для частково забетонованих двотаврових профілів $d/t \le 52\varepsilon$,

де d – зовнішній діаметр круглих труб; h – більший із двох зовнішніх розмірів, який паралельний до головної (основної) осі поперечного перерізу; t – товщина стінки заповнених бетоном порожнистих профілів; t_1 та b – товщина та ширина полки двотаврового чи складеного профілю.

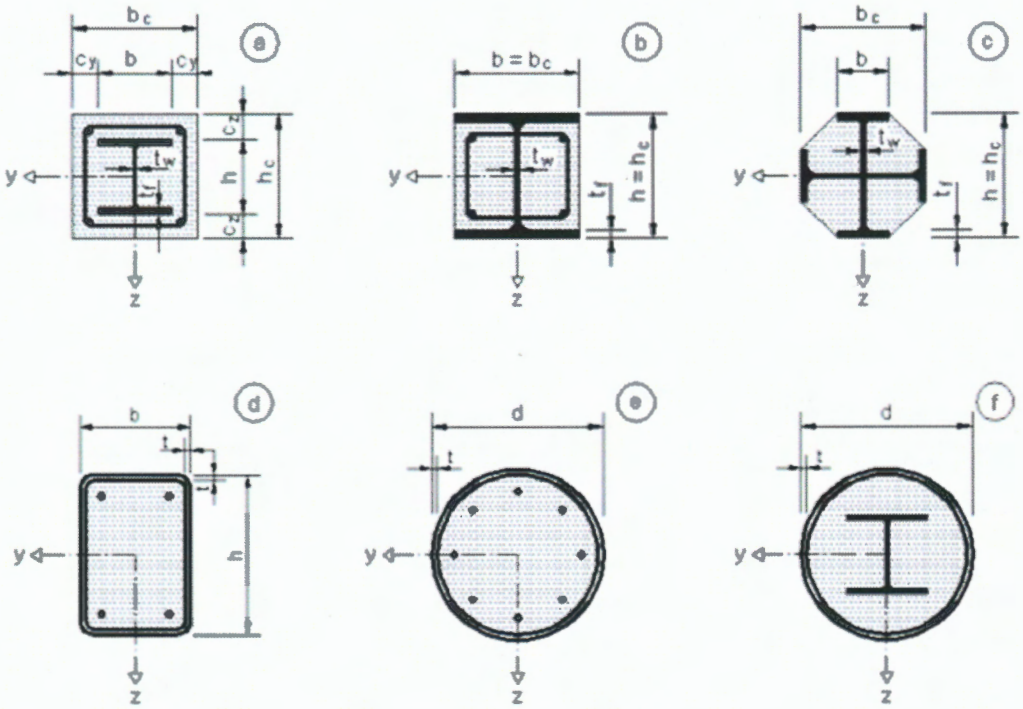


Рис. 1. Поперечні перерізи комплексних стійок, що розглядаються в Eurocode 4 [4]

Існує цілий ряд конструкцій, в яких використовується листове армування. При проєктуванні таких конструкцій постає завдання, окрім визначення загальної несної здатності, розглядати задачу стійкості пластини, що з одного боку контактує з бетоном. Розв'язання такої задачі дає можливість визначати зусилля, за якого в сталезалізобетонних конструкціях буде втрачати стійкість сталевий лист [5].

Розглянемо визначення критичних зусиль, що діють на пластину та викликають в ній початкові однорідні зусилля N_x^0, N_{xy}^0, N_y^0, розрахункова схема якої показана на рис. 2.

Рівняння нейтральної рівноваги відносно прогину пластини ω виведено з системи відомих лінеаризованих рівнянь теорії пружності [5]:

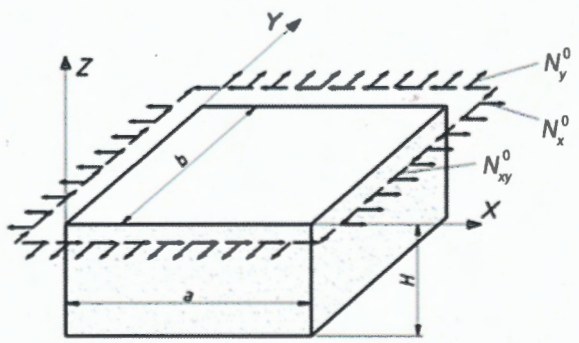


Рис. 2. Початковий напружений стан пластини на пружній основі

$$K_1K_2L_1(\varpi)-L_2(K_1\varpi_{,xx}+K_2\varpi_{,yy})+\nabla_0^4Q_z-$$
$$-\nabla_0^4(N_x^0\varpi_{,xx}+2N_{xy}^0\varpi_{,xy}+N_y^0\varpi_{,yy})=0, \qquad (1)$$

де L_1, L_2, ∇_0^4 – диференційні оператори:

$$L_1=D_{11}\frac{\partial^4}{\partial x^4}+4D_{13}\frac{\partial^4}{\partial x^3\partial y}+2(C+D_{33})\frac{\partial^4}{\partial x^2\partial y^2}+$$
$$+4D_{23}\frac{\partial^4}{\partial x\partial y^3}+D_{22}\frac{\partial^4}{\partial y^4};$$

$$L_2=(D_{11}D_{33}-D_{13}^2)\frac{\partial^4}{\partial x^4}+2(D_{11}D_{23}-D_{12}D_{13})\frac{\partial^4}{\partial x^3\partial y}+$$
$$+(D_{33}^2+2D_{13}D_{23}+D_{11}D_{22}-C^2)\frac{\partial^4}{\partial x^2\partial y^2}+ \qquad (2)$$
$$+2(D_{22}D_{13}-D_{12}D_{23})\frac{\partial^4}{\partial x\partial y^3}+(D_{22}D_{33}-D_{23}^2)\frac{\partial^4}{\partial y^4};$$

$$\nabla_0^4=L_2-(D_{11}K_2+D_{33}K_1)\frac{\partial^2}{\partial x^2}-$$
$$-2(D_{13}K_2+D_{23}K_1)\frac{\partial^2}{\partial x\partial y}-$$
$$-(D_{33}K_2+D_{22}K_1)\frac{\partial^2}{\partial x^2}+K_1K_2.$$

При цьому $D_{ij}=c_{ij}h^3/12$ $(i, j = 1, 2, 3)$; c_{ij} – є функціями від E_1, E_2, G, ν_1, ν_2 [6].

Залежності φ_x та φ_y від прогину ω наступні:

$$\nabla_0^4\varphi_x = D_{33}K_1\frac{\partial^2\omega}{\partial x^3}+(2D_{23}K_1-D_{13}K_2)\frac{\partial^3\omega}{\partial x^2\partial y}+$$
$$+(D_{22}K_1-CK_2)\frac{\partial^3\omega}{\partial x\partial y^2}-D_{23}K_2\frac{\partial^3\omega}{\partial y^3}-K_1K_2\frac{\partial\omega}{\partial x}.$$
$$\nabla_0^4\varphi_y = D_{33}K_2\frac{\partial^3\omega}{\partial y^3}+(2D_{13}K_2-D_{23}K_2)\frac{\partial^3\omega}{\partial x\partial y^2}+ \quad (3)$$
$$+(D_{11}K_2-CK_1)\frac{\partial^3\omega}{\partial x^2\partial y}-D_{13}K_1\frac{\partial^3\omega}{\partial x^3}-K_1K_2\frac{\partial\omega}{\partial y}.$$

У результаті вирішення цієї задачі отримана формула для визначення критичної сили

$$N_{кр}=\frac{D\pi^2}{b^2}K_x, \quad (4)$$

де D – циліндрична жорсткість.

Параметр K_x визначається в залежності від відносної жорсткості основи.

При дослідженні елементів без поздовжньої арматури стійкість стінки розглядалась як стійкість пластини на пружній основі, що враховує сумісну роботу бетону та листової арматури. Розрахунки показують, що втрата місцевої стійкості сталевого листа, який сумісно працює з залізобетоном, виникає при напруженнях більших за зусилля плинності в сталевому листі. Це означає, що втрата місцевої стійкості відбувається не в пружній, а в пружно-пластичній та в пластичній стадії роботи конструкцій. Втрата стійкості сталевого листа, що сумісно працює з залізобетонною основою, відбувається одночасно з втратою несної здатності всієї конструкції.

Розрахунок стійкості стиснутих колон за приведеним до сталі перерізом (пружний розрахунок) є наближеним і використовується для орієнтовної оцінки несної здатності сталезалізобетонних конструкцій. Розрахунок проводиться з виконанням умов стійкості в площині дії моменту та із площини.

Розрахунок міцності за приведеним до сталі перерізом сталезалізобетонних елементів, що працюють на позацентровий стиск, в площині дії моменту виконується за формулою

$$\frac{N}{\varphi_e A_{red}}\le R_y\gamma_c, \quad (5)$$

де γ_c – коефіцієнт умов роботи конструкції, що визначається у відповідності до [2]; R_y – розрахунковий опір сталевого елемента при роботі на розтяг; A_{red} – приведена площа перерізу сталезалізобетонного елемента, яка визначається за формулою

$$A_{red}=A_r+n_sA_s+n_bA_b, \quad (6)$$

де n_s і n_b – коефіцієнти приведення поперечного перерізу відповідно стрижневої арматури та бетону до сталевого двотавра, що визначаються із виразів:

$$n_s=\frac{E_s}{E_r}, \quad n_b=\frac{E_b}{E_r},$$

де E_s, E_b та E_r – модулі пружності відповідно стрижневої арматури, бетону та сталевого двотавра.

Гнучкість у розрахунку сталезалізобетонних елементів при роботі на позацентровий стиск враховується коефіцієнтом поздовжнього згину φ_e, який визначається з допомогою інтерполяції за ДБН В.2.6-198:2014 [2] при відомих умовній гнучкості $\bar{\lambda}$ та приведеному відносному ексцентриситеті m_{ef}. Умовна гнучкість визначається за формулою

$$\bar{\lambda}=\lambda\sqrt{\frac{R_y}{E_r}}, \quad (7)$$

де λ – гнучкість сталезалізобетонного елемента, що визначається з виразу

$$\lambda=\frac{l_{ef}}{i_{red}}, \quad (8)$$

в якому i_{red} – приведений радіус інерції всього перерізу обчислений за формулою

$$i_{red}=\sqrt{\frac{I_{red}}{A_{red}}}, \quad (9)$$

в якій I_{red} – приведений момент інерції, який визначається з виразу

$$I_{red}=I_r+n_sI_s+n_bI_b, \quad (10)$$

де I_r, I_s та I_b – моменти інерції складових поперечного перерізу конструкції.

Приведений відносний ексцентриситет m_{ef} визначається з виразу

$$m_{ef}=m\cdot\eta, \quad (11)$$

де η – коефіцієнт впливу форми перерізу, що визначається за ДБН В.2.6-198:2014; m – відносний ексцентриситет, який визначається за формулою

$$m=\frac{e_0A_{red}}{W_{red}}, \quad (12)$$

де e_0 – повний ексцентриситет прикладення навантаження N;

W_{red} – приведений момент опору перерізу сталезалізобетонного елемента, що визначається за формулою

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_{\max}}, \qquad (13)$$

де $y_{\max}$ – відстань від центра ваги перерізу до найвіддаленішої точки перерізу по осі Y.

Висновки.

Розглянутий метод з успіхом може використовуватися при розрахунку стиснутих гнучких сталезалізобетонних колон.

Таким чином при перевірці місцевої стійкості сталевих листів, що працюють як складова частина залізобетонних конструкцій, слід керуватися Eurocode 4 [4], при цьому враховувати такі його вимоги: не розраховувати на місцеву стійкість забетоновані поперечні перерізи (сталевий профіль повністю оточений бетоном); заповнені бетоном поперечні перерізи (сталевий профіль повністю забетонований, частково забетоновані поперечні перерізи), сталевий профіль тільки частково покритий бетоном, а також для інших поперечних перерізів сталезалізобетонних колон, передбачених Eurocode 4 при відповідному співвідношенні d/t. При розрахунку загальної стійкості стиснутих сталезалізобетонних елементів найпростішим та таким, що дає задовільні результати, є метод розрахунку за наведеними перерізами. Цей метод досить простий і дозволяє враховувати табличні коефіцієнти щодо гнучкості, згідно з чинним ДБН В.2.6-198:2014 [2].

[1] *Стороженко Л.І.* та ін. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці / Л.І.Стороженко, О.І.Лапенко // Полтава: ACMI, 2008. – 312 с.

[2] ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 122 с.

[3] ДБН В.2.6-98:2009 . Бетонні та залізобетонні конструкції. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

[4] Eurocod 4. Common Unified Rules for Composite Steel and concrete Structures European Committee for Standardization. (CEN) ENV. 1994 – 1-1:1992. – 180 p.

[5] *Ильгамов М.А.* и др. Расчет оболочек с упругим заполнителем / М.А. Ильгамов, В.А. Иванов, Б.В. Гулин // М.: Наука, 1987. – 134 с.

Надійшла 15.11.2021 р.

У ТЕХНІЧНОМУ КОМІТЕТІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ № 301 «МЕТАЛОБУДІВНИЦТВО»

З метою удосконалення нормативної бази металобудівництва за рахунок розроблення нових сучасних національних стандартів на замовлення Асоціації «Український центр сталевого будівництва» підготовлені проекти наступних нормативних документів:

1. ДСТУ XXXX:20XX «Двотаври сталеві зварні. Технічні вимоги та сортамент».

Проект національного НД створює нові можливості для проектантів, надаючи великий сортамент стандартних балок різного призначення без обмежень щодо виготовлення.

В стандарті встановлюються вимоги до розмірів перерізів та геометричних характеристик зварних двотаврових профілів.

2. ДСТУ XXXX:20XX «Конструкції сталеві будівельні. Настанова з оцінювання якості конструктивних рішень».

Новий стандарт призначений для оцінювання якості конструктивних рішень сталевих будівельних конструкцій для будинків, споруд та об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури за технічним рівнем і економічною ефективністю на основі проектної документації незалежно від стадії проектування.

3. ДСТУ XXXX:20XX «Стінові панелі з каркасом зі сталевих тонкостінних холодноформованих елементів. Вимоги до виготовлення і монтажу».

У проекті стандарту викладені вимоги щодо виготовлення і монтажу виробів із сталевих тонкостінних холодноформованих елементів, що відіграють роль несних елементів панелі, а також до вибору матеріалів утеплювача, опоряджувального покриття і захисного шару. Функціональне призначення виробів полягає у захисті будівлі від впливів навколишнього середовища та передачі вітрового навантаження на несні конструкції будівлі.

Прийняття перелічених нових нормативних документів заплановано в першому півріччі 2022 року.

УДК 625.745.1

МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ПОКРИТТЯ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОТРАНСПОРТНОЇ МАГІСТРАЛІ

У статті викладено аналіз стану транспортних споруд. Виконано моніторинг ефективності протикорозійного захисту при влаштуванні гідроізоляції в період будівництва автотранспортної магістралі. Надано результати експериментальних досліджень показників адгезії гідроізоляційних покриттів, влаштованих на конструкціях залізобетонних плит прогонових будов споруд автотранспортної магістралі. Робота включала визначення міцності зчеплення (адгезії) на локальних ділянках поверхні конструкцій залізобетонної плити з шаром гідроізоляційного покриття (мембрани). Здійснено оцінку показників відповідності конструктивних рішень, технологічності виконання проєкту та інструментального контролю властивостей (адгезії) покриття в польових умовах з подальшою камеральною обробкою отриманих результатів досліджуваних параметрів.

The article presents an analysis of the condition transport construction. The results monitoring the construction and installation works during construction of the highway are presented. The results experimental researches indicators adhesion the waterproofing coverings arranged on designs reinforced concrete plates girder structures constructions of the highway are given. The work included determining the strength adhesion (adhesion) on local areas surface reinforced concrete slab structures with a layer waterproofing coating (membrane). The indicators conformity constructive decisions, manufacturability of project execution and instrumental control properties (adhesion) a covering in field conditions with the subsequent laboratory processing received results investigated parameters are estimated.

Ключові слова: технологічна безпека, транспортна споруда, протикорозійний захист, гідроізоляція, адгезія, ресурс, експлуатація.

За даними Аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ) на автомобільних дорогах загального користування налічується більше 16 тис. транспортних споруд, з яких близько 6 тис. на дорогах державного значення та 10 тис. місцевого (рис. 1).

На теперішній час більш як 10 тис. цих споруд не відповідають сучасним нормам та стандартам за габаритами та вантажопідйомністю, а понад 2 тис. потребують термінового ремонту. Середній вік мостів становить від 50 до 60 років, оскільки 81 % їх збудовано до 1980 року [1].

Для покращення ситуації в галузі мостобудування протягом останніх років реалізується масштабна Національна програма з відновлення мостів. За даними Державного агентства автомобільних доріг України «УКРАВТОДОР» до 2025 року освоєнню підлягає більше одного мільярда долларів (рис. 2).

Програма фокусується насамперед на спорудах, що перебувають у 4…5 станах. До реалізації програми входить також будівництво через р. Дніпро у м. Запоріжжя 9 км автодороги з транспортними спорудами, у тому числі з двома сталевими мостами: вантовим – завдовжки 660 м та балковим – завдовжки 340 м (рис. 3). Генеральною підрядною організацією є турецька компанія «Onur Taahhut». Кошторис проєкту складає 11,92 млрд. грн. [2].



А.М. Онищенко
завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд Національного транспортного університету, д.т.н., професор



О.М. Гібаленко
професор кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд Національного транспортного університету, д.т.н.



Л.П. Боднар
начальник центру транспортних споруд ДП «ДерждорНДІ», к.т.н.



Я.В. Болотов
провідний інженер відділу визначення технічного стану споруд Центру транспортних споруд ДП «ДерждорНДІ»



М.А. Борисенко
м.н.с. відділу визначення технічного стану споруд Центру транспортних споруд ДП «ДерждорНДІ»

 © Онищенко А.М., Гібаленко О.М., Боднар Л.П., Болотов Я.В., Борисенко М.А.

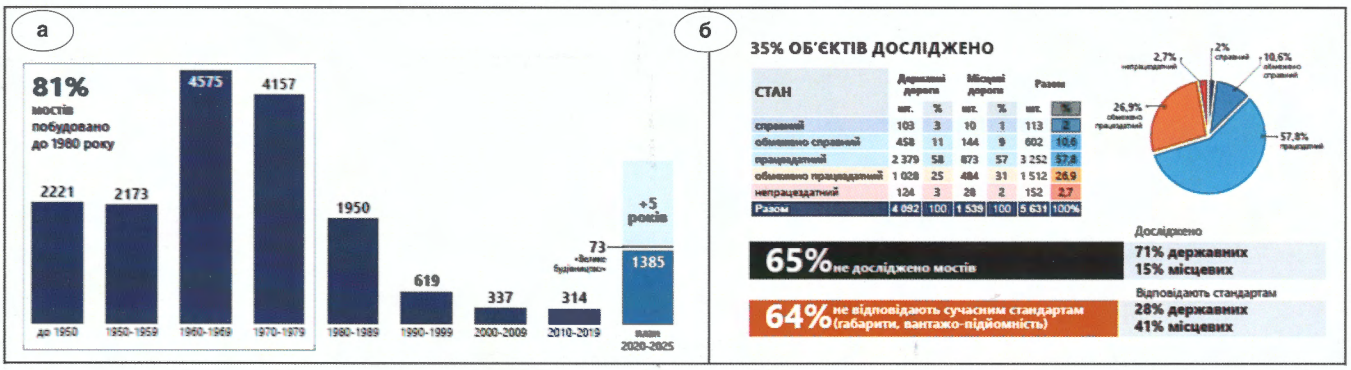


Рис. 1. Мости на дорогах загального користування:
а – кількість побудованих та відновлених мостів; **б** – технічний стан мостів

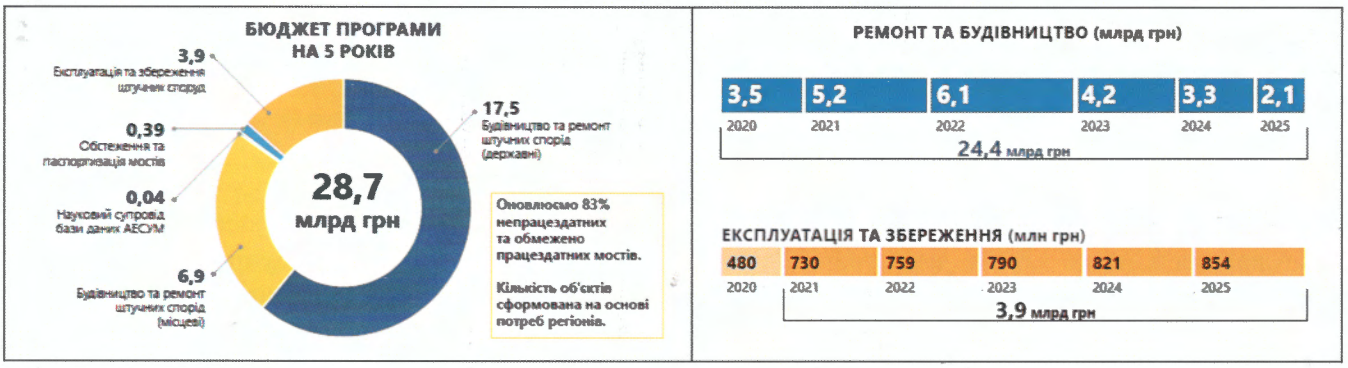


Рис. 2. Показники Національної програми з відновлення мостів

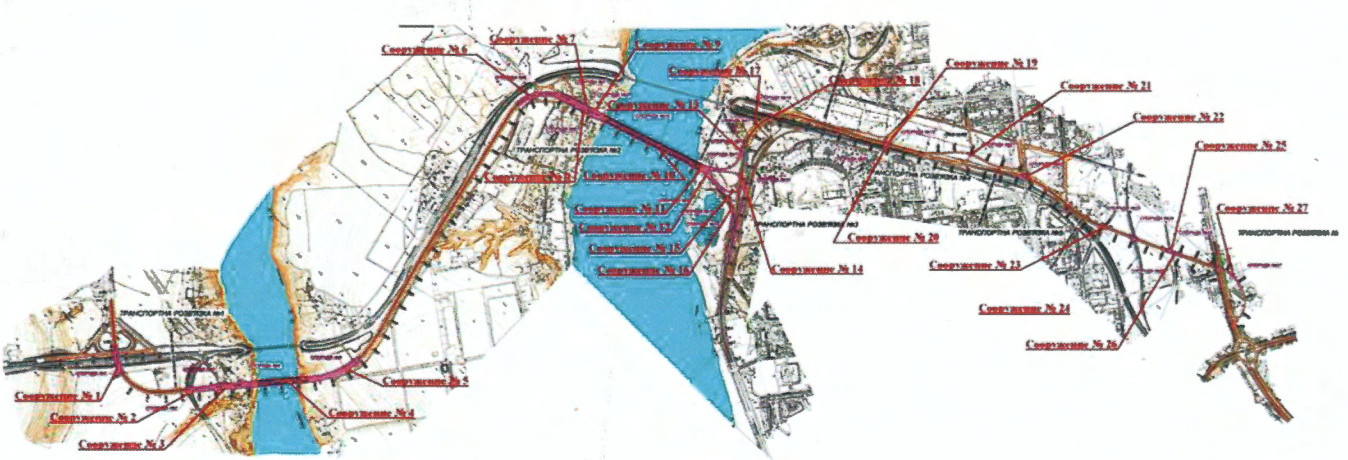


Рис. 3. Схема автотранспортної магістралі через р. Дніпро у м. Запоріжжя

При будівництві транспортних споруд використовується значна кількість металоконструкцій, як основних, так і допоміжних, загальною вагою понад 15 тис. т., замовлення на виготовлення яких отримали 15 вітчизняних підприємств (рис. 4).

Згідно із специфікою таких конструкцій, як для несних, так і для допоміжних частин споруд, найбільший обсяг на їх виготовлення розміщено на металургійних підприємствах.

Біля 10 тис. т металоконструкцій поставляються Миколаївським суднобудівним заводом «Океан». Постачальниками сталі для проєкту виступили компанії гірничо-металургійного комплексу та металообробні підприємства. Серед них – підприємство «Метінвест», компанія «АрселорМіттал Кривий Ріг».

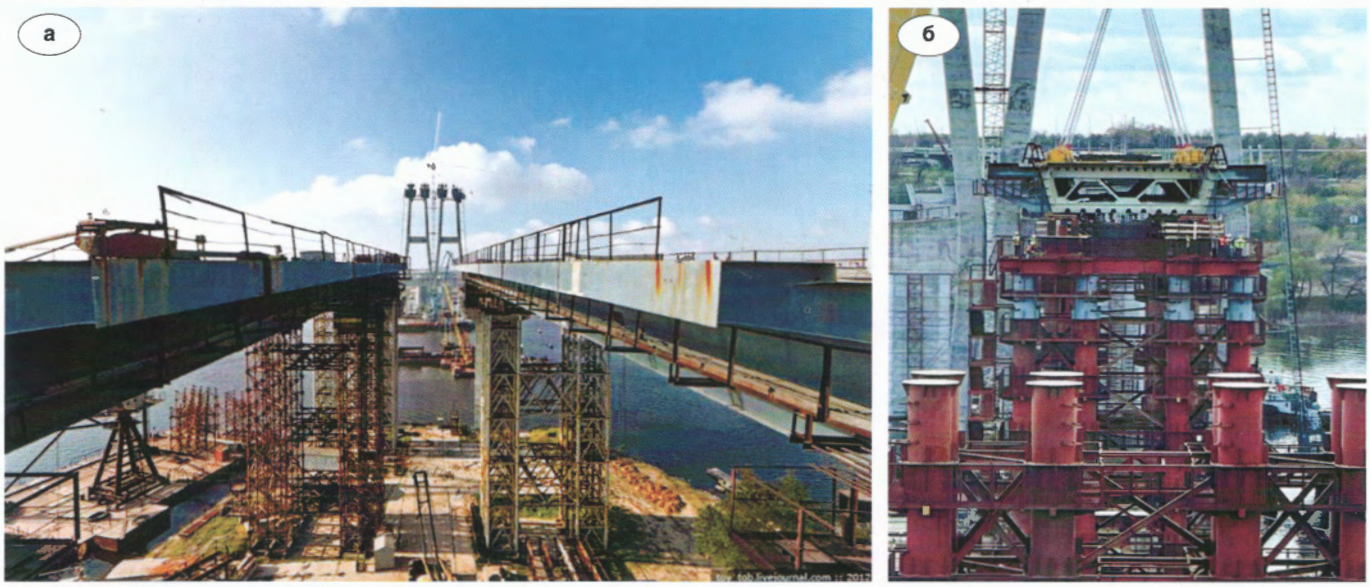


Рис. 4. Монтаж несних та допоміжних металевих конструкцій (а) і опор (б)

Компанія «Укрсталь-Конструкція» забезпечує виготовлення близько 1,8 тис. т мостових блоків. Для цього проєкту необхідно поставити металоконструкцій загальним обсягом до 4 тис. т сталевого прокату.

Сталеві канати виготовлені швейцарською металообробною компанією Fatzer AG [3].

Технологічні операції монтажу металевих конструкцій прогонової будови 720-тонної, 84-метрової секції моста на опори виконано великомонтажним краном Lifting LK-800 Zakhariy (рис. 5).

Велика кількість металевих конструкцій, що використовуються при будівництві споруди, зумовлює необхідність влаштування надійного протикорозійного захисту, а саме: гідроізоляції – як одного з ефективних методів захисту від корозії.

Унікальність та відповідальність споруди автотранспортної магістралі через р. Дніпро у м. Запоріжжя, як об'єкта Національної програми відновлення мостів, потребує вирішення важливої задачі забезпечення технологічної безпеки об'єкта будівництва, яка має на меті:



Рис. 5. Монтаж секцій краном Lifting LK-800 Zakhariy

- вдосконалення організаційно-технічного механізму регулювання ефективності заходів вторинного захисту від корозії конструкцій прогонових будов і споруди в цілому;
- розроблення методики перевірки і контролю виконання вимог нормативно-конструкторської бази;
- забезпечення ефективності технології протикорозійного захисту при застосуванні відповідних матеріалів і технологій.

У проєкті будівництва автотранспортної магістралі через р. Дніпро використано високотехнологічні гідроізоляційні покриття конструкцій, що є ефективним методом захисту від корозії. Однією з основних якісних характеристик гідроізоляційних покрить є адгезія з поверхнею конструкції [4].

У процедурі контролю якості виконання робіт важливу роль відіграє підхід, орієнтований на забезпечення ресурсу елементів споруди, що дає можливість оцінювання довговічності проєктно-конструкторських рішень на стадії зведення.

Набувають актуальності дослідження, спрямовані на вирішення проблеми забезпечення терміну служби прогонової будови шляхом запобігання виникненню та протіканню деградаційних процесів у конструкціях і матеріалах [5, 6].

Мета досліджень – розроблення методики оцінки ризиків за ознаками корозійної небезпеки на основі процесного підходу забезпечення технологічної безпеки споруд автотранспортної магістралі за рахунок вдосконалення методів та засобів контролю відповідності проєктним рішенням вторинного захисту від корозії.

Одночасно є важливим впровадження відповідних конструктивних рішень, що забезпечують довговічність конструкцій, обґрунтовуючи використання відповідних матеріалів, технологій, засобів і методів захисту.

Практичне використання інженерної методики моніторингу для забезпечення проєктного терміну служби прогонових будов [7, 8] автотранспортної магістралі на стадії будівництва приведено на рис. 6.

При виконанні досліджень автодорожнього покриття використовується процедура перевірки забезпечення нормативного рівня міцності на адгезію контакту гідроізоляційного покриття з основою [9].

Дослідження на адгезію до основи проводились на конструкціях залізобетонної плити з шаром гідроізоляційного покриття (мембрани) BIGUMA-GUSSTEX. Конструкції розташовані на території будівельного майданчика споруди 13 та споруди 14кр автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжя (автомобільна дорога Н-08 Бориспіль – Дніпро – Запоріжжя (через м. Кременчук) – Маріуполь «Під'їзд до о. Хортиця»).

Випробування виконувалось відповідно до вимог ДСТУ Б ГОСТ 28574 з використанням: відривних контрольних упорів («грибків») діаметром 20 мм; шарнірного з'єднання для передачі зусилля розтягу. Нормоване значення адгезійної міцності гідроізоляційного покриття до основи прийнято таким, що дорівнює 0,3 МПа згідно з вимогами.

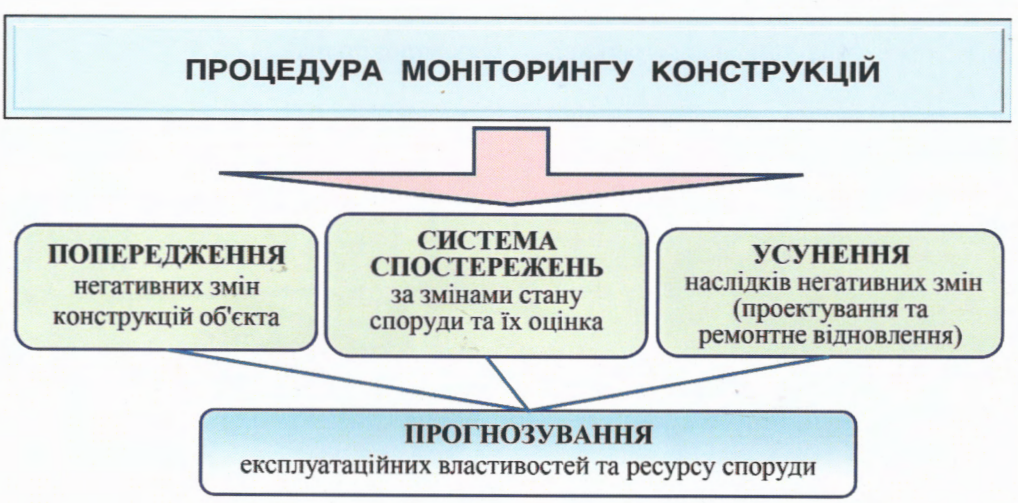


Рис. 6. Блок-схема методики моніторингу забезпечення проєктного терміну служби

Міцність зчеплення гідроізоляції з поверхнею бетону ($R_{зч}$) обчислюють за формулою

$$R_{зч} = P/S,$$

де P – значення сили, за якої відбувся відрив, Н; S – площа відриву, м^2.

При випробуваннях розглядалися три групи методів. До першої групи належать методи визначення адгезії шляхом відриву, який відбувається в результаті порушення адгезійної взаємодії між адгезивом та субстратом. Друга група методів заснована на визначенні фактичної адгезії без порушення адгезійної взаємодії. Третя група методів дає можливість отримати відносні характеристики адгезійної взаємодії – визначення ступеня опору готового покриття процедурі відокремлення від попереднього шару або підкладки в штучно створених ситуаціях, коли прикладається певне зусилля (перпендикулярне розтягування або паралельні надрізи).

При обробленні результатів випробувань за величину адгезії приймалося середнє арифметичне значення результатів (не менше ніж у трьох місцях). Відрив диска по гідроізоляції або бетону свідчить, що адгезія гідроізоляції до бетону більша ніж адгезія в матеріалі гідроізоляції або міцність бетону на розтяг.

Застосоване обладнання:

- адгезіометр;
- «грибки» (спеціальні пристрої для приклеювання до покриття та подальшого відриву адгезіометром), виготовлені з алюмінію діаметром 20 мм;
- різальний пристрій (кільцева фреза з внутрішнім діаметром різального елемента, що відповідає зовнішньому діаметру «грибка») для прорізання покриття до основи навколо «грибка»;
- пристосування для кріплення зразка у захваті.

Методика регламентує процедуру визначення сили, яку необхідно прикласти для відривання гідроізоляційного покриття від бетонної поверхні в напрямі, перпендикулярному до площини покриття, за допомогою приклеєного контрольного упора («грибка») і динамометра (адгезіометра).

При випробуванні можливим є відрив контрольного упора («грибка») як по гідроізоляційному покриттю, так і по основі.

Було використано відривний механізм (динамометр-адгезіометр Elcometer 506) для випробувань матеріалів на розтяг, що забезпечує питоме зусилля відриву не менше 5 МПа згідно з ДСТУ Б ГОСТ 28574 (рис. 7). Межа допустимої похибки вимірювання навантаження (зусилля) не перевищує ±1 %, починаючи з 0,2 від найбільшого граничного значення кожного діапазону; швидкість переміщення рухомого захвату 100 ± 5 мм/хв.

Відривні контрольні упори («грибки») розташовуються в межах характерної зони експлантації конструкцій [10] з нанесеним покриттям гідроізоляції на поверхні плити споруди. Процедуру та послідовність виконання дослідження наведено на рис. 8–13. Визначення властивостей міцності зчеплення (адгезії) гідроізоляційного покриття (мембрани) BIGUMA-GUSSTEX виконано на поверхні конструкції залізобетонної плити. В розрахунок приймались результати, коли руйнування відбулось по матеріалу гідроізоляційного покриття. Результати досліджень наведено у таблиці.

Адгезія гідроізоляційного покриття міцністю зчеплення від 0,3 МПа згідно з положенням М 03450778-746:2015, нормами ДСТУ ISO 4624:2019 (ISO 4624:2016, IDT) класифікується як задовільна.

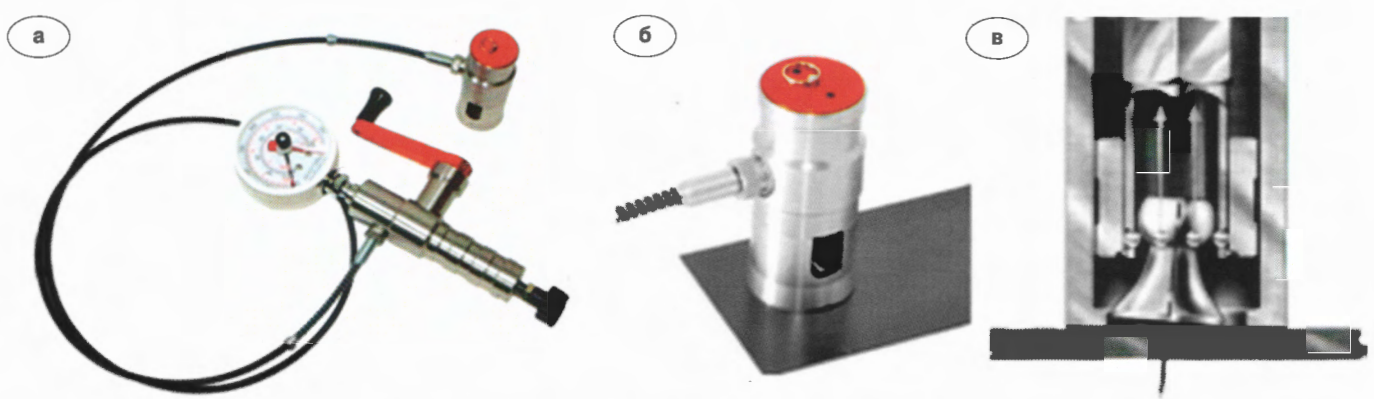
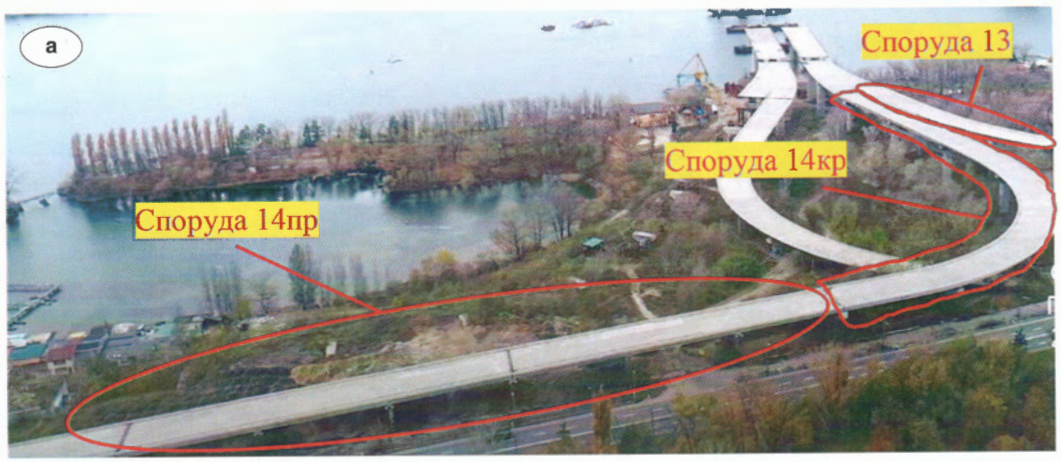


Рис. 7. Самовирівнювальний адгезіометр Elcometer 506:
а – загальний вигляд приладу; **б** – пристрій зачеплення; **в** – схема відриву грибка



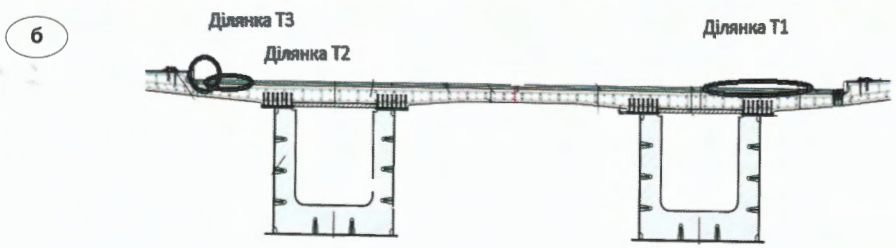


Рис. 8. Розташування ділянок виконання дослідження:

а – загальний вигляд споруд;

б – схема розташування ділянок у перерізі споруд:
– ділянка Т1 (споруда 13);
– ділянки Т2, Т3 (споруда 14кр)

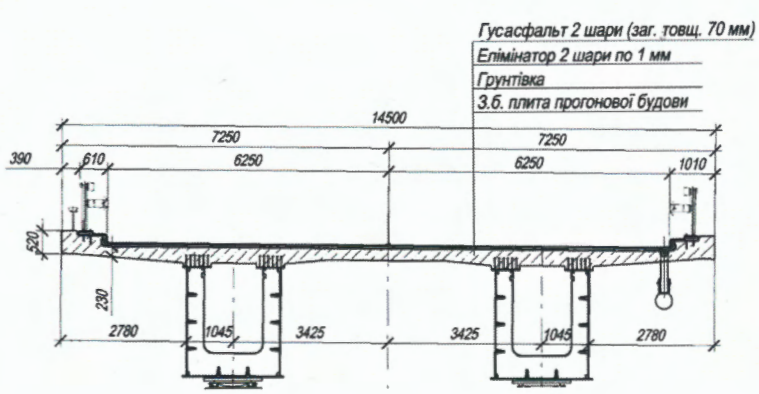




Рис. 9. Поперечний переріз та загальний вигляд прогонової будови у межах споруди 14кр

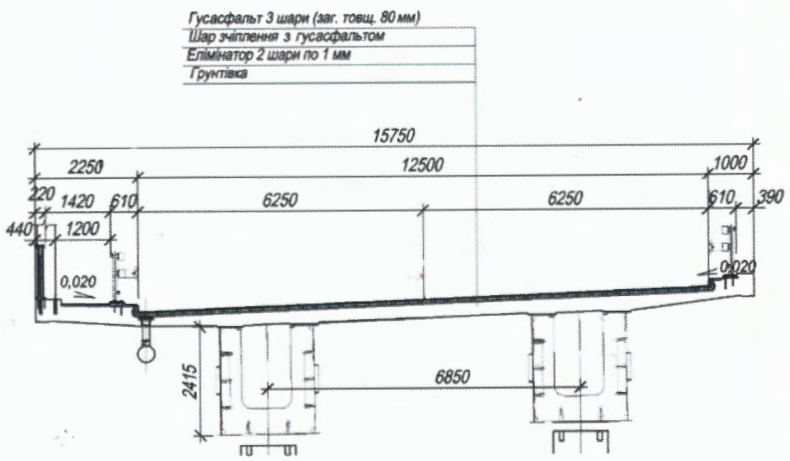




Рис. 10. Поперечний переріз та загальний вигляд споруди 13

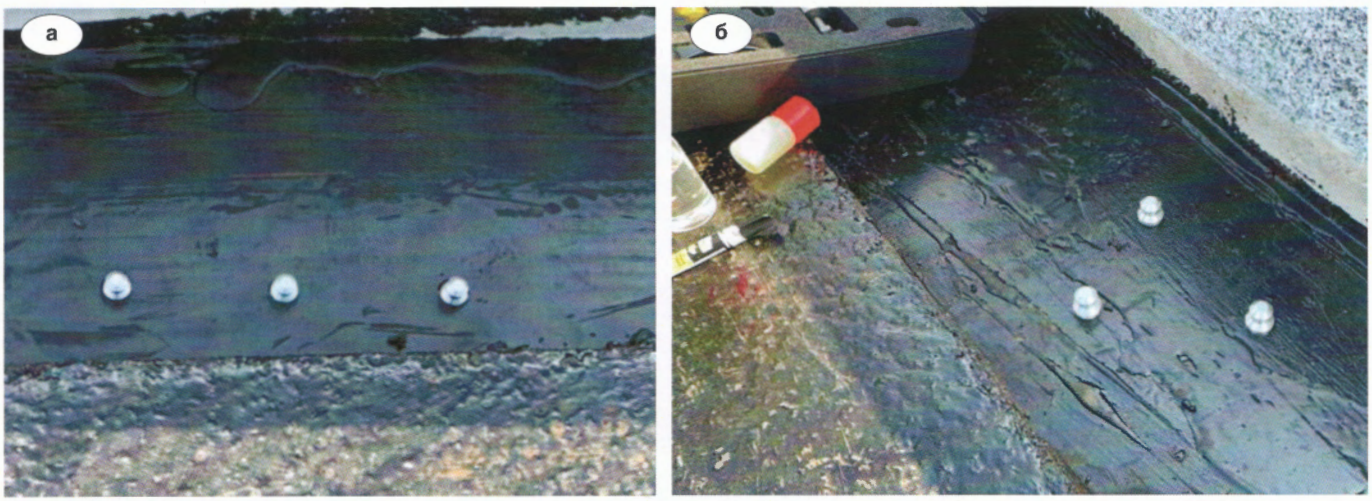


Рис. 11. Розташування відривних контрольних упорів в межах характерної зони на поверхні плити споруди 14кр:
а – лінійне розташування, ділянка Т2; **б** – кутове розташування, ділянка Т3



Рис. 12. Експериментальний зразок контрольних упорів («грибків») після вилучення з ділянки дослідження

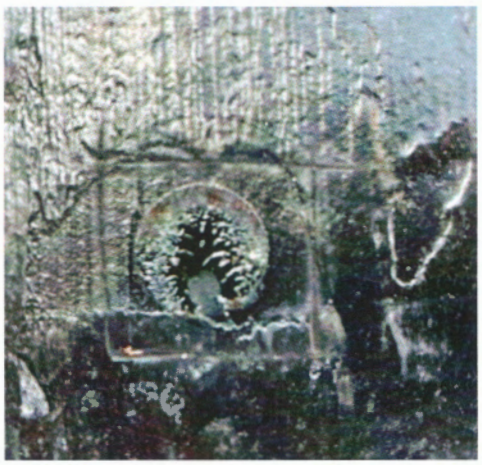


Рис. 13. Стан поверхні мембрани після виконання досліджень з використанням відривних контрольних упорів («грибків»)

Результати випробувань на величину адгезії

Марка зразка	Вид покриття	Адгезія, МПа	Площа відриву А, см^2	Характер відриву *	Місце розташування ділянки	Величина максимальних навантажень, МПа	
						при окремих випробуваннях	середня
Т1	Гідроізоляційна мембрана	1,45	3	А А А А	Середина	1,80 1,17 1,50 1,44	1,45
Т2	Гідроізоляційна мембрана	1,69	3	А А К	Середина	1,25 1,71 2,06	1,69
Т3	Гідроізоляційна мембрана	1,99	3	К А К	Середина	2,07 1,80 2,09	1,99

* А – адгезійний, К – когезійний.

Висновки.

1. Гідроізоляційне покриття BIGUMA-GUSSTEX пройшло випробування на відповідність нормованим показникам адгезійної міцності до бетонної основи, які встановлені згідно з державними стандартами для ідентифікації якості гідроізоляції.

2. На основі аналізу даних встановлена відповідність покриття BIGUMA-GUSSTEX вимогам Технічних умов підприємства-виробника, нормованим показникам адгезійної міцності до конструкції залізобетонної плити, які визначені державними стандартами для ідентифікації якості.

3. Аналіз результатів випробувань свідчить, що покриття BIGUMA-GUSSTEX має високі показники адгезійної міцності до основи, які перевищують нормативно встановлені на відрив приблизно у п'ять разів.

4. На підставі розробленої методики визначені заходи із забезпечення надійності при моніторинговому контролі стану транспортних споруд зі складанням документації на виконання.

5. Розроблено рекомендації щодо визначення подальших заходів із влаштування дорожнього одягу, обґрунтування конструкторсько-технологічних рішень та заходів технічного обслуговування споруди за фактичним станом.

[1] Електронний ресурс: https://cfts.org.ua/articles/most_1728.

[2] Електронний ресурс: https://cfts.org.ua/analitika.

[3] Електронний ресурс: https://cfts.org.ua/spetsproekty/ navesti_mosty_chto_nuzhno_znat_o_natsionalnoy_programme_vosstanovleniya_mostov_

[4] Адгезійна міцність полімерцементного матеріалу при влаштуванні гідроізоляції басейну / *Й.Й. Лучко, Б.З. Парнета, А.Я. Пенцак, О.В. Петренко* // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса. – 2019. – Вип. 76. – С. 93–102. DOI: 10.31650/2415-377X-2019-76-93-102.

[5] *Давиденко О.О.* Оцінка технічного стану і прогнозування залишкового ресурсу автодорожніх мостів / О.О. Давиденко // Автомобільні дороги, науково-виробничий журнал № 1 (237). – 2014. – Січень–лютий.

[6] *Лантух-Лященко А.И.* О прогнозе остаточного ресурса моста / А.И. Лантух-Лященко // Дороги і мости. – 2007. – Т. 2, вып. 7. – С. 3–9.

[7] ДБН В.2.3-22: 2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Вводяться на заміну ДБН В.2.3-14: 2006; чинний від 2010-03-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 52 с. – (Державні будівельні норми України).

[8] ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – На заміну ВБН В.3.1-218-174-2002 ; чинний від 2010-03-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с. – Національний стандарт України.

[9] ASTM D6153-97(2007). Standard Specification for Materials for Bridge Deck Waterproofing Membrane Systems. December 2007.

[10] *Gibalenko A.* Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard / A. Gibalenko, V. Korolov, J. Filatov // AKTUALNE PROBLEMY KONSTRUKCJI METALOWYCH. 2014, Gdansk Poland. – P. 98–102.

Надійшла 08.11.2021 р.

УДК 69.024

ПРАКТИЧНІ ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ШТУЧНИХ СПОРУДАХ

У статті наведені практичні заходи з підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на Подільському мостовому переході за рахунок гідроізоляційного захисту. Розроблені варіанти конструкцій дорожнього одягу, які знайшли своє практичне застосування.

This article presents practical measures to increase the durability of asphalt pavement at the Podolsk bridge crossing due to waterproofing protection. Variants of road clothing designs have been developed and have found their practical application.

Ключові слова: асфальтобетон, штучна споруда, температура, міст, гідроізоляція

Незадовільний технічний стан автодорожніх мостів України спричиняє значні соціальні і матеріальні збитки в економіці, потребує збільшення асигнувань на їх ремонт і реконструкцію. Привертає увагу факт накопичення обсягів ремонтних робіт, які не були своєчасно виконані. Кількість мостів, які потребують капітального ремонту або реконструкції, постійно збільшується. Так, якщо в 2004 р. їх кількість складала 428 мостів (2,7 % від загальної), то в 2010 р. – 710 (4,4 % від загальної кількості), загальною довжиною 26602 м, що майже вдвічі більше. Орієнтовна вартість ремонту і реконструкції цих мостів становить 8779 млн. грн. Очевидно, що таких асигнувань у найближчі роки не буде виділено, і кількість мостів, що потребують капітального ремонту, буде далі збільшуватись. До найбільш розповсюджених штучних споруд автомобільних доріг відносяться мости, шляхопроводи, естакади, віадуки та інші споруди, що є невід'ємною частиною автомобільних доріг і забезпечують безперебійний рух транспорту. На автомобільних дорогах України кількість таких споруд становить біля 16155 одиниць [1]. Серед них мости із залізобетонними плитами їздового полотна складають більше 95 % [1]. Найбільш розповсюдженим покриттям (більше 90 %) на штучних автодорожніх спорудах як і на самих автомобільних дорогах є асфальтобетонне покриття [2].

Дорожні покриття на штучних спорудах експлуатуються в складних умовах. На них у процесі служби діє багато несприятливих факторів, основними з яких є [3, 4]:

- атмосферні опади;
- коливання температури протягом доби та протягом року;
- перемінне заморожування і відтавання води в шпарах та пошкоджених місцях;
- сонячна радіація;
- реагенти, що застосовуються для боротьби з ожеледицею;



Є.П. Плазій
проєкт менеджер
ТОВ «МАПЕІ Україна»

- забруднення води та повітря агресивними хімічними речовинами, що викидаються промисловими підприємствами;
- рідкі нафтопродукти і кислоти, що попадають на поверхню покриття під час проїзду транспортних засобів;
- продукти згоряння палива в двигунах;
- циклічні навантаження під час руху великовантажного транспорту, які призводять до складного напружено-деформованого стану покриття.

Вивченню поведінки асфальтобетонного покриття штучних залізобетонних споруд були присвячені роботи багатьох фахівців.

Було встановлено, що під впливом дії несприятливих факторів під час експлуатації раніше від інших елементів штучних споруд із ладу виходять, як правило, дорожні покриття. При цьому пошкодження дорожнього покриття значною мірою призводять до погіршення роботи конструкцій прогонових будов та опор через проникнення атмосферної вологи, підвищується ступінь динамічного впливу від ударів коліс об нерівності покриття, що може спричинити перевантаження окремих елементів споруд.

Покриття, як один із важливих елементів штучних споруд, повинно бути надійним, зберігати суцільність і не розтріскуватись протягом усього терміну служби та задовольняти наступні споживчі вимоги. Покриття повинно бути:

- достатньо міцним, довговічним, витривалим та стійким до руху транспортних засобів;

- водонепроникним та забезпечувати поверхневий водовідвід з проїзної частини;
- стійким до перемінного зволоження та замерзання;
- забезпечувати розподіл транспортного навантаження на конструктивні шари, що розташовані нижче, та зменшувати можливі динамічні удари;
- рівним та забезпечувати плавність руху;
- шорстким і забезпечувати достатнє зчеплення з шинами автомобілів;
- таким, що легко піддається ремонту.

Однак, дослідження показали [5, 3, 4], що на покритті передчасно виникають такі види пошкоджень: поперечні тріщини; тріщини над деформаційними швами і стиками, поздовжні тріщини; напливи, зсуви, просідання, лущіння, викришування, колійність, ямковість, вибоїни.

Особливості експлуатації покриття штучних споруд є такими, що в результаті дії несприятливих умов скорочується їх термін служби. Однією з причин такого стану є відсутність необхідних спеціальних вимог до матеріалів і конструкцій дорожніх покриттів, а також до правил експлуатації, які б висвітлювали специфіку їх роботи на таких спорудах.

Вітчизняний досвід влаштування мостового полотна на мостах позитивним назвати не можна.

До недавнього часу типовим рішенням влаштування залізобетонної плити було (зверху вниз):

- асфальтобетон 7–8 см;
- бетонний армований захисний шар – 4 см;
- гідроізоляція – як правило, армовані шари бітуму;
- підготована (вирівняна) бетонна поверхня.

На сталевій плиті проїзної частини:

- асфальтобетон 7–8 см,
- захисно-зчіпний шар (бітумно-епоксидний),
- протикорозійний плівковий захист сталевої плити (або без неї).

Описані конструкції мостового полотна на залізобетонній плиті мають ряд недоліків, а за відсутності регламентних ремонтів не забезпечують належного стану автопроїзду, не захищають від корозійних агентів основні несні конструкції, що призводить до зниження надійності та довговічності споруди в цілому.

Останніми роками практично не замінювався бетонний захисний шар гідроізоляції, який руйнується під важкими вантажівками. Для гідроізоляції нині застосовують, в основному, рулонний матеріал завтовшки 4–5 мм, що наплавляється.

При цьому мостове полотно стає більш кращим, але його надійність можуть забезпечити тільки сучасні ремонти і заміна, за необхідності, всіх складових частин. Остання умова не виконується, через що мостове полотно на більшості мостів не придатне для нормальної експлуатації. Причинами такого становища є недостатнє фінансування і, головне, неможливість закриття руху по мосту під час ремонту.

Існуючий досвід підвищення довговічності дорожнього покриття на мостових переходах. Асфальтобетонне покриття є найбільш розповсюдженим на штучних спорудах автомобільних доріг. Однак воно часто уражається поперечними тріщинами температурно-усадкового походження. Тріщини стають джерелом подальших руйнувань і призводять до передчасного виходу з ладу як самого покриття, так і елементів споруд. З утворенням тріщин поступово погіршується рівність покриття, знижується безпека і комфортність руху, збільшуються транспортні витрати і витрати на ремонт. Ремонт тріщин – це складний, трудомісткий і дорогий процес, який потребує значних матеріало- і енерговитрат. Причому, вжиті ремонтні заходи не завжди досягають бажаного результату з усунення тріщин.

У той же час існуючі методи оцінювання довговічності асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг з урахуванням коливань температури є недосконалими. Нормують лише окремі непрямі показники властивостей асфальтобетону без врахування параметрів температурного режиму, термореологічних характеристик матеріалів тощо, що свідчить про те, що наукова база забезпечення температурної тріщиностійкості при проєктуванні, будівництві та експлуатації асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг розроблена недостатньо. Відсутність науково обґрунтованої методики розрахунку на температурну тріщиностійкість асфальтобетонного покриття часто зумовлює передчасне утворення температурних тріщин і, як наслідок, зниження довговічності штучних споруд.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої практичної задачі – підвищення довговічності асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг.

Дорожнє покриття на штучних спорудах відповідно до існуючої практики їх проєктування, будівництва та експлуатації [1, 6, 7] є складовим елементом їздової частини, що розташована поверх плит проїзної частини, шарів гідроізоляції та захисного шару на бетонній або залізобетонній плитах проїзної частини. Конструкція дорожнього одягу, як правило, складається із верхнього шару покриття, що безпосередньо сприймає дію транспортних навантажень і атмосферних факторів, та несного нижнього шару, що розподіляє і передає навантаження на розташовані нижче елементи їздової частини. В деяких випадках несний шар може бути відсутнім, тоді функції розподілення та передачі навантажень виконує покриття. Покриття може мати додатковий тимчасовий шар, що відіграє роль захисного шару, або шар зносу (поверхнева обробка та ін.). Він може укладатись при новому будівництві і відновлюватися в процесі експлуатації або влаштовуватися замість зношеної частини покриття при виконанні середніх ремонтів.

В Україні традиційно на бетонній чи залізобетонній плиті проїзної частини влаштовували шар гідроізоляції і тонкий захисний шар із залізобетону або армобетону завтовшки 4–5 см [1, 2], потім два шари асфальтобетону завтовшки 7–8 см.

Практика експлуатації таких конструкцій показала, що при інтенсивному великовантажному русі захисний бетонний шар, що захищає гідроізоляцію від пошкоджень, сам швидко виходить з ладу, передчасно розтріскуючись від динамічної дії автомобілів. Тому останнім часом розроблено та успішно експлуатуються конструкції без використання бетонного захисного шару [5, 8]. В таких конструкціях як захисний шар, як правило, використовують укочуваний або литий асфальтобетон. Потім влаштовують асфальтобетонне покриття.

Досвід експлуатації мостів показав, що функцію гідроізоляції з успіхом може виконувати також вирівнювальний шар завтовшки 8–10 см із щільного бетону, армованого сталевою сіткою [5, 8, 9]. Потім, після підгрунтування бітумною емульсією або рідким бітумом, укладають два шари асфальтобетону з метою забезпечення високої водонепроникності.

Для підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонного покриття також застосовують матеріалознавчі та технологічні заходи.

З метою підвищення довговічності дорожнього покриття штучних споруд, головним чином, використовують асфальтобетон на модифікованому бітумі, а також спеціальні види асфальтобетону: литий асфальтобетон, щебеневомастиковий, дренуючий, а також армований асфальтобетон. Крім того застосовується гідроізоляція на полімербітумному в'яжучому. Ці матеріали знайшли більш широке застосування в зарубіжних країнах.

Литий асфальтобетон виготовляється на спеціальних бітумах і вкладається спеціальною технікою. Застосування литого асфальтобетону для покриття суттєво підвищує гідроізоляційну здатність всієї конструкції дорожнього одягу. Для підвищення зчеплення із шинами автомобілів у литий асфальтобетон «занурюють» щебінь. При цьому намагаються використовувати матеріали світлих порід, що дозволяє зменшити температуру нагрівання асфальтобетону сонячною радіацією в літній період і сприяє підвищенню його зсувостійкості.

Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА) було розроблено в середині шістдесятих років як асфальтобетонне покриття з високим опором навантаженню шипованих шин. ЩМА характеризується подібною до литого асфальту довговічністю та стійкістю, його можна транспортувати і укладати як асфальтобетон. ЩМА складається із суміші мінеральних речовин певного розміру зерен, бітумного в'яжучого та стабілізуючих добавок.

Щебенево-мастиковий асфальтобетон – це монолітний матеріал дорожнього покриття, який отримують після вистигання до температури навколишнього середовища ущільненої щебеневомастикової асфальтобетонної суміші.

В якості в'яжучого, як правило, використовуються дорожні бітуми. Однак, найкращі результати досягаються при застосуванні модифікованих бітумів полімерами та іншими модифікаторами органічного походження.

Мінеральна суміш складається з високого вмісту каркасоутворюючих зерен, проміжки між якими заповнюються асфальтовою мастикою (асфальтов'яжуче + асфальтовий розчин). При цьому стабілізуючі домішки відіграють роль утримувачів в'яжучого. Вони повинні таким чином стабілізувати мастикову частину під час виробничих процесів (змішування, транспортування, укладання та ущільнення), щоб унеможливити

протікання в'яжучого крізь мінеральну частину. Крім того, товста плівка асфальтов'яжучого з домішками має позитивний вплив, затримуючи процеси старіння та втоми матеріалів.

На теперішній час ЩМА набув широкого розповсюдження в багатьох зарубіжних країнах при влаштуванні верхнього шару покриття автодоріг, вулиць, мостів, аеродромів та інших об'єктів. Він став стандартом для автомагістралей, регіональних доріг та міських вулиць з важким та інтенсивним рухом. У багатьох випадках ЩМА застосовується також для тонких шарів зносу завтовшки 1,5–3,0 см.

Останнім часом при влаштуванні дорожнього покриття почали використовувати дренуючий асфальтобетон [5]. Використання цього асфальтобетону дозволяє: зменшити ефект аквапланування транспорту і тим самим підвищити безпеку руху, забезпечити швидке відведення (скидання) води з поверхні покриття до спеціальних водовідвідних лотків і таким чином попередити руйнування покриття від гідродинамічних ударів, що виникають під щільним асфальтобетоном при проїзді транспорту, забезпечити вищу температурну тріщиностійкість покриття; зменшити транспортний шум, що особливо важливо в житловій зоні. Однак, такі покриття вимагають ретельного догляду – очищення шпар від засмічення за допомогою дорожніх пилососів, обладнаних спеціальною насадкою.

Дренуючий асфальтобетон зазвичай містить не менше 80 % щебеню, 3 % –5 % мінерального порошку, 10 % –12 % піску та 4 % –5 % бітуму від маси мінерального матеріалу. Залишкова шпаристість становить, як правило, 20 % –24 %. Використання бітуму, модифікованого добавкою полімеру, зменшує доущільнення дренуючого асфальтобетону в процесі експлуатації.

Крім використання нових видів асфальтобетону зусилля багатьох фахівців направлені на підвищення міцності, витривалості, зсувостійкості, тріщиностійкості, водо- і морозостійкості традиційних складів асфальтобетону за рахунок введення модифікуючих домішок [3, 10].

Зазначимо, що бетонний захисний шар гідроізоляції руйнується під дією важкого транспорту. Для гідроізоляції сьогодні застосовують, в основному, рулонний матеріал завтовшки 4–5 мм, що наплавляється. Конструкція мостового полотна наведена на рис. 1.

Київсоюздорпроектом запропонована конструкція мостового полотна, що забезпечує надійне

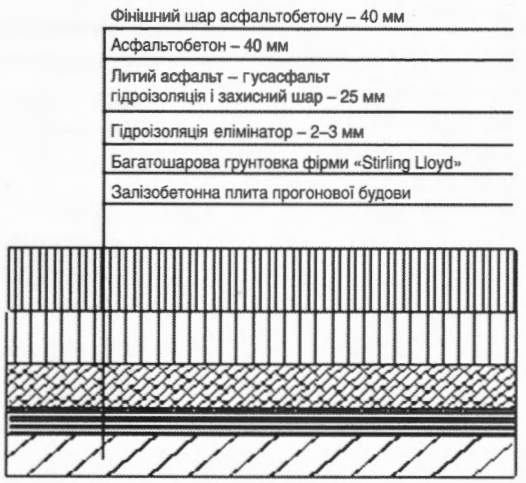


Рис. 1. Конструкція мостового полотна (варіант 1)

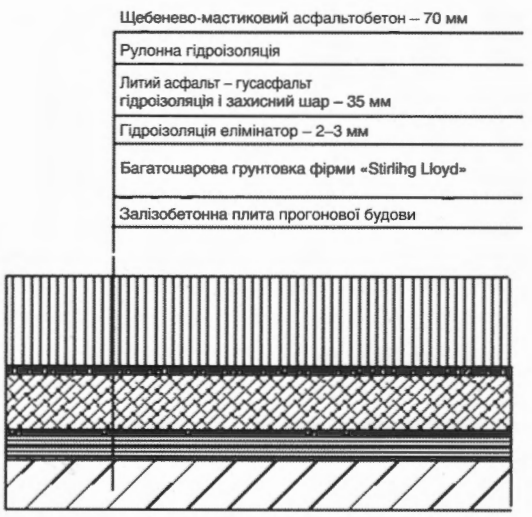


Рис. 2. Конструкція мостового полотна (варіант 2)

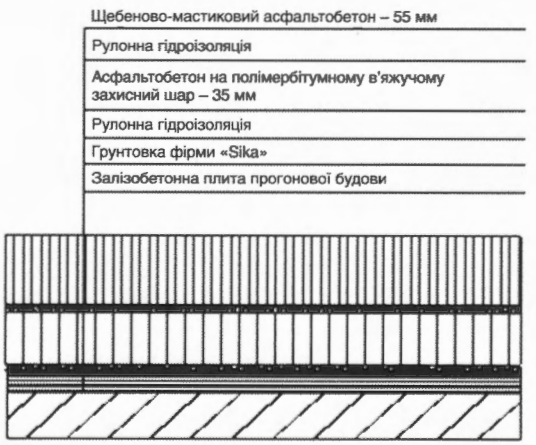


Рис. 3. Конструкція мостового полотна (варіант 3)

виконання своїх функцій протягом тривалого безремонтного періоду. Інші варіанти конструкції дорожнього одягу, запропоновані А.М. Онищенком, приведені на рис. 2, 3.

Рекомендації щодо технології влаштування щебенево-мастикового асфальтобетону. Якість асфальтобетонних покриттів багато в чому залежить від технології укладання і ущільнення суміші. Гарячу щебенево-мастикову суміш укладають, як правило, при температурі повітря вище 5 °С на попередньо підготовлену поверхню основи. Конструктивний шар дорожнього одягу, на який буде вкладатися ЩМАС, повинен відповідати чинним нормам. За необхідності проводять ямковий ремонт, гідроізоляцію тріщин старого асфальтобетонного покриття, фрезеруваня поверхні під проєктну відмітку або влаштовують вирівнювальний шар із асфальтобетонної суміші.

Для того, щоб забезпечити добре зщеплення шару, що вкладається, з основою поверхню останньої очищають від пилу і бруду механічними щітками, стисненим повітрям від рухомого компресора або іншими засобами, після чого обробляють органічними в'яжучими: бітумною емульсією або рідким бітумом. Бітумна емульсія або рідкий бітум перед нанесенням на поверхню, що обробляється, повинні бути нагріті до робочої температури і бути якомога менш в'язкими.

Гаряча щебенево-мастикова асфальтобетонна суміш укладається і ущільнюється як стандартна асфальтобетонна суміш із застосуванням звичайних асфальтоукладальників і гладковальцьових котків. З метою підвищення якості покриття рекомендується укладати суміш за можливості на повну ширину проїзної частини з допомогою асфальтоукладальників на гусеничному ходу, що оснащені автоматичними системами забезпечення рівності і поперечного ухилу. Кількість одночасно працюючих укладальників визначається в залежності від загальної ширини покриття і ширини ущільнювальних працюючих органів. Асфальтоукладальники під час укладання розташовуються уступом, відстань між ними складає 10–30 м в залежності від погодних умов, дотримуючись вимог безпеки.

Автоматична система забезпечення рівності асфальтоукладальників повинна працювати від коперної струни, датчика поперечного ухилу, опорного башмака або від довгої коперної лижі в залежності від ухваленого технологічного регламенту укладання суміші. Перед початком укладання асфальтоукладальники встановлюють у вихідне положення згідно з інструкцією:

- вигладжувальна плита укладальника встановлюється на дерев'яні бруски (стартові колодки) паралельно основі на висоту проєктної товщини шару, після чого прогрівається до температури 150 °С впродовж 10–20 хв у залежності від погодних умов;
- задається кут атаки вигладжувальній плиті 2–3 град;
- налаштовується автоматична система забезпечення рівності та поперечного ухилу;
- перевіряється відповідність довжини і висотної відмітки розподільчого шнека укладальника геометричним розмірам шару ЩМА, що вкладається (відстань від нижньої кромки лопасті шнека до поверхні має складати приблизно половину товщини шару);
- налаштовуються датчики подачі суміші, що підтримують певний рівень матеріалу на кінцях шнекового розподільника;
- налаштовуються режими роботи трамбуючого бруса і віброплити: хід трамбуючого бруса повинен бути в межах 5–6 мм, частота ударів біля 1000 $хв^{-1}$, частота вібрації віброплити за необхідності – біля 40 Гц. Вібрацію слід вмикати тільки в крайніх випадках і при товщині шару, що вкладається, не менше ніж трикратний розмір зерен щебеню в суміші.

Прохід асфальтоукладальника на поверхні вкладеного шару ЩМА, як правило, не спричиняє появу тріщин, раковин, розривів та будь-яких інших дефектів.

Для отримання рівної поверхні шару зносу необхідно забезпечити неперервність укладання щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші. Швидкість укладання залежить від постачання асфальтобетонної суміші до асфальтоукладальників і рекомендується не менше ніж 2,0–3,0 м/хв.

Автомобілі-самоскиди з гарячою сумішшю не повинні перешкоджати роботі асфальтоукладальника і зупинятися за 30–60 см до упорних роликів. Суміш поступово рівномірно завантажують до бункера укладальника. При цьому щебенево-мастикова асфальтобетонна суміш повинна рівномірно доставлятися до всіх працюючих укладальників, забезпечуючи постійну швидкість укладання.

При невеликих перервах у доставлянні суміші її не слід повнісю випрацьовувати із бункера асфальтоукладальника. Бункер завжди повинен бути заповнений не менше ніж на 25 %. В разі зупинки асфальтоукладальника на 15–20 хв суміш, що залишилась, із бункера необхідно перемістити в камеру, що підігрівається, так як

ЩМАС при охолодженні твердне значно швидше, ніж звичайні асфальтобетонні суміші. При тривалих перервах постачання суміші до місця вкладання слід використати всю суміш, що знаходиться в бункері.

Особливу увагу необхідно приділяти влаштуванню «холодних» поздовжніх і поперечних стиків при з'єднанні смуг, що вкладаються. Поперечні з'єднання повинні бути перпендикулярні до осі дороги. Краї раніше вкладеної смуги обрубують вертикально і змащують бітумом або бітумною емульсією. Холодний поперечний стик необхідно прогріти, укладальник установити таким чином, щоб віброплита знаходилась над краєм раніше вкладеного шару покриття, потім наповнити шнекову камеру гарячою сумішшю.

При роботі одного укладальника довжина смуги укладання, що забезпечує хороше спряження суміжних смуг, визначається в залежності від швидкості вистигання в межах від 50 м до 200 м. При укладанні шару зносу спряженими смугами роботу організовують так, щоб під кінець зміни шар був укладений на всю ширину покриття. При спряженні шару гарячої суміші з краєм покриття, що охолов, останній необхідно розігріти інфрачервоними розігрівачами.

Укладений шар ЩМАС слід ущільнювати за максимальної температури гладковальцьовими котками статичної дії, які рухаються короткими захватами зі швидкістю не менше 5–6 км/год, наближуючись якомога ближче до асфальтоукладальника. Для ущільнення шарів ЩМАС найбільш підходять гладковальцьові котки масою 8–10 т, у яких сталеві вальці змочуються в процесі укочування мильним розчином, водно-керосиновою емульсією або просто водою. Надмірне зрошення вальців котка призводить до прискореного охолодження шару, що ущільнюється. В зв'язку з тим, що ЩМАС більш липкі, ніж звичайні асфальтобетонні суміші, необхідно забезпечувати рівномірне зрошення вальців котків водою. У випадках, коли поверхня вальців змочується не повністю, можливе налипання на неї суміші. При цьому на поверхні укочуваного покриття з'являються дефекти у вигляді відриву від щебеню. Ці дефекти можна ліквідувати шляхом додавання і розрівнювання гарячої суміші перед проходом котка.

Під час ущільнення котки повинні рухатись по смузі, що укочується, за човниковою схемою від країв до осі дороги, а потім від осі до країв, перекриваючи кожен слід на 20–30 см. Перший прохід котка краще починати відступивши від краю покриття 10 см. Краї ущільнюються після першого проходу котка по всій довжині смуги. Схема укочування повинна забезпечувати рівномірне ущільнення по всій ширині полотна, що укочується, це забезпечується однаковою кількістю проходів котків по одному сліду.

Дуже важливо виконувати швидке ущільнення ЩМАС за температур не нижче 70–80 °С, особливо при влаштуванні тонких покриттів через їх швидке охолодження. Тому кількість техніки, що ущільнює, повинна бути достатньою і залежить від умов укладання. За одним асфальтоукладальником має рухатись два гладковальцьових котки статичної дії. Необхідний ступінь ущільнення шару ЩМАС досягається при середній кількості проходів катків по одному сліду від 4 до 6. Потрібну кількість проходів котків рекомендується уточнювати при пробному укочуванні. Зайві проходи котків при ущільненні можуть призвести до подрібнення щебеню.

[1] Інструкція по організації догляду за штучними спорудами: ІН.В.3.2.-218-003449261.036-96.УДВТП «Укрдортехнологія».- Київ: 1996. – 90 с.

[2] *Коваль П.М., Філоненко С.Ф., Сташук П.М.* Дослідження автодорожнього моста з використанням методу акустичної емісії мостів // Автомобільні дороги і транспортне будівництво. – 2002. – № 64. – С. 114–118.

[3] *Мозговий В.В.* Випробування конструкцій дорожнього одягу на кільцевому стенді – успіхи, проблеми, перспективи (частина 2) / Мозговий В.В., Онищенко А.М., Прудкий О.В., Куцман О.М. та ін. // Автошляховик України. – 2010. – № 4. – С. 24–31.

[4] *Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю., Білан О.О.* Експериментальний аналіз впливу мікроволокон на підвищення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонного покриття випробуваного на кільцевому стенді // Автомобільні дорого і дорожнє будівництво. – 2013. Вип. 88. – С. 89–100.

[5] *Onishchenko A., Kuzminets M., Aksenov S.* Analysis of modified bitumen difference polymers // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Motrol. Commission of motorization and energetic in agriculture. Lublin – Rzeszow, – 2014. № 8. – P. 101–106.

[6] *Коваленко С.Н.* Проблемы реконструкции автодорожных мостов // Автомобильные дороги. – 1983. – №2. – С. 6–7.

[7] Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України: П-Г.1-218-113-97: Затверджено Укр. держ. корпорацією «Укравтодор» 26.09.97/ М-во транспорту України. – К., 1997. – 183 с.

[8] *Онищенко А.М., Кузьмінець М.П., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В.* Теоретичні та практичні дослідження ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних транспортних спорудах : монографія. – К. : НТУ, 2015. – 323. с.

[9] *Шестериков В. И.* Ремонт конструкций деформационных швов с металлическим окаймлением. – М.: ИНФОРМАВТОДОР, Обзорная информация. – 2001. – № 7. – 68 с.

[10] *Онищенко А.М.* Проектування зернового складу асфальтобетону підвищеної колієстійкості з оптимізацією за показником розрахункового строку служби. International scientific and practical conference «World science». 2017. № 4(20), Vol.2. P. 32–35. ISSN 2413-1032. Видання входить до наукометричних баз даних: Index Copernicus, eLIBRARY.

Надійшла 26.10.2021 р.

УДК 621.924

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ШЛІФУВАЛЬНИХ МАШИН З АБРАЗИВНИМИ АРМОВАНИМИ КРУГАМИ

Наведені результати дослідження впливу конструктивних і режимних параметрів кутових шліфувальних машин на завантаженість оператора з метою підвищення ефективності використання абразивних армованих кругів при виконанні зачисних та шліфувальних операцій.

The article presents the results of the study of the influence of structural and mode parameters of angle grinders on the operator's load in order to increase the efficiency of use of abrasive-reinforced wheels during cleaning and grinding operations.

Ключові слова: абразивне різання, навантаження, абразивний армований круг, шліфувальна машина.



Ю.Д. Абрашкевич
професор кафедри «Будівельні машини ім. Ю.О. Вєтрова» Київського національного університету будівництва і архітектури, заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор



О.А. Марченко
інженер Київського національного університету будівництва і архітектури, к.т.н., доцент



Г.М. Мачишин
доцент кафедри «Будівельні машини ім. Ю.О. Вєтрова» Київського національного університету будівництва і архітектури, к.т.н., доцент



О.В. Човнюк
інженер Київського національного університету будівництва і архітектури

Багатофункціональність та універсальність ручних кутових шліфувальних машин (КШМ) у поєднанні з правильним підбором потрібного абразивного робочого інструменту дозволяє значно прискорити та полегшити виконання різноманітних зачисних і шліфувальних операцій з досягненням необхідного ефекту. Завдяки можливості оброблення різноманітних матеріалів такі машини набули широкого розповсюдження у різних галузях.

З огляду на те, що КШМ відносяться до інструменту підвищеної небезпеки, особливу увагу слід приділяти питанням їх правильної експлуатації та підвищення ефективності їх використання.

Підвищення ефективності застосування таких машин полягає в: оптимізації узагальнених показників (енергоємність, собівартість, матеріалоємність) та експлуатаційно-виробничих (продуктивність, зносостійкість абразивного робочого органа, коефіцієнт шліфування); покращенні ергономічних показників, що характеризують відповідність машини нормованим умовам роботи у процесі експлуатації (вібрація, рівень шуму, силове навантаження на оператора); забезпеченні безпеки оператора та інших працівників під час роботи, виходячи з вимог міжнародних та національних стандартів і норм чинного законодавства країн, де експлуатується машина.

Оптимальний вибір технологічних та технічних параметрів роботи машин дає змогу знизити трудомісткість і підвищити продуктивність та якість робіт, що виконуються [1, 2].

Особливістю використання КШМ є поєднання при роботі можливостей машини, що забезпечують основний робочий рух (обертання робочого органа), з одного боку, та ручного інструменту – з іншого (потреба використання ручної сили для утримання машини в руках, сприйняття реактивних сил та моментів, здійснення руху подачі та додаткових переміщень). При роботі з КШМ оператор може утримувати її у будь-якому положенні та забезпечувати достатньо точне направлення подачі зачисного круга. При цьому, слід зауважити, що зачисні абразивні армовані круги зазнають при експлуатації значних напружень як від дії відцентрових, так і згинальних зусиль [3…5]. Величина реакцій на руки оператора та їх зміна значно впливають на його втомлюваність, що призводить до зниження працездатності та зміни навантаження на робочому органі. У зв'язку з чим дослідження процесу роботи КШМ із зачисними робочими органами є актуальною задачею.

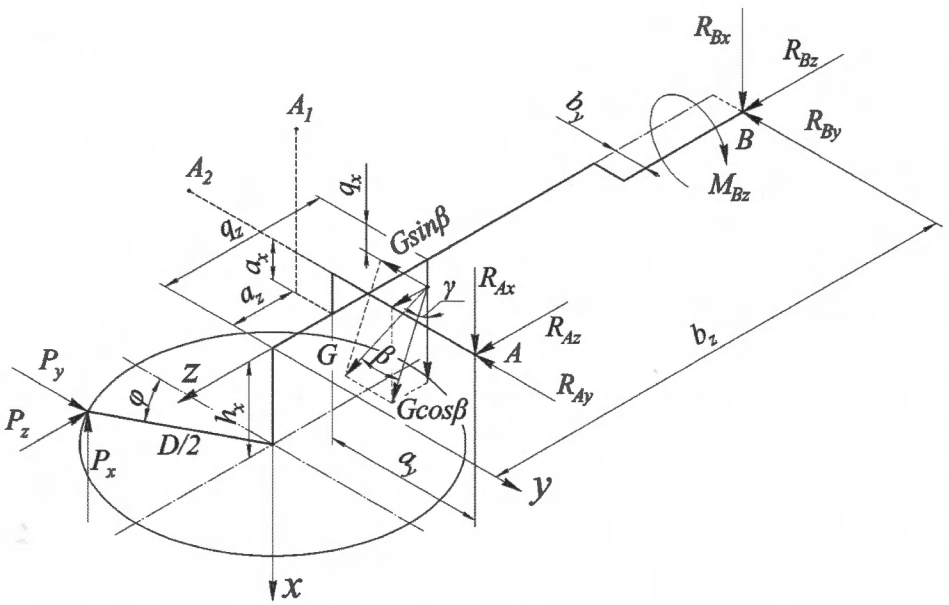


Рис. 1.
Схема дії сил на ручну КШМ при роботі із зачисним кругом:

a_x, a_y, a_z – лінійні розміри положення точки прикладання реакції на рукояті A;

b_x, b_y, b_z – те саме на рукояті B;

q_x, q_z – лінійні розміри положення центра сили ваги КШМ з робочим органом;

h_x – висота кріплення робочого органа відносно осі двигуна КШМ;

D – діаметр робочого органа;

φ – кут між лінією дії нормальної складової сили різання P_n та віссю y;

γ – кут нахилу вала двигуна КШМ до горизонталі;

β – кут нахилу КШМ відносно вертикальної площини

Як і у випадку роботи відрізними кругами [6], силові показники та їх зміна можуть бути визначені шляхом статичного аналізу роботи машини, для цього розглянемо схему дії сил на машину, що працює із зачисним абразивним кругом (рис. 1).

На робочий інструмент діють наступні сили:

- P_x, P_y, P_z – складові сили різання, що діють на робочий орган машини по осях x, y, z, відповідно;
- R_{Ax}, R_{Ay}, R_{Az} – сили реакції на рукояті A, що діють по осях x, y, z ;
- R_{Bx}, R_{By}, R_{Bz} – те саме на рукояті B ;
- M_{Bz} – реактивний момент на рукояті B відносно осі z ;
- G –сила ваги КШМ з кругом;
- P_t – тангенціальна складова сили, що діє на робочий орган;
- P_n – нормальна складова сили, що діє на робочий орган.

Сили, що діють на зачисний робочий орган P_x, P_y, P_z, є проєкціями сумарної сили на відповідні осі. Для визначення їх величин розглянемо навантаження зачисного круга. При роботі ручними машинами характерним, як правило, є повне використання потужності приводу [1, 2]. Тому між величиною тангенціальної складової сили різання P_t та встановленою потужністю приводу N машини має місце залежність

$$P_t = \frac{N}{V} = \frac{N \cdot 60}{\pi \cdot n \cdot D}, \qquad (1)$$

де V – колова швидкість круга; n – частота обертання круга; D – діаметр круга.

При цьому необхідно враховувати, що у процесі зачищення виникають як нормальні P_n (в площині диска), так і бокові P_x (перпендикулярні до площини диска) реакції (рис. 2, 3).

Потужність на шпинделі КШМ у процесі зачищення можна представити наступним чином:

$$N = N_{tn} + N_{tx},$$

де $N_{tn} = P_{tn} \cdot V_n$ – потужність зусилля зачищення торцевою поверхнею круга; $N_{tx} = P_{tx} \cdot V_x$ – потужність зусилля зачищення боковою поверхнею; P_{tn} , V_n – тангенціальна складова сили зачищення торцевою поверхнею та колова швидкість точки її прикладання відповідно; P_{tx} , V_x – тангенціальна складова сили зачищення боковою поверхнею та колова швидкість точки її прикладання відповідно.

Приймемо, що тертя боковою поверхнею круга відбувається поблизу її периферії. Тоді можна вважати, що приблизно $V_x = V_n = V$. З врахуванням, що

$$\frac{P_{tn}}{P_n} = \mu_n \quad \text{та} \quad \frac{P_{tx}}{P_x} = \mu_x ,$$

де P_x – абсолютне значення бокового зусилля; μ_n, μ_x – коефіцієнти тертя між матеріалом, що розробляється торцевою та боковою поверхнями робочого органа відповідно. Значення коефіцієнтів тертя можуть бути пов'язані співвідношенням $k_\mu = \frac{\mu_x}{\mu_n}$. За однакових значень коефіцієнтів $\mu_n = \mu_x = \mu$ співвідношення $k_\mu = 1$. Сумарна тангенціальна складова сили, що діє на робочий орган, буде такою, що дорівнює

$$P_t = P_n \cdot \mu_n + P_x \cdot \mu_x = \mu_n (P_n + P_x \cdot k_\mu). \qquad (2)$$

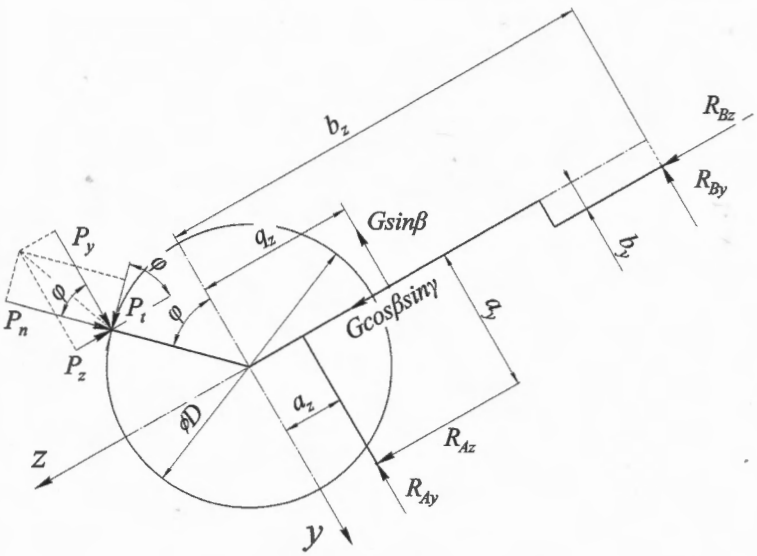


Рис. 2. Схема дії сил на ручну КШМ при зачисних роботах у проєкції *yz*

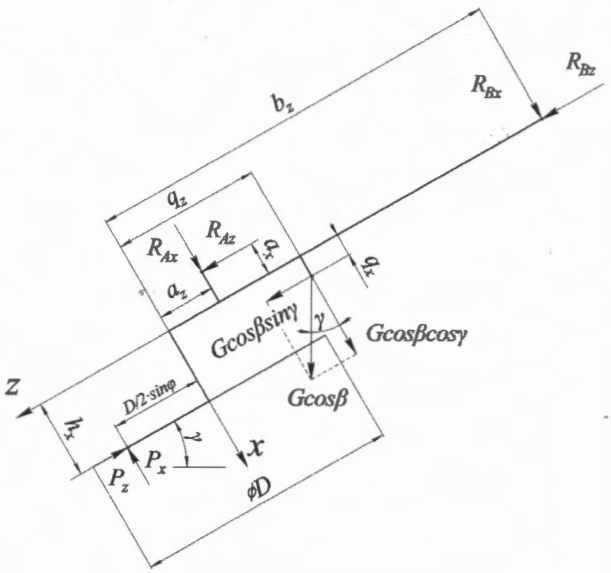


Рис. 3. Схема дії сил на ручну КШМ при зачисних роботах у проєкції *xz*

Величина бокової складової сили по відношенню до тангенціальної може бути представлена співвідношенням

$$\frac{P_x}{P_t} = f_x \,. \qquad (3)$$

Тоді максимальне значення нормальної складової сили в залежності від ефективної потужності N приводу машини при дії бокового зусилля визначається з рівняння (2) з урахуванням (1) та (3):

$$P_n = P_t \frac{1-|f_x|\cdot\mu_x}{\mu_n} = \frac{N\cdot 60\cdot(1-|f_x|\cdot k_\mu\cdot\mu_n)}{\pi\cdot n\cdot D\cdot\mu_n}.$$

Звідси співвідношення між тангенціальною та радіальною (нормальною) складовою сили зачищення матиме такий вигляд:

$$f_n = \frac{P_t}{P_n} = \frac{\mu_n}{1-|f_x|\cdot k_\mu\cdot\mu_n}. \qquad (5)$$

Зі схеми (див. рис. 2) з урахуванням рівняння (5) випливає, що складові зусилля по осях y та z дорівнюватимуть

$$P_y = P_n[\cos(\varphi)+f_n\cdot\sin(\varphi)];$$

$$P_z = P_n[\sin(\varphi)-f_n\cdot\cos(\varphi)].$$

Зі схеми (див. рис. 1) дії сил на робочому інструменті в процесі зачищення умова рівноваги системи має наступний вигляд:

$$\Sigma X=0;\ \Sigma Y=0;\ \Sigma Z=0;$$

$$\Sigma M_x=0;\ \Sigma M_y=0;\ \Sigma M_z=0.$$

Після підстановки відповідних показників отримаємо:

$$R_{Ax}+R_{Bx}=P_x-G\cdot\cos\beta\cdot\cos\gamma=m_1; \qquad (6)$$

$$R_{Ay}+R_{By}=P_y-G\cdot\sin\beta=m_2; \qquad (7)$$

$$R_{Az}+R_{Bz}=P_z-G\cdot\cos\beta\cdot\sin\gamma=m_3; \qquad (8)$$

$$R_{Az}\cdot a_y-R_{Ay}\cdot a_z+R_{Bz}\cdot b_y-R_{By}\cdot b_z=$$
$$=P_y\frac{D}{2}\sin(\varphi)-P_z\frac{D}{2}\cos(\varphi)+G\cdot\sin\beta\cdot q_z=m_4; \qquad (9)$$

$$-R_{Ax}\cdot a_z+R_{Az}\cdot a_y-R_{Bx}\cdot b_z=P_x\frac{D}{2}\sin(\varphi)-P_z h_x+$$
$$+G\cdot\cos\beta\cdot\cos\gamma\cdot q_z+G\cdot\cos\beta\cdot\sin\gamma\cdot q_x=m_5; \qquad (10)$$

$$-R_{Ax}\cdot a_y+R_{Ay}\cdot a_x-R_{Bx}\cdot b_y-M_{Bz}=$$
$$=P_x\frac{D}{2}\cos(\varphi)-P_y h_x+G\cdot\sin\beta\cdot q_x=m_6, \qquad (11)$$

де m_1, m_2 ... m_6 – частина рівнянь рівноваги від дії зовнішніх сил.

Зусилля подачі машини при її переміщенні по осі z розподіляється між однією (наприклад, правою) R_{Az} та іншою (лівою) R_{Bz} руками оператора. Співвідношення цих зусиль залежить від фізичних даних та навичок оператора, його пози та умов проведення операції. Відповідно до цього приймемо:

$$\frac{R_{Az}}{R_{Bz}} = k_z,$$

де k_z – коефіцієнт, що враховує розподілення зусиль подачі між обома руками оператора.

Тоді з рівняння (8) отримаємо:

$$R_{Az} = \frac{k_z}{k_z + 1} m_3; \quad R_{Bz} = \frac{1}{k_z + 1} m_3. \qquad (12)$$

З рівнянь (6) та (10) визначаємо R_{Ax} та R_{Bx}:

$$R_{Ax} = \frac{m_1 \cdot b_z + m_5 - R_{Az} \cdot a_x}{b_z - a_z};$$

$$R_{Bx} = \frac{R_{Az} \cdot a_x - m_5 - m_1 \cdot a_z}{b_z - a_z}. \qquad (13)$$

З рівнянь (7) та (9) визначаємо R_{Ay} та R_{By}:

$$R_{Ay} = \frac{m_2 \cdot b_z + m_4 - R_{Az} \cdot a_y - R_{Bz} \cdot b_y}{b_z - a_z};$$

$$R_{By} = \frac{R_{Az} \cdot a_y + R_{Bz} \cdot b_y - m_2 \cdot a_z - m_4}{b_z - a_z}. \qquad (14)$$

З рівняння (11) визначимо

$$M_{Bz} = \frac{1}{b_z - a_z}[m_1(a_z b_y - a_y b_z) + m_2 a_x b_z -$$

$$- m_3 a_x b_y + m_4 a_x + m_5(b_y - a_y) - m_6(b_z - a_z)]. \qquad (15)$$

Сумарні навантаження на рукоятях R_A та R_B визначаються через суму квадратів їх складових по осях x, y, z.

Враховуючи отримані вирази та виходячи з рівнянь (12)…(15), можна проаналізувати вплив режимів роботи, силових і конструктивних параметрів при проведенні інструментом зачисних операцій, у тому числі з урахуванням розміщення рукояті A відносно машини (див. рис. 1), на навантаження оператора.

На рис. 4–10 наведено результати розрахунків зміни навантаження на робочому органі та рукоятях КШМ у положенні A, A_1 та A_2 в залежності від зміни параметрів N, D, φ, γ, μ, f_x та β при незмінних інших параметрах. Дані, що не змінювалися при розрахунках, відповідають наступним вихідним значенням: N = 2500 Вт; D = 230 мм; G = 60 Н; n = 6600 об/хв.; k_z = 1; μ = 0,45; f_x = 1,25; φ = 90°; γ = 20°; β = 0°; a_z = 0,05 м; b_x = b_y = 0; b_z = 0,37 м; q_x = q_y = 0; q_z = 0,13 м; h_x = 0,07 м. Розміщення точки прикладання реакцій до передньої рукояті відповідають наступним значенням:

- у положенні A: a_x = 0; a_y = 0,12 м;
- у положенні A_1: a_x = 0,12 м; a_y = 0;
- у положенні A_2: a_x = 0; a_y = –0,12 м.

Використання повної потужності КШМ залежить від фізичного стану та професійних навичок оператора та обмежується технічними параметрами машини. Збільшення потужності N використання машини (див. рис. 4) дозволяє пропорційно збільшити навантаження на робоче середовище, одночасно збільшуючи навантаження на руки оператора. При цьому реакція на передній рукояті (положення A, A_1 та A_2) збільшується більш інтенсивно порівняно з реакціями на рукояті B приблизно на 50…60 %.

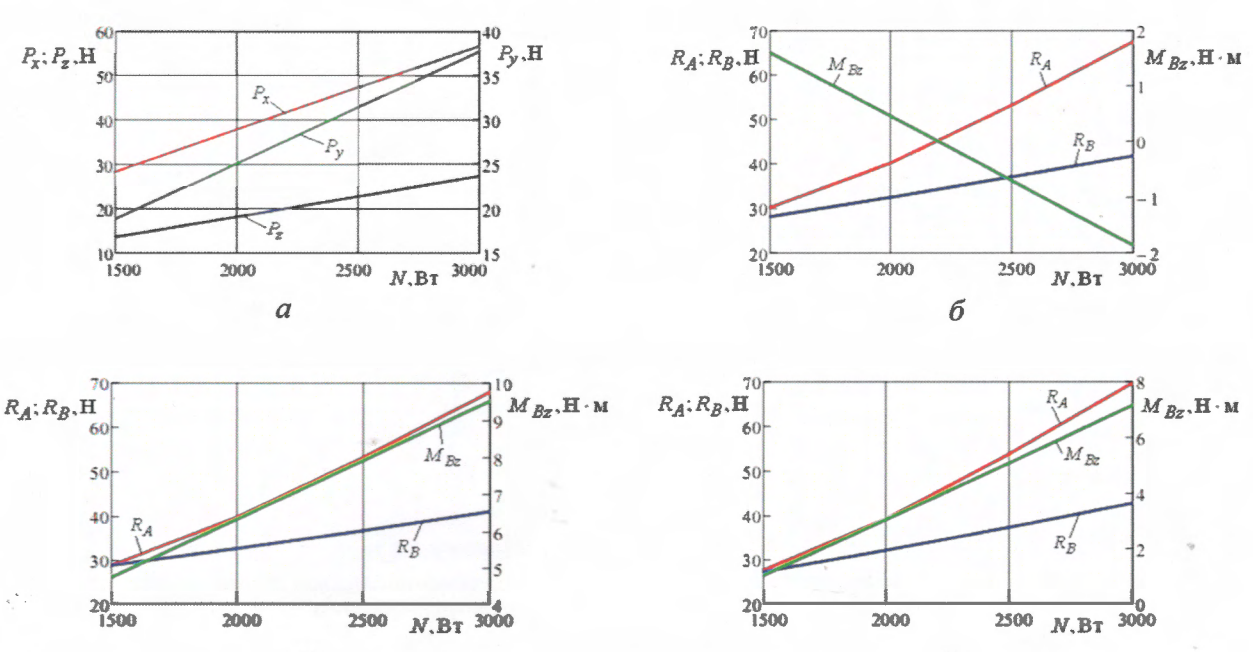


Рис. 4. Залежність сил та реакцій від потужності N:
а – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x, P_y, P_z; **б** – реакції R_A, R_B та момент M_{Bz} при положенні рукояті в позиції A;
в – те саме, при положенні A_1; **г** – те саме, при положенні A_2

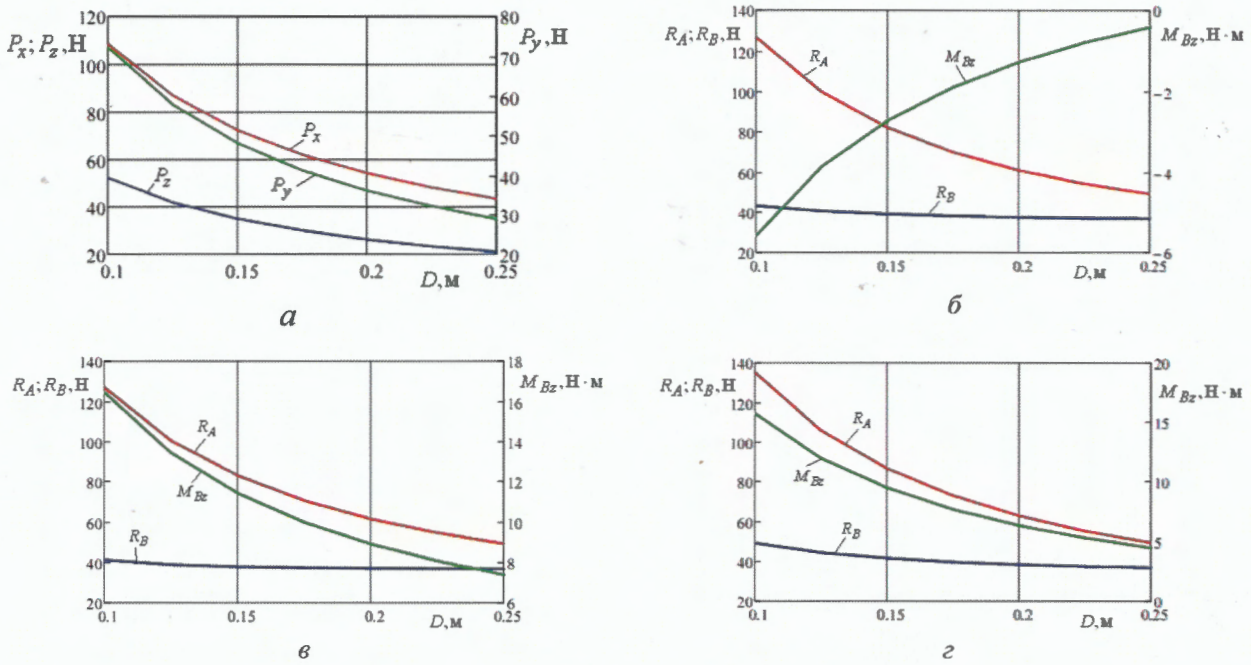


Рис. 5. Залежність сил та реакцій від діаметра D :

а – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x , P_y , P_z ; **б** – реакції R_A , R_B та момент M_{Bz} при положенні рукояті в позиції A; **в** – те саме, при положенні A_1; **г** – те саме, при положенні A_2

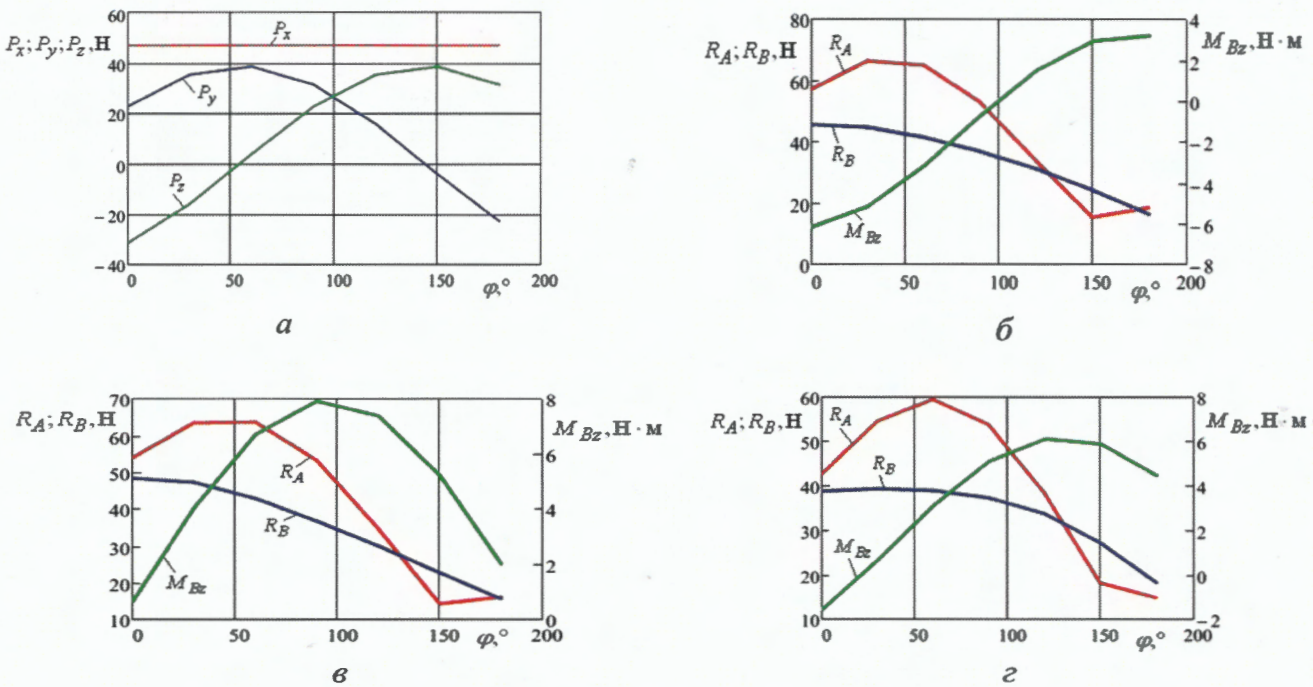


Рис. 6. Залежність сил та реакцій від кута φ :

а – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x , P_y , P_z ; **б** – реакції R_A , R_B та момент M_{Bz} при положенні рукояті в позиції A; **в** – те саме, при положенні A_1; **г** – те саме, при положенні A_2

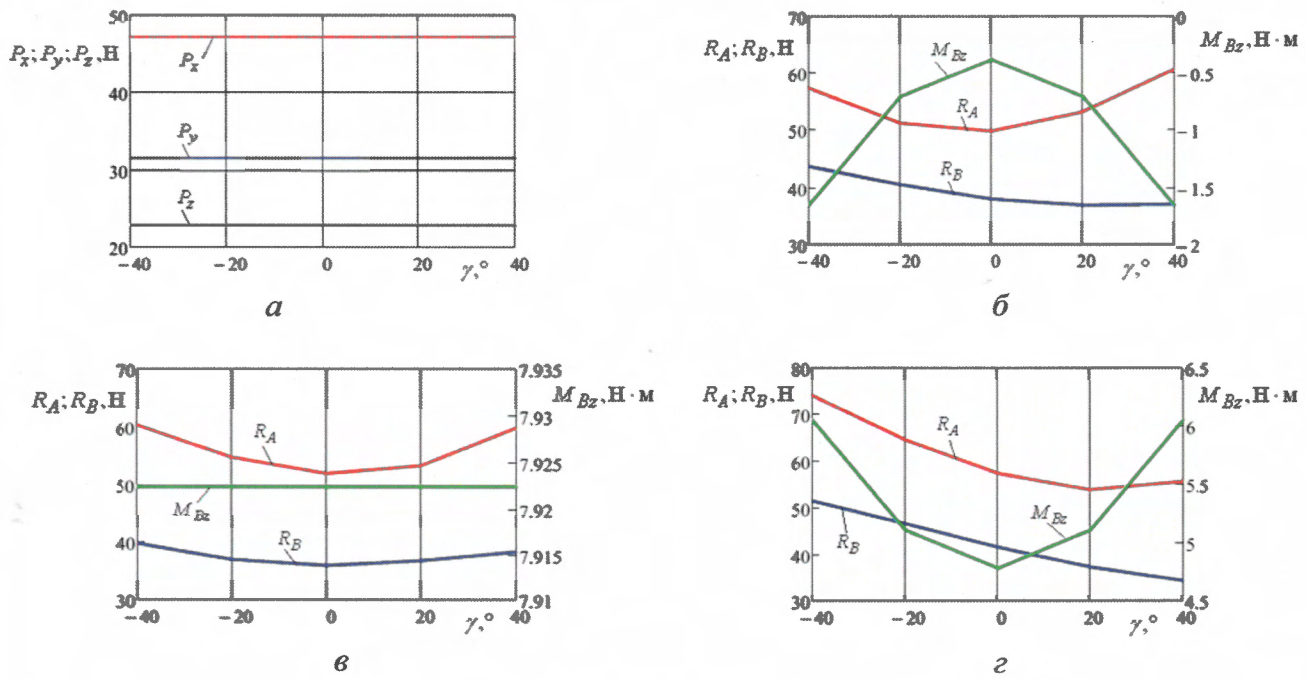


Рис. 7. Залежність сил та реакцій від кута γ :

а – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x , P_y , P_z ; **б** – реакції R_A , R_B та момент M_{Bz} при положенні рукояті в позиції A; **в** – те саме, при положенні A_1; **г** – те саме, при положенні A_2

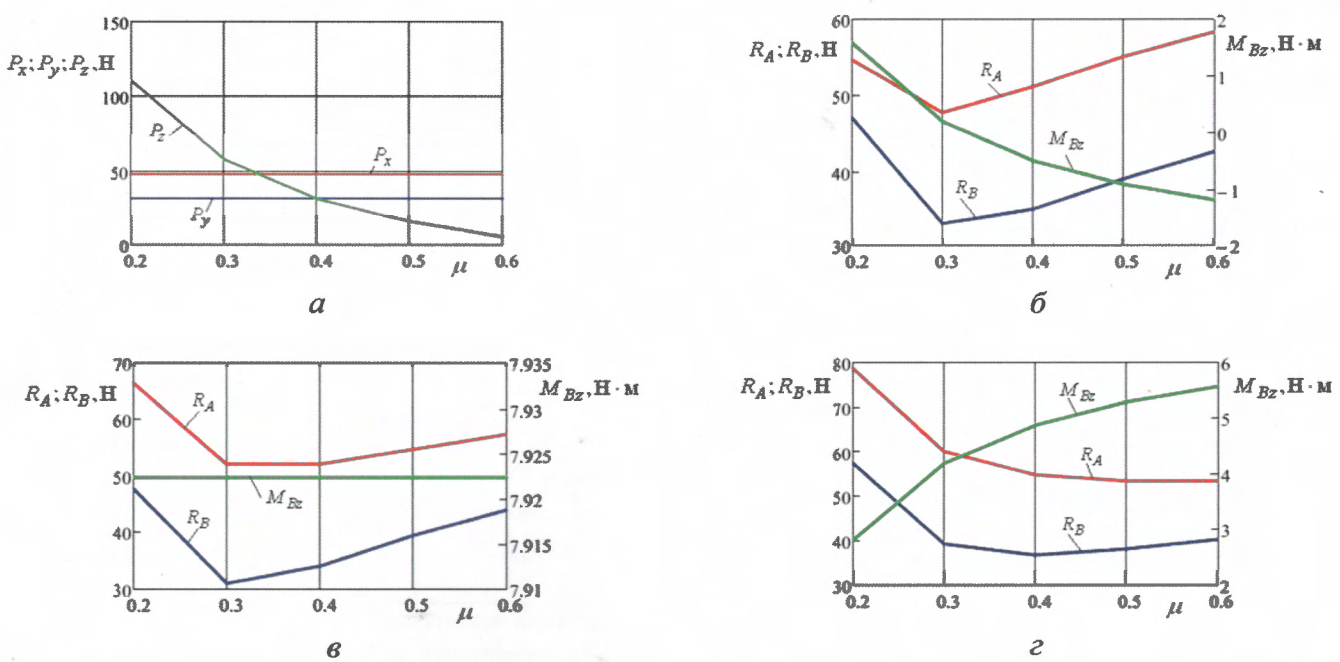


Рис. 8. Залежність сил та реакцій від коефіцієнта μ :

а – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x , P_y , P_z ; **б** – реакції R_A , R_B та момент M_{Bz} при положенні рукояті в позиції A; **в** – те саме, при положенні A_1; **г** – те саме, при положенні A_2

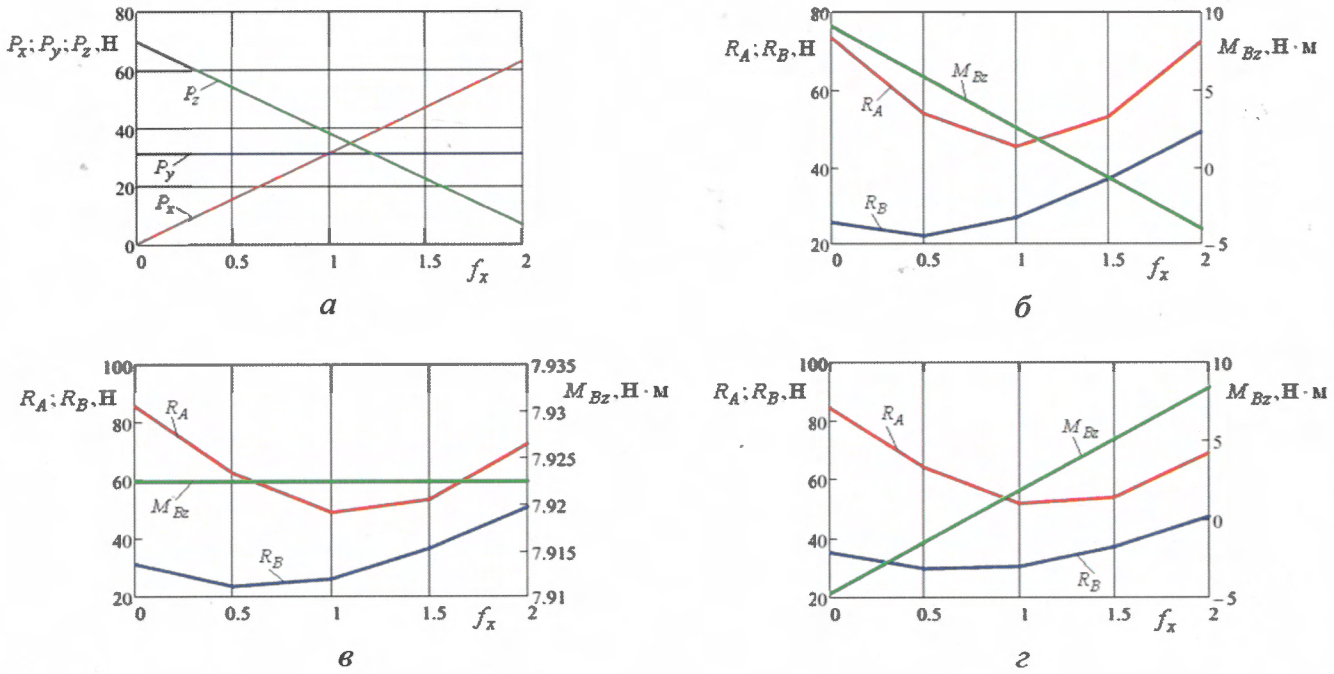


Рис. 9. Залежність сил та реакцій від коефіцієнта f_x :
а – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x , P_y , P_z ; **б** – реакції R_A , R_B та момент M_{Bz} при положенні рукояті в позиції A;
в – те саме, при положенні A_1; **г** – те саме, при положенні A_2

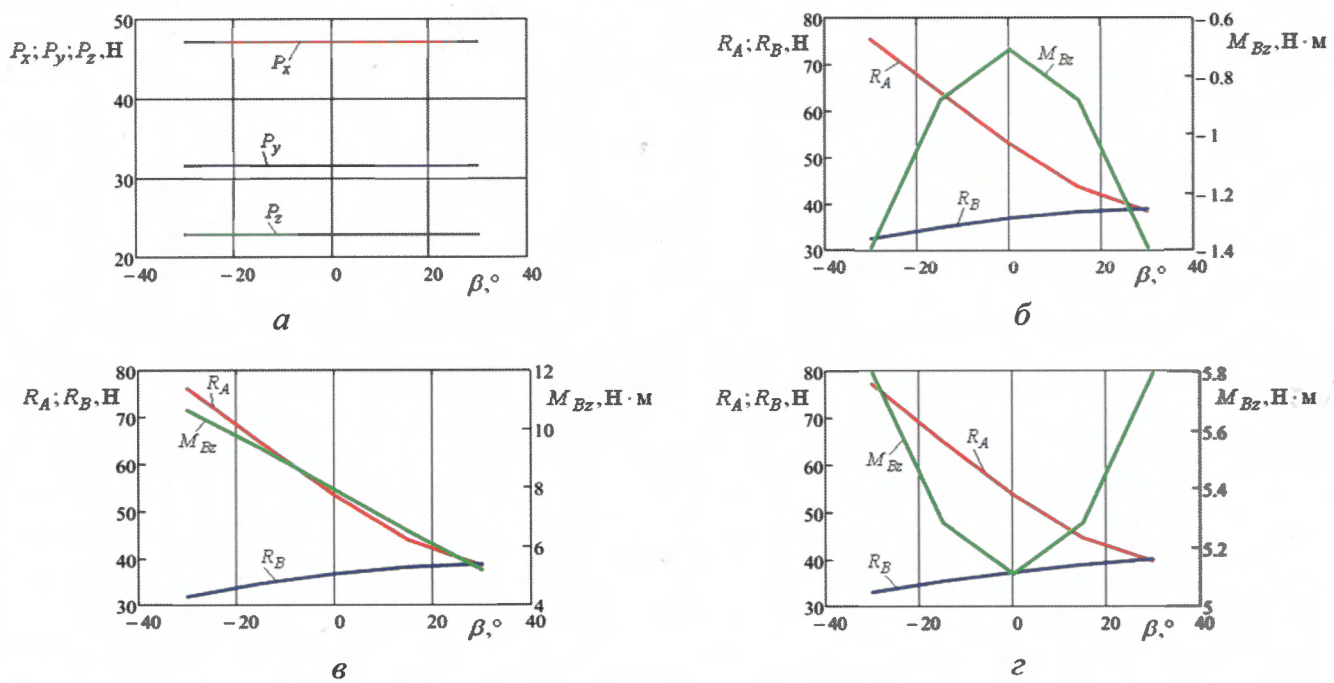


Рис. 10. Залежність зміни сил та реакцій від кута β :
а – сил, що діють на зачисний робочий орган P_x , P_y , P_z ; **б** – реакції R_A , R_B та момент M_{Bz} при положенні рукояті в позиції A;
в – те саме, при положенні A_1; **г** – те саме, при положенні A_2

Зміна положення передньої рукояті мало впливає на значення реакцій на рукоятях (різниця складає приблизно 3 %), але значно впливає на величину і характер зміни моменту M_{Bz} відносно осі z. Так, величина M_{Bz} при положенні передньої рукояті в позиції A при збільшенні потужності N знижується, змінюючи напрямок, та має близьке до нуля значення при $N \approx 2250$ Вт. При положеннях A_1 та A_2 момент M_{Bz} пропорційно збільшується у два та сім разів відповідно.

Важливим параметром роботи зачисної машини є діаметр робочого інструменту. Діаметр має початкове значення (новий інструмент) і може змінюватися у процесі роботи (зношуватися). Зменшення діаметра зачисного круга в результаті зносу за умови використання повної потужності та незмінності частоти обертання збільшує навантаження на оператора.

Так, при положенні передньої рукоятки у позиції A або A_1 навантаження на руку оператора збільшується в 2,58 раза по відношенню до значення, характерного для нового (початкового) діаметра, а в положенні A_2 – в 2,75 раза.

Зменшення діаметра від початкового значення в 2,5 раза призводить і до збільшення навантаження на руку оператора на рукояті B. Якщо передня рукоять встановлена у позиції A, реакція R_B збільшується приблизно у 1,17 раза, якщо в позиції A_1 – у 1,12 раза, а A_2 – у 1,33 раза.

Момент M_{Bz} при положенні A збільшується у 13,6 раза, при положенні A_1 – у 2,2 раза, при A_2 – у 3,5 раза. При цьому в положенні A момент M_{Bz} має найменші значення за величиною порівняно з іншими положеннями (див. рис. 5).

Реакції на рукоятях змінюються нелінійно і мають мінімальні значення сумарного навантаження $|R_A|+|R_B|$ та моменту M_{Bz} при більших значеннях діаметра інструменту, що дає можливість встановлення його початкового значення (для нового інструменту) у залежності від технічних характеристик машини.

Суттєво впливає на характер та величину навантажень положення точки контакту зачисного круга з робочим середовищем, який характеризується кутом φ (див. рис. 6). Рівномірність навантаження на рукоятях ($|R_A| \approx |R_B|$) має місце при $\varphi \approx 130^\circ$ за близького до максимального значення моменту M_{Bz} . Як видно з графіків, вибір положення передньої рукояті, як і величина кута φ, найбільше впливає на значення і напрямок дії моменту M_{Bz} , мінімальне значення якого (близько нуля) відповідає куту $\varphi \approx 100^\circ$ при положенні А.

Значення кута γ залежить від технічних характеристик зачисного абразивного інструменту, умов роботи та, як і значення кута φ, встановлюється оператором.

Зміна кута γ (див. рис. 7) при незмінних інших параметрах незначно впливає на зміну сумарних навантажень на рукоятях і призводить до суттєвого перерозподілу величини їх складових у напрямку осей x, y, z . Це надає можливості для вибору найбільш зручного положення оператора при проведенні робіт. Необхідно зауважити незмінність моменту M_{Bz} при зміні кута γ за розташування передньої рукояті в положенні A_1, але з максимальним значенням по величині порівняно зі значеннями M_{Bz} у положеннях передньої рукояті A та A_2.

Величина відношення тангенціального зусилля до нормального на інструменті, що характеризується коефіцієнтом μ, залежить від фізико-механічних характеристик інструменту та робочого матеріалу.

Зміна μ (див. рис. 8) при незмінній величині зусилля притиску P_x призводить до перерозподілу величини та напрямку дії складових навантаження на рукоятях у напрямку осей x, y, z. Сумарні реакції змінюються нелінійно і мають мінімальні значення сумарного навантаження $|R_A|+|R_B|$ в діапазоні $\mu = 0{,}3\ldots0{,}4$.

Момент M_{Bz} із зростанням μ при положенні рукояті A нелінійно зменшується зі зміною напрямку його дії та при $\mu \approx 0{,}33$ дорівнює нулю. При розташуванні рукояті в положенні A_1 момент не змінюється при зміні μ і становить 7,92 Нм, у положенні A_2 нелінійно збільшується приблизно у два рази при збільшенні μ у три рази.

Зміна коефіцієнта f_x (див. рис. 9) визначає величину сили притиску зачисного круга та за умови повного використання потужності КШМ призводить до перерозподілу навантаження на робочому інструменті і до зміни величини і напрямку складових навантажень на рукоятях у напрямку осей x, y, z.

Також на їх значення вливає позиція встановлення передньої рукояті. Так, при положенні A_1 складові реакцій R_{Ay} та R_{By} , а також момент M_{Bz} не змінюються при зміні f_x. Величина моменту M_{Bz} суттєво змінюється при інших положеннях передньої рукояті: при положенні A

знижується з нульовим значенням при $f_x \approx 1{,}35$; при положенні A_2 – збільшується з нульовим значенням при $f_x \approx 0{,}7$.

Нахил машини у вертикальній площині, що характеризується кутом β (див. рис. 10), більше впливає на зміну реакції на передній рукоятці (до 40…45 % за нахилу у 30°). Для рукояті B зміна становить приблизно 10…12 %. Найменші значення моменту M_{Bz} при положенні передньої рукояті в позиції A становлять 0,71 Н · м при $\beta = 0$.

Дослідження отриманих результатів підтверджуються експериментальними спостереженнями за робочим процесом та показують, що навантаження на рукоятях КШМ у процесі роботи в режимі зачищення або шліфування залежать не тільки від конструктивних параметрів і режимів роботи машини, умов підходу машиною до місця обробки (технологічні умови), але і від взаємного розташування робочого інструменту та виробу, від зносу інструменту, його технічного стану, фізичного стану та навичок оператора. Загалом це впливає на зручність утримання машини в руках оператора, зменшує його втомлюваність, що безпосередньо сприяє підвищенню якості, продуктивності та безпечності виконання робіт.

На виникнення та розвиток втомлюваності оператора першочергово впливають тривалість та умови роботи, вид та параметри робочого інструменту (круга), його фізичний стан, сила ваги КШМ з інструментом, потужність приводу, швидкість робочого інструменту, компоновка машини. У свою чергу, втомлюваність впливає на зусилля, які оператор прикладає до машини, наприклад, на зусилля притискання, та одночасно знижує точність утримання машини відносно робочої зони.

Методика розрахунку та проведений на її основі аналіз дозволяють обґрунтовано підійти до вибору основних параметрів, режимів та прийомів роботи з ручними кутовими машинами, оснащеними зачисними абразивними кругами, при проведенні будівельно-монтажних робіт.

[1] Обладнання для монтажних робіт: підручник / *Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, В.П. Рашківський*. – К: КНУБА, 2016. – 232 с.

[2] Продуктивність ручних машин під час роботи з абразивними армованими кругами // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2019. – № 4 – С. 33–37.

[3] *Абрашкевич Ю.Д., Марченко О.А., Мачишин Г.М., Комоцька С.Ю.* Вплив технологічних параметрів на навантаження абразивних армованих кругів // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2021. – № 1. – С. 32–37.

[4] *Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Мачишин Г.М.* Зменшення енергетичних витрат при різанні металопрокату на монтажних ділянках // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2017. – № 2. – С. 43–46.

[5] Кінематичні та силові параметри машин з абразивними армованими кругами / *Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, В.П. Рашківський, Д.А. Соловей* // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2011. – №78. – С. 59–65.

[6] *Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Марченко О.А.* Силовий аналіз параметрів ручних машин під час роботи з відрізними абразивними армованими кругами // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2019. – № 2. – С. 38–47.

[7] *Абрашкевич Ю.Д.* Вплив армування на безпеку експлуатації абразивних кругів / Ю.Д. Абрашкевич, Г.М. Мачишин, В.П. Тишковець // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2015. – № 85. – С. 54–59.

[8] *Абрашкевич Ю.Д.* Эксплуатация абразивных армированных кругов / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Е. Пелевин, Г.Н. Мачишин // Монтажные и специальные работы в строительстве. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 2016. – № 4. – С. 30–32.

Надійшла 09.11.2021 р.

Вітаємо із 85-річчям

Вадима Миколайовича

заступника генерального директора з наукової роботи Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського, доктора технічних наук, професора, заслуженого діяча науки і техніки України, академіка-фундатора Академії будівництва України, лауреата премії імені академіка Буднікова М.С., члена редакційної колегії журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди»



Гордеєв Вадим Миколайович після закінчення Київського інженерно-будівельного інституту з 1958 по 1967 рік обіймав інженерні посади в Державному інституті «Укрпроектсталь-конструкція».

З 1967 по 1983 рік очолював Київський науково-дослідний відділ Центрального науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій, з 1983 по 1993 рік працював головним інженером Українського проектного та науково-дослідного інституту сталевих конструкцій. Протягом 1993–1998 рр. перебував на дипломатичній роботі – був радником з питань науки і техніки Посольства України в Російській Федерації.

З 1998 по 2010 рік – перший заступник голови правління ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського», а з 2011р. – заступник генерального директора з наукової роботи Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського.

Гордеєв В.М. зробив значний внесок у розвиток будівельної механіки. Він є автором лінійної теорії плоских вантових сіток і концепції розрахунку просторових вантових систем з вантами, які вільно проковзують в точках перетину. Його праці у галузі розрахунку нелінійно-деформівних систем, які включають односторонні в'язі, троси, елементи з ідеальної тканини, відомі у багатьох країнах світу. Велику наукову та практичну цінність мають результати досліджень просторових механічних систем із симетрією будь-якого виду, отримані на базі теорії представлень груп.

У працях, присвячених оптимізації металевих конструкцій, Вадим Миколайович ввів поняття множини конструкцій, близьких до оптимальної, та околиці оптимального рішення і дослідив множини оптимальних параметрів висотних баштових конструкцій і просторових решітчастих покриттів. Останнім часом він працює в галузі прикладної математики над проблемою використання гвинтів та бікватерніонів для розв'язання задач формоутворення криволінійних просторових конструкцій.

Гордеєв В.М. брав активну участь у розробленні проектної документації промислових будівель і висотних споруд, упроваджував автоматизований розрахунок конструкцій та методи оптимізації проектування металоконструкцій.

Професор Гордеєв В.М. – автор понад 200 друкованих праць у галузі будівництва, математики, астрономії, мовознавства та наукознавства, виданих українською, російською, англійською та китайською мовами, серед яких 22 монографії, наукові і технічні книги.

Вадим Миколайович бере активну участь у розробленні державних будівельних норм та стандартів та становленні української будівельної термінології.

Вадим Миколайович є членом Національного комітету України з теоретичної та прикладної механіки та представником України у Міжнародній асоціації з оболонкових та просторових конструкцій.

Гордеєв В.М. – член експертної ради МОН України з архітектури, будівництва і геодезії та член спеціалізованої вченої ради із захисту докторських дисертацій при Національному транспортному університеті.

Вадим Миколайович має заслужений авторитет і повагу серед науковців, проектувальників, будівельників та громадських організацій. Нагороджений державними та численними відомчими нагородами.

За високий професіоналізм, вагомі здобутки у науково-технічній і проектно-конструкторській діяльності Гордеєв Вадим Миколайович нагороджений нагрудним знаком Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України «Почесний працівник будівництва та архітектури» II ступеня та Почесною грамотою Кабінету Міністрів України.

Щиро зичимо Вадиму Миколайовичу міцного здоров'я, невичерпної творчої енергії та подальших успіхів у його діяльності

ДО ВІДОМА ДОПИСУВАЧІВ ЖУРНАЛУ !

Вимоги щодо публікації статей:

- Текст статті в електронному виді, авторська довідка, підготовлені у Microsoft Word та фото авторів. Наукові статті мають супроводжуватись анотацією (1200–1500 знаків) мовою статті та англійською, ключовими словами, УДК.
- 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 02.12.2021 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 02.12.2021 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**