

**ДЕРЖАВНА КОРПОРАЦІЯ
«УКРМОНТАЖСПЕЦБУД»**

**ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ
ТОВАРИСТВО
«УКРНДІПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦІЯ
ІМ. В.М. ШИМАНОВСЬКОГО»**

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 12853-1737 ПР від 11.07.2007 р.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР
Адріанов В.П.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР
Лукашевич Т.І.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Абрашкевич Ю.Д., д.т.н., проф.

Беркута А.В., к.е.н.

Голоднов О.І., д.т.н.

Гончаренко Д.Ф., д.т.н., проф.

Гордеев В.М., д.т.н., проф.

Гуляев В.І., д.т.н., проф.

Єгоров Є.А., д.т.н., проф.

Кваша В.Г., д.т.н., проф.

Корольов В.П., д.т.н., проф.

Лантух-Лященко А.І., д.т.н., проф.

Лобанов Л.М., академік НАНУ,
д.т.н., проф.

Мущанов В.П., д.т.н., проф.

Оглобля О.І., д.т.н., проф.

Пасечнюк В.Л.

Пічугін С.Ф., д.т.н., проф.

Пушкар А.П., к.е.н.

Стоянов В.В., д.т.н., проф.

Шимановський О.В., д.т.н., проф.

**МІЖНАРОДНА
РЕДАКЦІЙНА РАДА
на 2007 — 2010 роки**

Абель Д., д.т.н., проф. (США)

Агощ З., д.т.н., проф. (Словаччина)

Белоев М., к.т.н. (Болгарія)

Грінченко В.Т., академік НАНУ, д.т.н., проф. (Україна)

Зюлко Є., д.т.н., проф. (Польща)

Кавагучі М., д.т.н., проф. (Японія)

Каравайченко М.Г., д.т.н., проф. (Росія)

Като Ш., д.т.н., проф. (Японія)

Кжупка В., д.т.н., проф. (Чехія)

Кульбах В., академік НАНУ, д.т.н., проф. (Естонія)

Лан Т., д.т.н., проф. (Китай)

Назаров Ю.П., д.т.н., проф. (Росія)

Новак А., д.т.н., проф. (США)

Павлов А.Б., д.т.н., проф. (Росія)

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)

Тулебаєв К.Р., д.т.н. (Казахстан)

Шугаєв В.В., д.т.н., проф. (Росія)

Янковяк Р., д.т.н., проф. (Польща)



3'2009

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Виходить 4 рази на рік

Заснований у листопаді 2007 року

ЗМІСТ

УНІКАЛЬНІ ОБ'ЄКТИ

О.В. Шимановський, С.В. Галактіонов

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ КУПОЛЬНОГО ПОКРИТТЯ
ЦЕНТРУ ФРИСТАЙЛУ У м. МІНСЬКУ 2

НАУКА – ВИРОБНИЦТВО

В.К. Цихановський, С.М. Козловець, Н.О. Костира

ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ І СТРУКТУРИ ВЕЛИКОПРОГОНОВИХ
ОБОЛОНКОВИХ СИСТЕМ З ОБМЕЖЕННЯМИ ЗА МІЦНІСТЮ 6

Т.В. Антошина, А.П. Иванов, А.И. Голоднов

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
В СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ ПРИ ТОЧЕЧНОМ НАГРЕВЕ 11

О.В. Шимановський, В.В. Шалінський

НЕЛІНІЙНІ ЗАДАЧІ МІЦНОСТІ НИТОК СКІНЧЕНОЇ ЖОРСТКОСТІ
ПРИ СПЕЦІАЛЬНИХ ЗАВАНТАЖЕННЯХ 16

В.В. Гайдачук, В.П. Носенко

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ
И ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК. 22

УДОСКОНАЛЕННЯ ДОЗВІЛЬНОЇ СИСТЕМИ

А.Ф. Григор

НОВА СИСТЕМА ЛІЦЕНЗУВАННЯ У БУДІВНИЦТВІ 27

ДОСВІД ПРОЕКТУВАННЯ

О.І. Оглобля, М.Н. Лівшиць, А.І. Мартюк, П.Г. Федор

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СПОРУД ШЛАМОСХОВИЩА
МИКОЛАЇВСЬКОГО ГЛИНОЗЕМНОГО ЗАВОДУ 30

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

В.Т. Шаленний, Р.Б. Папірник, О.С. Каменєв, А.А. Павлюк

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВЛАШТУВАННЯ ПРОРІЗІВ
У ЦЕГЛЯНИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТІНАХ 34

МОНТАЖНІ З'ЄДНАННЯ

Л.О. Кагановский

АВТОМАТИЧЕСКОЕ МОНТАЖНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ 39

АБРАЗИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ

Ю.Д. Абрашкевич

ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТА 42

ЮВІЛЕЙНІ ДАТУ

ГОЛОДНОВ ОЛЕКСАНДР ІВАНОВИЧ

(до 50-річчя від дня народження) 47

Постановою президії ВАК України від 09.04.2008 р. № 1-05/4 журнал внесено до переліку наукових фахових видань із технічних наук

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ КУПОЛЬНОГО ПОКРИТТЯ ЦЕНТРУ ФРИСТАЙЛУ У м. МІНСЬКУ

У результаті пошуку ефективних конструктивних форм великої архітектурної виразності та універсальності, які реалізуються на основі багаторазово повторюваних елементів, було створено просторові стержньові системи нового типу, так звані структури. Відмінною особливістю цих систем є їх «кристалічна» будова і значна насиченість стержнями решітки. У будівництві широко застосовуються два основні види стержньових систем, у першому з яких середина поверхня стержньового набору є площиною (структурні плити), а у другому вузли стержнів розташовуються на гладких криволінійних поверхнях різної кривизни (решітчасті куполи).

Оскільки купол має поверхню двоякої кривизни, то він не тільки більш ефективно сприймає зовнішнє навантаження в порівнянні з плитами, але й дає максимум внутрішнього об'єму на одиницю площі огорожувальної поверхні. Проте купол значно складніший у виконанні, ніж структурні плити, які виготовляються з мінімальної кількості типорозмірів стержнів. Прагнення ж до кращого відображення криволінійних поверхонь приводить до більшої кількості типорозмірів, оскільки, наприклад, при радіально-кільцевій системі розрізання сферичних куполів при наближенні до вершини розміри панелей зменшуються.

Незважаючи на зазначені недоліки, купольні покриття останнім часом усе ширше застосовуються при проектуванні і будівництві різних будівель і споруд. Одним із прикладів великопрогонового просторового купольного покриття може слугувати покриття Центру фрістайлу у м. Мінську, проект якого виконаний спеціалістами інституту «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» відповідно до архітектурно-будівельного завдання УП «Белпромпроект» на замовлення Міністерства спорту і туризму Республіки Білорусь. Центр, що об'єднав у собі професійну базу для занять водними видами спорту зі спектром фізкультурно-оздоровчих і розважальних послуг для відпочинку на воді, належить до унікальних спортивних об'єктів. Крім того, він є першою у світі закритою спорудою, яка дозволяє за будь-



О.В. Шимановський
голова правління
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція
ім. В.М. Шимановського»,
заслужений діяч науки і техніки
України, д.т.н., професор



С.В. Галактіонов
головний інженер проєктів
відділу нових типів конструкцій
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція
ім. В.М. Шимановського»

якої пори року проводити тренування і спортивні змагання з водного фрістайлу.

Центр побудований у вигляді моноблокової споруди, перекритої куполом діаметром 90 м, із врізаною у неї прибудовою для трамплінів у вигляді призми трикутної форми, яка спирається на конструкції сходово-ліфтової башти заввишки 47,2 м. Будівля складається з чотирьох незалежних об'ємно-планувальних блоків, що прилягають один до одного, а саме:

- спортивно-видовищної зали з купольним покриттям діаметром 90 м;
- прибудови для трамплінів із огорожувальними конструкціями у вигляді врізаної в купол трикутної призми;
- сходово-ліфтового блока заввишки 47,2 м, до якого прилягають три трампліни з верхньою відміткою гори розгону +36,39 м;
- вхідної групи прогоном 36 м, розташованої перпендикулярно до центральної осі будівлі.

Спортивно-видовищна зала. При проектуванні покриття спортивно-видовищної зали за основу була прийнята традиційна найбільш універсальна система радіально-кільцевого купола діаметром 90 м. Каркас купола складається з плоских радіальних напівферм, встановлених із кроком 15° і об'єднаних між собою п'ятирівневою системою кільцевих просторових ферм, в'язів і прогонів (рис. 1, 2). У двох осях радіальні напівферми не передбачені з метою утворення отвору для пропуску в підкупольний простір конструкцій трамплінів для водного фрістайлу.

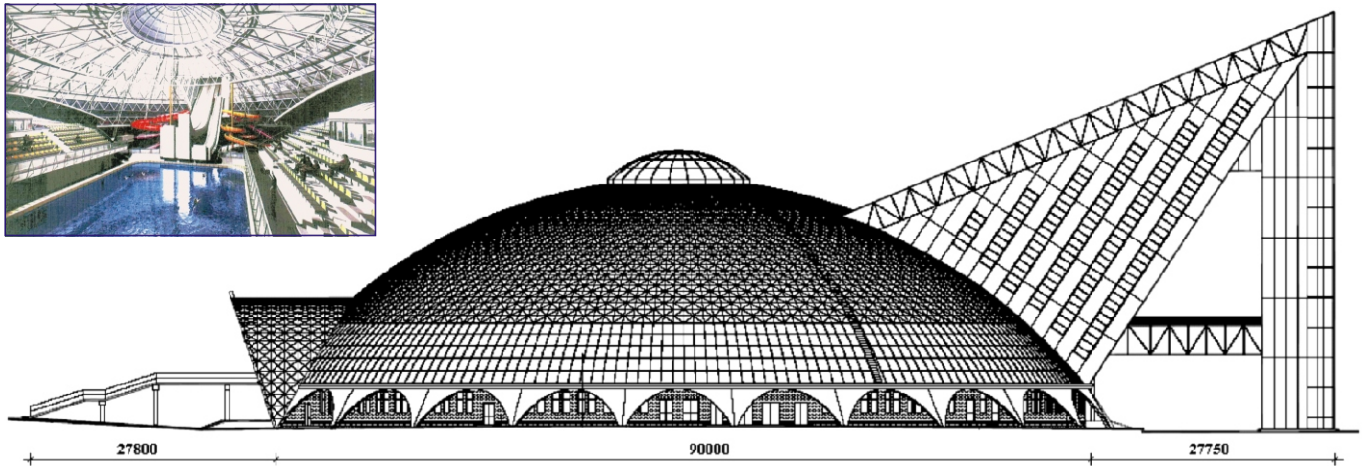


Рис. 1. Центр фрістайлу у м. Мінську

Радіальні напівферми внизу на відм. +3,9 м спираються на зовнішнє опорне кільце діаметром 90 м, а вгорі на відм. +26,584 м сполучаються за допомогою внутрішнього опорного кільця діаметром 16 м, на якому розташований світловий ліхтар заввишки 4 м. Отвір купола для пропуску трамплінів обмежений двома додатковими арковими напівфермами, які спираються верхнім кінцем на радіальні напівферми, а нижнім – на зовнішнє опорне кільце.

Зовнішнє опорне кільце, виконане у вигляді 24-кутника зі зварного Н-подібного про-

філю зі стінкою 950 16 мм і полицями 440 25 мм, жорстко закріплене на шарнірно-обпертих металевих колонах двотаврового поперечного перерізу І 70Ш1. Радіальні і кільцеві ферми запроектовані з труб, а в'язи і прогони – із гнутих замкнутих зварних прямокутних профілів і швелерів.

Як несучий елемент огорожувальних конструкцій з відм. +11,9 м і до вершини купола прийнятий профільований настил, несуча здатність якого визначила крок прогонів, установлених між радіальними напівфермами.

Загальна жорсткість купола забезпечена встановленими в'язями у чотирьох секторах і у двох нижніх панелях усіх секторів радіальних напівферм (див. рис. 2), а диск покриття створений шляхом прикріплення кожної хвилі профільованого настилу до верхніх поясів напівферм і до прогонів самонарізними гвинтами.

Несучі конструкції купольного ліхтаря прийняті з радіально розташованих із кроком 15° криволінійних балкових елементів, що спираються по верху ліхтаря на кільце з труби 720 8 і об'єднуються між собою кільцевими горизонтальними розпірками і в'язями.

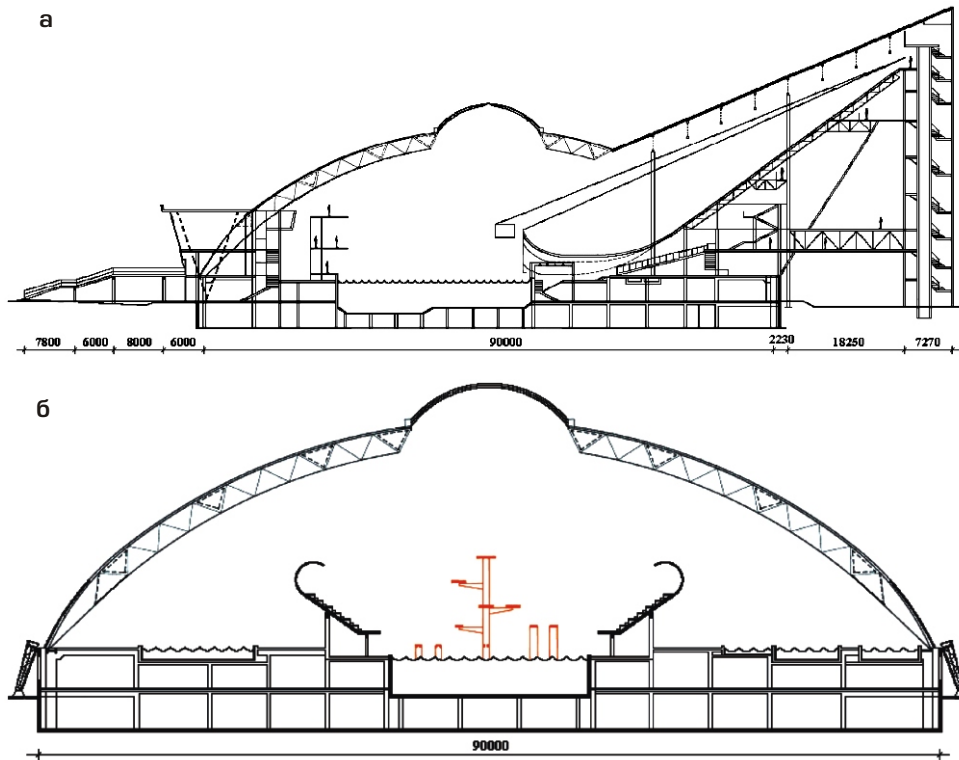


Рис. 2. Поздовжній (а) і поперечний (б) розрізи Центру фрістайлу у м. Мінську

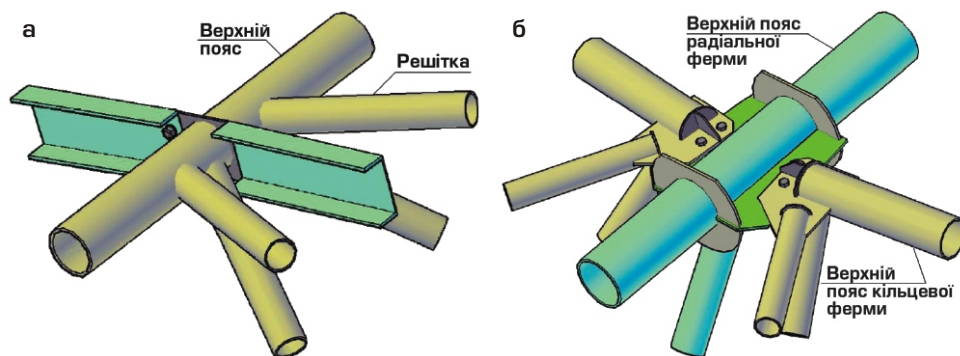


Рис. 3. Вузлові з'єднання кільцевої ферми (а) і кільцевої та радіальної ферм (б)

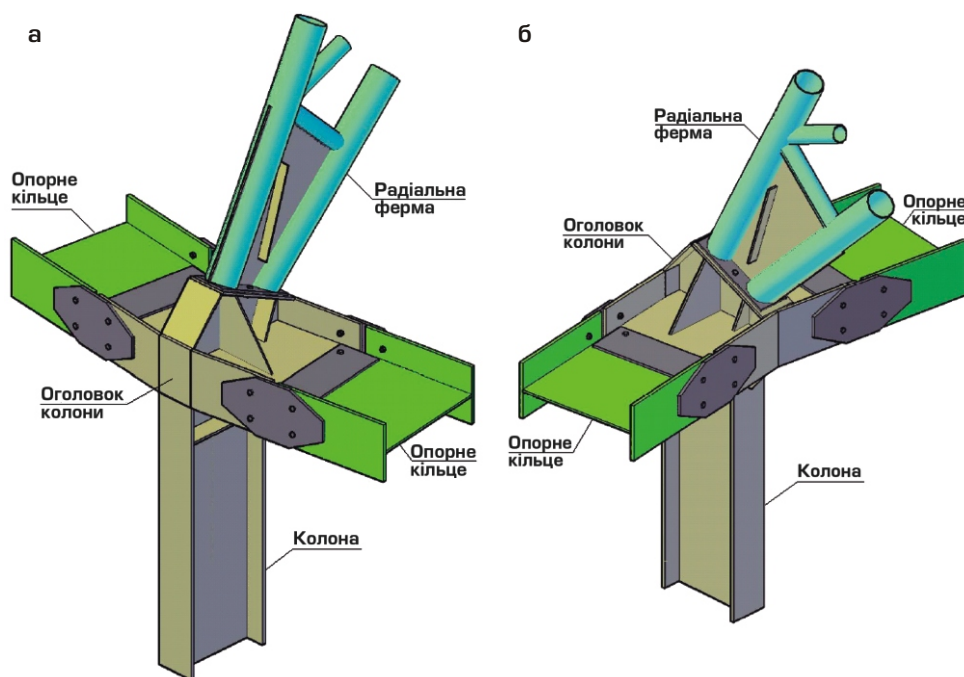


Рис. 4. Вузлове з'єднання радіальної ферми з опорним кільцем і колоною:
а – зовнішній вигляд; б – внутрішній вигляд

Через велику насиченість прийнятої системи радіально-кільцевого купола покриття спортивно-видовищної зали конструктивними елементами, а також обмеженість у ряді випадків мінімально необхідного простору для улаштування їх сполучення застосовані спеціальні рішення вузлових з'єднань. По-перше, усі вузлові з'єднання незалежно від їх конструктивного рішення (фасоночні або безфасоночні) прийняті комбінованого типу і, по-друге, виконані з застосуванням зварювання (заводського і монтажного) і болтів. Вузлове з'єднання елементів кільцевої ферми показане на рис. 3, а, причому примикання елементів решітки до поясів ферми прийняте безфасоночним.

Вузол сполучення кільцевої і радіальної ферм представлений на рис. 3, б. Кільцеві тригранні

ферми кріпляться до радіальних ферм на фасонках, які розташовані уздовж поясів радіальних ферм і підкріплені привареними до поясів радіальних ферм кільцевими ребрами. Складання вузла здійснюється монтажними болтами із подальшим приварюванням фасонки кільцевих ферм до фасонки радіальних ферм.

Вузол сполучення радіальної ферми з опорним кільцем і колоною представлений на рис. 4. Як видно з рисунка, оголовок колони є частиною опорного кільця і виконаний у вигляді горизонтального двотавра заввишки 1,0 м. Вгорі оголовка колони має похилу опорну плиту для спирання опорної плити радіальної ферми. Вузол складається за допомогою монтажних болтів із подальшим приварюванням опорної плити радіальної ферми до оголовка колони.

Прибудова для трамплінів має вигляд врізаної в купол трикутної призми, що спирається на сходово-ліфтовий блок. Прибудова

у місці сполучення з куполом має такі розміри: ширина 21,612 м, висота 24,15 м, а у місці примикання до сходово-ліфтового блока на відм. +46 м її ширина становить 8,485 м.

Основними несучими конструкціями прибудови є дві плоскі порталні рами, встановлені перпендикулярно до центральної подовжньої осі, на які спираються конструкції перекриттів стін і прибудови. Відстань між порталними рамами прийнята 21,32 м, а між другою рамою і центром шахти ліфтів – 21,85 м.

Портали виконані у вигляді однопрогонових рам (перша – одноповерхова, друга – триповерхова), у яких прийняте жорстке спирання ригелів на колони і колон на фундаменти. Колони рам – суцільностінчасті, коробчастого поперечного перерізу, а усі ригелі, окрім верх-

нього і нижнього, запроектовані у вигляді ферм із паралельними поясами з широкополичних двотаврів. Верхній ригель виконаний у вигляді ферми з паралельними поясами з гнутих замкнутих зварних квадратних профілів, а нижній – у вигляді зварної балки двотаврового поперечного перерізу I 100Ш2.

Покриття прибудови складається з поперечних кроквяних ферм, установлених із кроком 5,32 м, чотирьох подовжніх підкроквяних ферм, прогонів і профільованого настилу покриття. Кроквяні ферми запроектовані заввишки 2,464 м із паралельними поясами і розкритою решіткою з гнутих замкнутих зварних квадратних профілів і широкополичних двотаврів, а їх спирання здійснюється на підкроквяні ферми і рами порталів. Підкроквяні ферми, розташовані уздовж фасадних стін прибудови, спираються на рами порталів і сходово-ліфтовий блок.

До верхніх вузлів подовжніх підкроквяних ферм покриття підвішені стійки фахверка, до яких кріпляться ригелі стінової огорожі, огорожувальні конструкції по низу прибудови, а також балки для спирання ферм і майданчиків трамплінів. Стійки фахверка спираються на конструкції покриття і низу прибудови, вітрові горизонтальні ферми і майданчики між порталами, а також на дві додаткові аркові напівферми, встановлені по краях отвору в куполі.

Усередині будівлі прибудови розміщуються три трампліни – для одного, двох і трьох сальто, несучі конструкції яких спираються на башту шахти ліфтів, ригелі другого portalу і каркас прибудови (див. рис. 2). Конструкції трамплінів для одного і двох сальто виконані у вигляді двох похилих ферм із двометровою відстанню між ними, верхні пояси яких з'єднані спеціальним оребреним листом, що одночасно слугує проїжджою поверхнею трамплінів. Конструкція середнього трампліна для трьох сальто складається з центральної похилої ферми і щитів настилу, укладених одним кінцем на центральну ферму, а іншим – на сусідні трампліни. До ферм трамплінів у поперечному напрямі прикріплені кронштейни для встановлення похилих сходів із поручнями. Просторова жорсткість конструкцій трамплінів забезпечується жорсткими дисками зі щитів настилу, а також системою вертикальних і горизонтальних в'язів між фермами.

Для переходу зі спортивно-видовищної зали у сходово-ліфтовий блок на відм. +8,1 м облаштована пішохідна галерея прогоном 21,28 м, що

спирається одним своїм кінцем на нижній ригель другого portalу, а іншим – на башту ліфтів. Галерея виконана з двох решітчастих ферм із паралельними поясами зі широкополичних двотаврів, на яких встановлені горизонтальні в'язі та укладені збірні залізобетонні плити.

Сходово-ліфтовий блок заввишки 46 м виконаний у вигляді башти зі скошеним верхом, її поперечний переріз являє собою усічений квадрат, повернутий на 45° навколо центральної осі прибудови для трамплінів. У кутках усіченого квадрата розташовані несучі колони з широкополичних двотаврів, об'єднані в єдиний конструктив за допомогою решітки з гнутих замкнутих зварних квадратних профілів і швелерів. Несучі колони сходово-ліфтового блока слугують також опорною системою для трамплінів для двох і трьох сальто, а також конструкцій перехідної галереї, підкроквяних ферм покриття і перекриттів прибудови.

Загальна стійкість усього блока забезпечується, по-перше, жорстким закріпленням несучих колон башти у фундаментах і залізобетонному майданчику – горизонтальній діафрагмі башти на відм. +40,305 м, по-друге, розкріпленням стійок шахти ліфтів на сходіві марші і горизонтальні майданчики сходів і, по-третє, прикріпленням косоурів сходових маршів, майданчиків сходів і стійок для спирання сходових маршів до несучих колон башти.

Вхідна група розташована перед купольним покриттям Центру фрістайлу перпендикулярно до його центральної осі. Покриття вхідної групи утворене двома плоскими двошарнірними арковими фермами прогоном 36 м кожна, встановленими під кутом 17° до вертикалі. З метою недопущення великих переміщень конструкцій покриття вхідної групи під дією несиметричних (зокрема снігових) навантажень у місці його сполучення з куполом аркова ферма додатково має дві стоякові проміжні опори, які спираються на залізобетонні конструкції вхідної групи.

Аркові ферми запроектовані радіального обрису з поясами із труб. На верхніх поясах ферм встановлені у поперечному напрямі кроквяні ферми і балки покриття. На верхніх поясах кроквяних ферм і балках покриття розташовані прогони зі швелерів, які мають криволінійний контур у вертикальній площині та покриті огорожувальними конструкціями з профільованого настилу.

Надійшла 28.01.2009 р.

УДК 539.3

ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ І СТРУКТУРИ ВЕЛИКОПРОГОНОВИХ ОБОЛОНКОВИХ СИСТЕМ З ОБМЕЖЕННЯМИ ЗА МІЦНІСТЮ

Запропонована методологія оптимального проектування комбінованих оболонкових конструкцій складної конфігурації з обмеженнями за міцністю. Розроблено спеціальний алгоритм оптимального пошуку на основі методу прямої оптимізації з обмеженою кількістю узагальнених параметрів проектування. Розв'язана задача розрахунку на міцність із урахуванням пружно-пластичних деформацій при обчисленні оптимальних параметрів проектування сильнонелінійної тонколистової оболонки на пружно-піддатливому контурі.

Given an account of methodology optimum projection of combined shell-constructions complicated form with limited to stress. The special algorithm of optimum search has been developed, which it is based on method of direct optimization with limited number to generalize parameters of projection. The task of stress calculation has been solved with taking into account of elastic-plastic strains, optimum parameters of projection for heavy-ton nonlinear thin sheet-shell on elastic-pliable contour.

Ключові слова: комбіновані конструкції, цільова функція, метод нелінійного програмування, інтенсивність напружень, параметричні обмеження, обмеження за міцністю.

У загальному випадку задачі оптимізації форми і структури комбінованих оболонкових систем не мають загальної математичної формалізації і зводяться до низки задач, у т.ч. геометричного моделювання загальної дискретної моделі комбінованої конструкції, визначення мінімальної середньої поверхні для заданого контуру, аналізу чутливості конструктивних елементів каркаса і стабілізуючих елементів із розрахунками їх на стійкість, моделювання конструктивних елементів каркаса з пошуком еквівалентних аналогів і визначенням спектра узагальнених параметрів, попереднього оптимального пошуку з визначенням чутливості першого спектра параметрів проектування з подальшим обмеженням їх кількості. Ці розрахунки дають можливість визначити області розв'язку за параметрами проектування і станом, а також інтервали зміни обмеженої кількості параметрів проектування за двома основними різновидами – форми та структури.

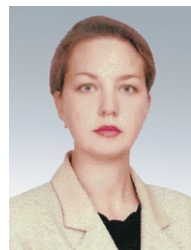
Для розв'язання загальної проблеми оптимізації форми і структури комбінованих оболонкових систем розроблено спеціальний алгоритм послідовного оптимального пошуку параметрів схем конструктивних елементів і загальної комбінованої системи, в якому використані результати [1–4] для розв'язку задач нелінійного деформування гнучких оболонкових систем. Таким чином задача оптимального проектування систем, що розглядаються, вирішується на базі комплексного підходу, який об'єднує методи розрахунку на міцність за граничним станом із урахуванням розвитку локальних зон пружно-пластичних деформацій і пошуковий (прямий)



В.К. Цихановський
головний науковий співробітник
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція
ім. В.М. Шимановського»,
д.т.н., професор



С.М. Козловець
докторантка Національного
авіаційного університету,
к.т.н., доцент



Н.О. Костира
асистентка Національного
авіаційного університету

метод оптимізації форми і структури комбінованої оболонкової конструкції.

Для розв'язання поставленої задачі оптимізації форми і структури оболонкової конструкції за головний критерій якості прийнято мінімізацію функції напружень її елементів, а не мінімізацію ваги конструкції в явному вигляді. Тоді математична модель задачі має форму [4] та містить:

- цільову функцію

$$f(b, u) \quad \max(b, u) \quad \min; \quad (1)$$

- обмеження у вигляді рівностей (система нелінійних рівнянь рівноваги дискретної моделі)

$$h_k(b, u) = [Q_N^i(b, u) \ R_N^t(b, u)] \ 0, \quad (2)$$

$(N = 1, \dots, N; k = 3 \dots M);$

- обмеження у вигляді нерівностей (за міцністю)

$$\max (b, u) \ | \ T; \quad (3)$$

- розширений критерій Мізеса [6]

$$1,5 I_1(S^2) \cos^2 \frac{\pi}{s} \leq 0; \quad (4)$$

- параметричні обмеження

$$\{b^0\} \ \{b\} \ \{b^{(k)}\}; \ \{u^0\} \ \{u\} \ \{u^{(k)}\}, \quad (5)$$

де $R_N^t(b, u)$, $Q_N^i(b, u)$ – коефіцієнти нелінійних матриць реакцій і зовнішніх навантажень; S – тензор-девіатор функції напружень; $s = \frac{T}{s} h$, $h = E_T / (1 + E_T/E)$ – інтенсивність напружень елементів оболонкової конструкції з урахуванням зміцнення матеріалу; π – параметр пластичності Одквіста [2]; $I_1(S^3)$, $I_1(S^2)$ – інваріанти тензор-девіатора напружень третього і другого ступенів; $\{b\} = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ – вектор змінних проектування; $\{u\} = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ – вектор змінних стану (переміщень); $\frac{T}{s}$ – еквівалентні напруження на площадці текучості при повторних навантаженнях; E , E_T – модулі Юнга на ділянках ламаної, що відповідають пружному стану і лінійному зміцненню згідно з діаграмою пластичності [2]; π – параметр Лоде-Надаї [6], $\arcsin[6^{1/2} I_1(S^3) / I_1^{3/2}(S^2)] / 3$. (6)

Результати оптимального проектування і розрахунків на міцність за граничним станом наведені на прикладі комбінованої оболонкової конструкції еліптичного у плані великопрогнового покриття розміром 145 × 85 м. Конструкція складається з тонколистової оболонки на пружній постелі зі смугових ниток скінченної жорсткості, у центрі якої знаходиться еліптичний отвір розміром 36 × 18 м із внутрішнім опорним кільцем, на який спирається аркова конструкція світлового ліхтаря, стабілізуючого залізобетонного шару завтовшки 3 см та зовнішнього пружно-піддатливого трубобетонного опорного контуру [4] (рис. 1). Тонка оболонка має еквівалентну товщину $h_0 = 0,5$ см, що відповідає циліндричній жорсткості тонколистової оболонки завтовшки 0,4 см із урахуванням розміщених під нею з кроком 350 см прокатних смуг (розміром 300 × 8 см кожна), які

підвішені до зовнішнього і внутрішнього опорних контурів.

Початкова форма покриття моделюється поверхнею гіперболічного параболоїда. Вважаючи, що вибрана математична модель початкової форми покриття відповідає умовам забезпечення мінімальної поверхні на заданому контурі, у якості змінних проектування форми прийнято два узагальнені параметри – стрілу підйому параболу у поздовжньому перерізі – f_a і стрілу підйому параболу у поперечному центральному перерізі – f_b . Зважаючи на конструктивні параметричні обмеження (5), вказані незалежні параметри проектування мають наступні граничні значення: $f_a^0 \leq f_a \leq f_a^1$; $f_b^0 \leq f_b \leq f_b^1$, а інтервали, у межах яких відбувається оптимальний пошук (1)–(6), записуються так:

$$\begin{aligned} f_a & \in [800 \ 1000] \text{ см}; \\ f_b & \in [400 \ 800] \text{ см}, \end{aligned}$$

де $f_a = Z_A$ і $f_b = Z_B$ – координати Z^1 контурних точок поздовжнього контуру при перетині його площинами симетрії $OZ^1 Z^2$ і $OZ^1 Z^3$.

Параметри основних конструктивних елементів покриття приймаються узагальненими змінними проектування. Для визначення компонент вектора b необхідно встановити функціональні залежності між параметрами еквівалентних прямокутних аналогів цих конструктивних елементів (за поздовжньою і згинальною жорсткостями [2, 3]) і змінними проектування відповідних тонкостінних стрижневих елементів закритого і відкритого профілів та їх комбінацій, яких у даному випадку налічується дванадцять – $E_i^{(e)}$; h_i^e ; b_i^e ; e_i^e , $i = 1, 3$.

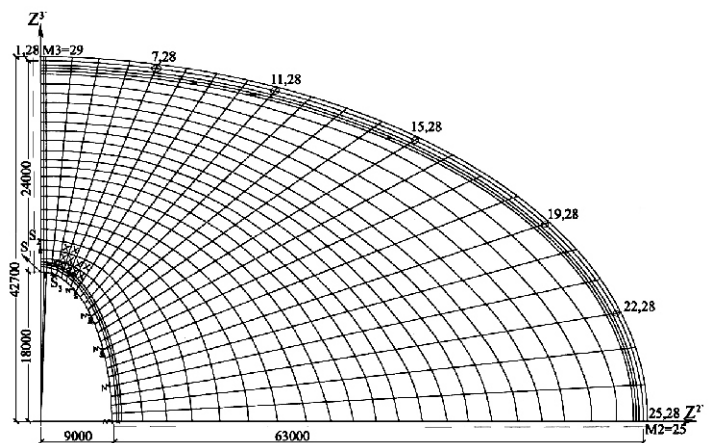


Рис. 1. Розрахункова схема покриття та дискретна модель 1/4 його частини

На основі проведення попереднього аналізу чутливості конструкції каркаса до зміни вказаних параметрів та розгляду до п'яти варіантів комбінацій тонкостінних профілів для кожного елемента виявлені змінні, що найбільше впливають на градієнти внутрішніх зусиль і пов'язані з параметрами еквівалентних перерізів наступними залежностями:

- зовнішній трубобетонний опорний контур

$$\begin{aligned} h_e & (1,12 \ 1,15)D_{mp}; \quad b_e \ D_{mp}; \\ E_e & (4,0 \ 4,05)10^5 \text{ кг/см}^2 \quad \text{const}; \\ e_x^{mp} & (0,5 \ 0,55)D_{mp}; \end{aligned}$$

- ребра внутрішнього кільця і арки

$$\begin{aligned} h_e & (1,1 \ 1,12)(2h_s); \quad b_e \ (1,5 \ 1,55)(4b_s \ 200); \\ E_e & (3,0 \ 3,05)10^5 \text{ кг/см}^2 \quad \text{const}; \quad e_x^k \ 0; \\ e_x^{ap} & (1,25 \ 1,3)h_s, \end{aligned}$$

в яких прийнято, що D_{mp} – умовний діаметр контуру; e_x^{mp} – ексцентриситет приєднання оболонки до зовнішнього контуру; h_s – висота і b_s – ширина полки швелера; e_x^k , e_x^{ap} – ексцентриситети приєднання відповідно внутрішнього кільця і арки до оболонки.

З урахуванням зазначеного кількість узагальнених змінних проектування основних елементів каркаса зводиться до чотирьох – D_{mp} , e_x^{mp} , h_s , e_x^{ap} . У якості незалежних змінних проектування виступають також узагальнені параметри наведеної товщини оболонки і два параметри одиничної жорсткості пружно-піддатливих в'язів для збільшення жорсткості внутрішнього кільця у поперечному напрямі уздовж осі OZ^2 , які накладені у вузлах із сітковими координатами $S_3 = 1$ і $S_2 = 9, 13, 17, 21, 25$, і для моделювання шпренгельної затяжки арки у площині $OZ^1 Z^3 - 0,60 \ h \ 0,35 \text{ см}; 21,4 \ 10^4 \ R_0^2 \ 9,0 \ 10^4 \text{ кг/см}$. До компонент вектора змінних проектування додаються також ще два чисто структурних параметри – крок опорних колон зовнішнього контуру та кількість примикань-вставок для моделювання поступового спряження оболонки і елементів каркаса з метою зменшення концентрації напружень за обмеженням (4). Таким чином, за розробленим спеціальним алгоритмом чисельної реалізації оптимального проектування розглянутої комбінованої конструкції вектор змінних проектування включає одинадцять незалежних компонент

$$\{b\} = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}\},$$

$$\text{де } b_1 = f_a; \quad b_2 = f_b; \quad b_3 = D_{mp}; \quad b_4 = e_x^{mp}; \quad b_5 = h_s; \quad b_6 = e_x^{ap};$$

$b_7 = h_0; \quad b_8 = R_0^1; \quad b_9 = R_0^2; \quad b_{10} = k_p = 1, 2$ – кількість примикань-вставок до елементів каркаса; $b_{11} = l_k$ – крок опорних колон.

Параметричні обмеження на компоненти вектора b прийняті у межах норм проектування з урахуванням обмежень за міцністю у граничному стані при можливій локальній втраті стійкості. Обмеження за максимальними прогинами оболонки, зміщеннями зовнішнього і внутрішнього опорних контурів наступні: на максимальні тангенціальні зміщення характерних точок зовнішнього і внутрішнього контурів $u_{49}^2 \ 5,0 \text{ см}; u_{1349}^2 \ 12,0 \text{ см}; u_{1301}^3 \ 8,0 \text{ см}$, на максимальний прогин тонколистової оболонки і внутрішнього контуру у центрі покриття $u_{49}^1 \ 100,0 \text{ см}$.

Для сильнонелінійних конструкцій при умовній незалежності змінних проектування b і стану u застосування непрямих методів оптимізації на основі критеріїв оптимальності [5, 7] практично неможливо, тому єдиним методом оптимізації таких систем залишаються пошукові (прямі) методи, засновані на обчисленні значень цільової функції (1) після розв'язання системи нелінійних рівнянь (2) із дотриманням умов (3), (4) у процесі послідовної зміни компонент вектора параметрів проектування у межах зазначених інтервалів за формулою

$$b^{t+1} = b^t + \Delta b^t, \quad t = 0, 1, 2, \dots, k,$$

де t – номер ітерації прямого пошуку; b^t – величина зміни вектора параметрів проектування.

При $t = 0$ маємо початковий вектор. На першій ітерації розв'язується задача розрахунку на міцність та нелінійного деформування гнучкої оболонкової системи, а на наступних ітераціях цей розв'язок багатократно повторюється при зміні кожного разу однієї змінної проектування b_i^{t+1} , тоді як інші залишаються сталими. Цей процес продовжується за певним алгоритмом, поки не буде досягнуто мінімуму цільової функції (1) при дотриманні умов (3)–(6). В запропонованому загальному спеціальному алгоритмі оптимізації форми і структури досліджуваної системи алгоритм прямого пошуку побудований за методом нелінійного програмування Хука-Дживса [8], який розділяється на два основних етапи: загальний «дослідний пошук» у околі базисної точки при $t = 0$ і «пошук за зразком» у напрямі найбільшого спуску або до мінімального значення функції (1), або до граничної межі інтервалу відповідної змінної проектування.

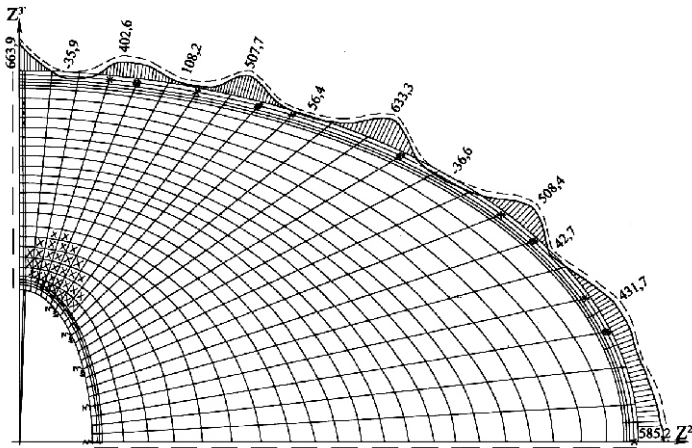


Рис. 2. Епюра поперечного згинного моменту у зовнішньому контурі покриття при різних значеннях ексцентриситету спряження елементів оболонки і контуру:

— зменшений
 - - - - - максимальний

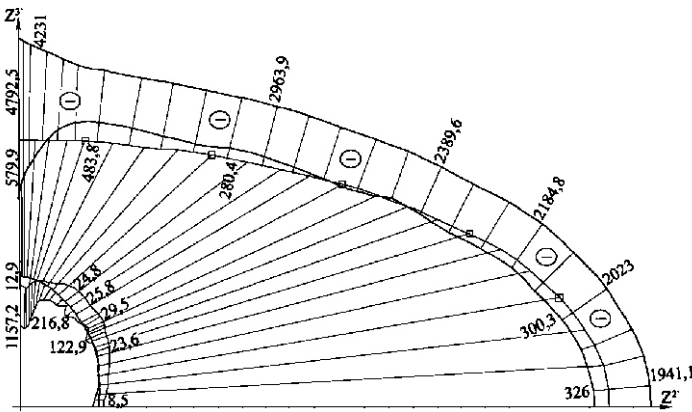


Рис. 3. Епюри внутрішніх зусиль у зовнішньому та внутрішньому опорних контурах

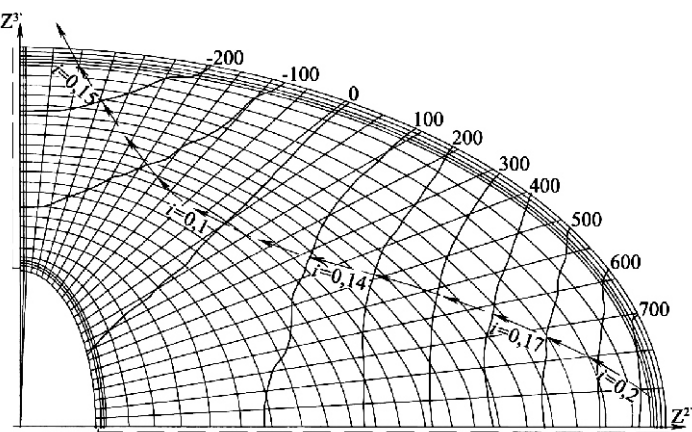


Рис. 4. Ізолінії деформованої поверхні покриття за координатою Z^1

На першій ітерації при $t = 0$ компоненти початкового вектора узагальнених параметрів проектування і вектора варіації цих параметрів мають наступні значення:

$$b_1^0 = 800 \text{ см}; b_2^0 = -800 \text{ см};$$

$$b_3^0 = 102 \text{ см}; b_4^0 = 70 \text{ см}; b_5^0 = 14 \text{ см};$$

$$b_6^0 = -16,25 \text{ см}; b_7^0 = 0,4 \text{ см};$$

$$b_8^0 = 7,5 \cdot 10^4 \text{ кг/см}; b_9^0 = 9,0 \cdot 10^4 \text{ кг/см};$$

$$b_{10}^0 = 1; b_{11}^0 = 600 \text{ см};$$

$$b_1^0 = 100 \text{ см}; b_2^0 = 200 \text{ см};$$

$$b_3^0 = 20 \text{ см}; b_4^0 = 2 \text{ см}; b_5^0 = 2 \text{ см};$$

$$b_6^0 = 3,5 \text{ см}; b_7^0 = 0,05 \text{ см};$$

$$b_8^0 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ кг/см}; b_9^0 = 2,0 \cdot 10^4 \text{ кг/см};$$

$$b_{10}^0 = 1; b_{11}^0 = 300 \text{ см}.$$

Після остаточного завершення процедури прямого пошуку, уточнення обмежень і змін структурних параметрів проектування компоненти отриманого оптимального вектора змінних проектування дорівнюють:

$$b_1 = 800 \text{ см}; b_2 = -400 \text{ см};$$

$$b_3 = 1420 \text{ мм}; b_4 = 72,95 \text{ см};$$

$$b_5 = 22 \text{ см}; b_6 = 3,5 \text{ см};$$

$$b_7 = 0,5 \text{ см}; b_8 = 12,0 \cdot 10^4 \text{ кг/см};$$

$$b_9 = 21,4 \cdot 10^4 \text{ кг/см}; b_{10} = 2; b_{11} = 1500 \text{ см}.$$

На рис. 1 наведені оптимальні значення параметрів проектування, з урахуванням яких виконано остаточний розрахунок на міцність у позаграничному стані матеріалу оболонки і примикань-вставок до елементів каркаса з обмеженнями за розвитком пластичних деформацій (3), (4) при дії постійного (власна вага конструктивних елементів) і снігового навантажень. Параметри напружено-деформованого стану покриття, які отримані при розрахунку, наведені у вигляді ізоліній і епюр внутрішніх зусиль. На рис. 2 наведені епюри поперечних згинних моментів у зовнішньому опорному контурі.

На рис. 3 показані епюри поздовжніх сил і тангенціальних згинних моментів у зовнішньому контурі, а також епюри поздовжніх сил і поперечних згинних моментів у внутрішньому контурі, а на рис. 4 наведені ізолінії деформованої поверхні покриття за координатою Z^1 і показаний середній головний ухил його криволінійної поверхні, значення якого знаходяться у межах $0,1 \leq i \leq 0,17$.

На рис. 5 наведені ізолінії мембранних напружень у тонколистовій оболонці. Максимальні напруження мають локальний характер розповсюдження в області пластичних деформацій, досягають значень 350–370 МПа і знаходяться в межах текучості легованої сталі 09Г2С. Мінімальні стискальні напруження у тонколистовій оболонці спостерігаються

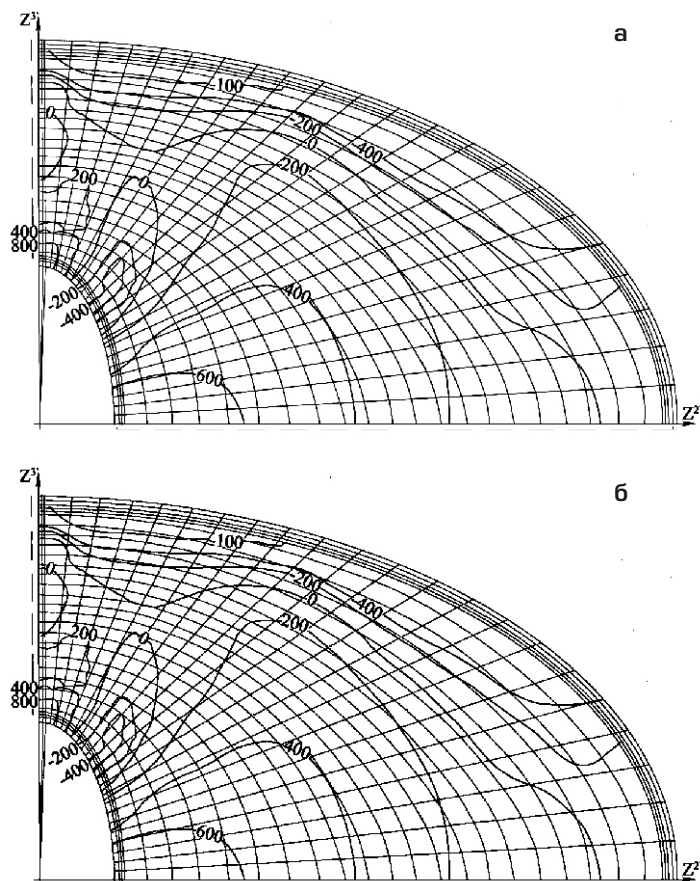


Рис. 5. Ізолінії головних напружень у тонколистовій оболонці:

а – максимальні; б – мінімальні

в області примикання до опорного контуру і досягають величини -400 МПа, що становить тільки 108 % від величини втрати локальної стійкості для сталі 09Г2С і унеможливує появу значних зон складкоутворення в оболонці.

Аналіз величин напружень у визначених в результаті оптимального пошуку поперечних перерізах конструктивних елементів покриття свідчить, що елементи відповідають умовам

міцності у граничному стані при розвитку пластичних деформацій. Наприклад, для поясних листопркатних елементів ребер арки запропоновано до застосування прокатну смугу з легованої сталі марки 10ХСНД із межею текучості 400 МПа, при дійсних максимальних напруженнях $\sigma_{\max}^T = 443,7$ МПа, що менше ніж $\sigma^r = 450$ МПа.

Висновки.

1. Запропоноване конструктивне рішення покриття відноситься до класу полегшених систем із мінімальними витратами сталі на 1 м^2 горизонтальної проекції покриття у межах $85\text{--}90 \text{ кг/м}^2$ (без врахування підвісної стелі) при максимальному поперечному прогоні 84 м і поздовжньому – 144 м. Також перевагою даної конструкції покриття є те, що вона забезпечує практично зовнішній водовідвід атмосферних опадів (як правило, покриття висячих систем мають внутрішній водовідвід), що значно зменшує експлуатаційні витрати.

2. Максимальні прогини у центрі покриття досягають 97,4 см, а тангенціальні зміщення у зовнішньому контурі дорівнюють 11 см, що вимагає спеціальних пристроїв спирання зовнішнього контуру на колони для зменшення тертя.

3. Чисельні результати дослідження напружено-деформованого стану комбінованої конструкції покриття і окремих його елементів свідчать про застосування найсучасніших уточнених методів розрахунку на міцність і надійність при наближенні максимальних внутрішніх зусиль до позаграничного стану у певних чітко визначених інтервалах міцності використаних матеріалів.

[1] Шимановский А.В., Цыхановский В.К. Теория и расчет сильнонелинейных конструкций. – К.: Изд-во «Сталь», 2005. – 432 с.
 [2] Баженов В.А., Цыхановський В.К., Кислоокий В.М. Метод скінченних елементів у задачах нелінійного деформування тонких та м'яких оболонок. – К.: КНУБА, 2000. – 386 с.
 [3] Цыхановский В.К., Козловец С.М., Коряк А.С. Расчет тонких плит на упругом основании методом конечных элементов. – К.: Изд-во «Сталь», 2008. – 234 с.
 [4] Цыхановский В.К., Козловец С.М., Костыра Н.А. Несущая способность комбинированных оболочечных конструкций с учетом развития пластических деформаций. – Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2008. – № 3. – С. 17–21.

[5] Телес Д.К.Ф. Применение метода граничных элементов для решения неупругих задач. – М.: Стройиздат, 1987. – 160 с.
 [6] Реклейтис С.Г., Рейвиндран А., Рэгдел К. Оптимизация в технике. Кн. 1, 2. – М.: Мир, 1986. – 346 с.
 [7] Хог Э., Арора Я. Прикладное оптимальное проектирование: Механические системы и конструкции. – М.: Мир, 1983. – 478 с.
 [8] Химельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 534 с.

Надійшла 15.05.2009 р.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ ПРИ ТОЧЕЧНОМ НАГРЕВЕ

Приведены теоретические предпосылки и методика определения остаточных напряжений при разогреве пластин точечным источником тепла, выполнен сравнительный анализ полученных результатов расчета с экспериментальными данными.

Theoretical pre-conditions of determination of residual stresses at the warming-up of plates are resulted by the point source of heat, the comparative analysis of the obtained results with experimental data is executed.

Ключевые слова: пластина, температурные воздействия, остаточные напряжения.

Любые (полосовые или точечные) локальные термические воздействия (ЛТВ) после остывания приводят к появлению в пластинах остаточного напряженного состояния (ОНС). Распределение остаточных напряжений (ОН) в пластинах можно определить с помощью существующих вычислительных комплексов типа ЛИРА, SCAD. В качестве модели, описывающей появление ОНС после нагрева и остывания, может быть использована модель «обратных» температур [1, 2 и др.]. Разность температур в зоне нагрева должна быть принята такой, чтобы максимальные напряжения не превышали предела упругой работы стали. «Точное» решение может быть получено при рассмотрении разогрева пластины точечным источником тепла. Суммируя ОНС от расположенных рядом точечных источников тепла, можно получить ОНС пластины после полосового разогрева.

Цель настоящих исследований – разработка аналитического аппарата для расчета остаточных напряжений в тонких пластинах после нагрева точечным источником тепла и сравнения данных, полученных в результате расчета по разработанной методике, с данными экспериментальных исследований.

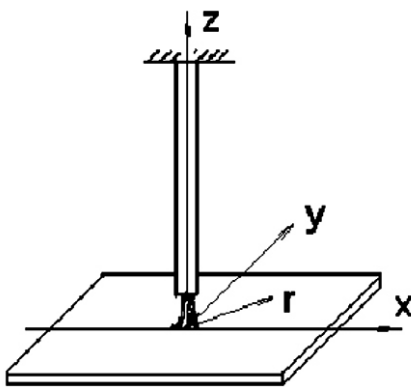


Рис. 1. Нагрев тонкой бесконечной пластины источником тепла постоянной мощности



Т.В. Антошина

аспирантка кафедры строительных конструкций Донбасского государственного технического университета



А.П. Иванов

доцент кафедры строительных конструкций Донбасского государственного технического университета, к.т.н.



А.И. Голоднов

заведующий отделом строительных конструкций, ученый секретарь ОАО «УкрНИИПроекстальконструкция им. В.Н. Шимановского», д.т.н.

Примем, что тонкую бесконечную пластину толщиной h (м) нагревают центрально-симметричным источником тепла постоянной мощности M (Вт) (рис. 1).

Распределение плотности источников тепла по пластине в полярных координатах (r, θ) имеет вид $f(r)$ (Вт/м²). Пусть температура пластины одинакова по толщине и в момент времени t (с) описывается функцией $T(r, t)$ (°C). Температура окружающей среды принимается равной T_0 . В начальный момент времени температура пластины равна температуре окружающей среды $T(r, 0) = T_0$. Материал имеет удельную теплоемкость C (Дж/кг · °C), плотность ρ (кг/м³), коэффициент теплопроводности k (Вт/м · °C), теплообмен с окружающей средой происходит по закону Ньютона [3]:

$$q = [T(r,t) - T_0], \quad (1)$$

где q – коэффициент теплообмена с единицы поверхности, Вт/м²·°С.

Нагрев пластины описывается уравнением теплопроводности в полярных координатах [4, 5 и др.]

$$c \frac{T(r,t)}{t} = k \nabla^2 T(r,t) = \frac{2}{h} T(r,t) \frac{f(r)}{h}, \quad (2)$$

где $t > 0; 0 < r < r_1$; ∇^2 – оператор Лапласа, определяемый при условии независимости функций от полярного угла по формуле

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \quad (3)$$

и начальных условиях $T(r, 0) = T_0, 0 < r < r_1$.

Уравнение (2) можно записать в виде

$$\frac{T}{t} = a^2 \nabla^2 T = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = T F(r), \quad (4)$$

где $a^2 = \frac{k}{c}$ – коэффициент температуропроводности, м²/с;

$$F(r) = \frac{2}{c h} \frac{f(r)}{h}.$$

Закон распределения мощности нагрева принимается в виде $f(r) = q e^{-pr^2}$ (рис. 2).

Тогда мощность источника нагрева

$$M = \int_0^{r_0} q e^{-pr^2} 2\pi r dr = \frac{q}{p} \quad (5)$$

и при $p = 1/r_0^2$ плотность источников тепла по пластине

$$f(r) = \frac{M}{r_0^2} e^{-r/r_0}, \quad (6)$$

$$F(r) = \frac{M}{c h r_0^2} e^{-r/r_0} = q e^{-r/r_0^2}. \quad (7)$$

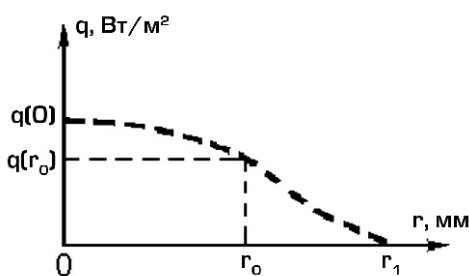


Рис. 2. Естественный закон распределения мощности нагрева по кругу

Значения функции $f(r)$ при различных значениях r :

$$f(0,83 r_0) = 0,5 f(0); \quad f(r_0) = 0,37 f(0);$$

$$f(2,15 r_0) = 0,01 f(0); \quad f(2,6 r_0) = 0,001 f(0).$$

Ограничиваясь допустимой для инженерных расчетов точностью, распределение температуры по плоскости пластины можно описать функцией вида

$$T(r,t) = T_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{r_1^2} \right), \quad 0 < r < r_1, \quad (8)$$

$$T_{\max} = T_{\max}(t) = \frac{M}{4 k h} \ln \frac{4 k t}{c r_0^2} + 1, \quad (9)$$

где r_0 – радиус пятна (зоны термического воздействия); r_1 – радиус, при котором плотность источников тепла по пластине приближается к нулю. На основании пояснений к формуле (7) можно принять $r_1 = 2,6 r_0$.

Пусть модуль упругости материала равен E (Н/м²), коэффициент Пуассона ν , коэффициент линейного расширения α (1/°С). При условии центральной симметрии плоское напряженное состояние (ПНС) описывается напряжениями σ_r, σ_θ (Па) и радиальным смещением u (м). Принимается, что $\sigma_z = \tau_{rz} = \tau_{zr} = 0$.

Для плоского напряженного состояния в условиях упругих деформаций уравнение равновесия имеет вид [2, 4, 5, 6]

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{d u}{dr} \right) = 0. \quad (10)$$

Деформации определяются по формулам:

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{u}{r} + \nu \frac{du}{dr} \right); \quad \sigma_\theta = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{u}{r} - \nu \frac{du}{dr} \right). \quad (11)$$

Закон Гука для термоупругости может быть записан в виде

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{u}{r} + \nu \frac{du}{dr} \right) + \frac{E}{1-\nu^2} \frac{u}{r} \frac{E}{E} \frac{T}{T}. \quad (12)$$

Подставив (12) в (10) с учетом (8) можно записать, опуская промежуточные выкладки, выражения для радиального смещения и напряжений в области упругих деформаций:

$$u_{el} = \frac{(1-\nu) T_{max}}{2} r \frac{r^3}{2 r_1^2}; \quad 0 \leq r \leq r_1; \quad (13)$$

$$\frac{(1-\nu) T_{max}}{4} \frac{r_1^2}{r}; \quad r \geq r_1;$$

$$\epsilon_{el} = \frac{E T_{max}}{2} \left(1 - \frac{r^2}{2 r_1^2} \right); \quad 0 \leq r \leq r_1; \quad (14)$$

$$\frac{E T_{max}}{4} \frac{r_1^2}{r^2}; \quad r \geq r_1;$$

$$\epsilon_{el} = \frac{E T_{max}}{2} \left(1 - \frac{3 r^2}{2 r_1^2} \right); \quad 0 \leq r \leq r_1; \quad (15)$$

$$\frac{E T_{max}}{4} \frac{r_1^2}{r^2}; \quad r \geq r_1.$$

Для идеального пластического материала условие Хубера-Мизеса имеет вид [7, 8]

$$\frac{2}{r} \sigma^2 + \frac{2}{r} \tau^2 = \frac{2}{r_{pl}^2} \sigma_{pl}^2, \quad (16)$$

где r_{pl} – предел текучести материала.

Воспользовавшись тригонометрическими представлениями напряжений в зоне пластичности [7]

$$\sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{pl} \cos \frac{\theta}{3}$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{pl} \cos \frac{\theta}{3} \frac{r}{3} \quad (17)$$

и, подставляя (17) в (10), можно получить уравнение, общее решение которого имеет вид

$$r^2 e^{\sqrt{3}\theta} \sin \frac{\theta}{6} = 0. \quad (18)$$

Условие конечности при $r = 0$ и условие $r|_0 = 0$ удовлетворяет $\sigma_r = \frac{2}{3} k, C = 0$, откуда в зоне пластичности $\sigma_r = \frac{2}{3} \sigma_{pl}$. Так как сжатие соответствует знак «-», то

$$\sigma_r = -\frac{2}{3} \sigma_{pl}, \quad 0 \leq r \leq r_{pl}, \quad (19)$$

где r_{pl} – радиус зоны пластичности.

$$\epsilon_{el} = \frac{E}{1-\nu} A (1-\nu) \frac{B}{r^2} (1-\nu) (1-\nu^2) T_1 \frac{r^2}{4 r_1^2} + \frac{E C_1}{(1-\nu) r^2}, \quad (20)$$

$$\epsilon_{el} = \frac{E}{1-\nu} A (1-\nu) \frac{B}{r^2} (1-\nu) (1-\nu^2) T_1 \frac{3 r^2}{4 r_1^2} + \frac{E C_1}{(1-\nu) r^2}, \quad (21)$$

В области упругой работы материала в зонах $r_{pl} \leq r \leq r_1$ и $r \leq r_1$ с учетом формул (10), (12)–(15) зависимости для определения напряжений имеют вид (см. формулы (20) и (21), где T_1 – температура нагрева в пятне.

Из условий $\sigma_r|_{r=0} = \sigma_r|_{r_0}$, $\tau_{r\theta}|_{r=0} = \tau_{r\theta}|_{r_0}$ определяются коэффициенты в формулах (20) и (21), из условий $\sigma_r|_{r=0} = p$, $\tau_{r\theta}|_{r=0} = p$ – постоянные B и r_{pl} :

$$A = \frac{(1-\nu) T_1}{2}, \quad (22)$$

$$C_1 = (1-\nu) T_1 \frac{r_{pl}^4}{4 r_1^2} \frac{r_1^2}{4}, \quad (23)$$

$$r_{pl} = r_1 \sqrt{1 - \frac{2}{E} \frac{p}{T_1}}, \quad (24)$$

$$B = (1-\nu) T_1 \frac{r_{pl}^4}{4 r_1^2}. \quad (25)$$

Пластические деформации возникают при $r_{pl} > 0$. Отсюда условие для возникновения пластических деформаций

$$T_1 \geq \frac{2}{E} \frac{p}{T_{pl}} T_{pl}. \quad (26)$$

Граница зоны пластичности r_{pl} возрастает от 0 до r_1 при увеличении температуры T от T_{pl} до $+$. Окончательно формулы для определения напряжений имеют вид

$$\sigma_r = \frac{E T_1}{2} \frac{r_{pl}^2}{r_1^2} \left(1 - \frac{r^2}{r_1^2} \right); \quad 0 \leq r \leq r_{pl};$$

$$\sigma_r = \frac{E T_1}{2} \frac{r^2}{2 r_1^2} - \frac{r_{pl}^4}{2 r_1^2 r^2} \left(1 - \frac{r_{pl}^2}{r_1^2} \right); \quad r_{pl} \leq r \leq r_1;$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{E T_1}{2} \frac{r_{pl}^4}{2 r_1^2 r^2} - \frac{r_1^2}{2 r^2}; \quad r \leq r_1. \quad (27)$$

$$\frac{E}{2} \frac{T_1}{r_1^2} \frac{r_{pl}^2}{r_1^2} - 1 ; \quad 0 \leq r \leq r_{pl} ;$$

$$\frac{E}{2} \frac{T_1}{r_1^2} \frac{3 r^2}{2 r_1^2} - \frac{r_{pl}^4}{2 r_1^2 r^2} - 1 ; \quad r_{pl} \leq r \leq r_1 ;$$

$$\frac{E}{2} \frac{T_1}{r_1^2} \frac{r_{pl}^4}{r^2} - \frac{r_1^2}{2 r^2} ; \quad r \leq r_1 ,$$
(28)

где $r_1 = 2,6 (3,32 \cdot 10^{-3} T_p - 1) r_0$; $T_1 = T_p - T_{cr}$, где r_0 – радиус пятна нагрева; T_p – температура нагрева; T_{cr} – температура, при которой снижается предел текучести стали.

С учетом предпосылок и условий теоремы о разгрузке [8] остаточные напряжения находят как разность уравнений (27), (28) и (14), (15):

$$\frac{E}{2} \frac{T_1}{r_1^2} \frac{r_{pl}^2}{r_1^2} - \frac{r^2}{2 r_1^2} ; \quad 0 \leq r \leq r_{pl} ;$$

$$\frac{E}{2} \frac{T_1}{r_1^2} \frac{r_{pl}^4}{2 r_1^2 r^2} ; \quad r_{pl} \leq r \leq r_1 ;$$
(29)

$$\frac{E}{2} \frac{T_1}{r_1^2} \frac{r_{pl}^4}{2 r_1^2 r^2} ; \quad r \leq r_1 ;$$

$$\frac{E}{2} \frac{T_1}{r_1^2} \frac{r_{pl}^2}{r_1^2} - \frac{3 r^2}{2 r_1^2} ; \quad 0 \leq r \leq r_{pl} ;$$

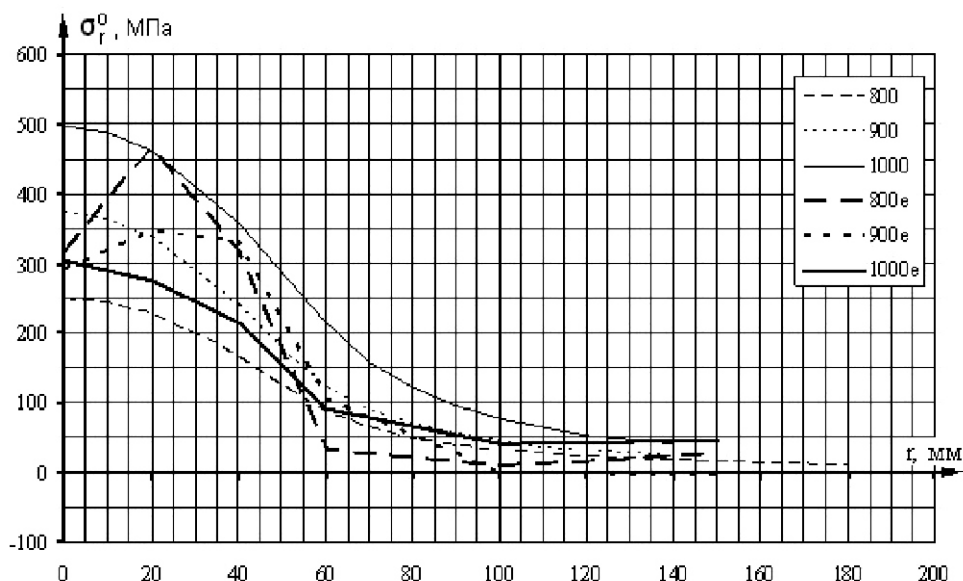
$$\frac{E}{2} \frac{T_1}{r_1^2} \frac{r_{pl}^4}{2 r_1^2 r^2} ; \quad r_{pl} \leq r \leq r_1 ;$$
(30)

$$\frac{E}{2} \frac{T_1}{r_1^2} \frac{r_{pl}^4}{2 r_1^2 r^2} ; \quad r \leq r_1 .$$

По полученным формулам (29) и (30) построены графики распределения ОН, которые возникают в прямоугольных пластинах размерами 500 × 500 мм и толщиной 5 мм после нагрева до температур 800, 900, 1000 °С. На рис. 3 приведены графики распределения напряжений σ_r^0 , на рис. 4 – напряжений σ_{θ}^0 в сравнении с полученными экспериментальными графиками. На этих графиках 800, 900, 1000 – теоретические данные для температур нагрева соответственно 800, 900, 1000 °С; 800e, 900e, 1000e – экспериментальные данные для температур нагрева соответственно 800, 900, 1000 °С.

Экспериментальное определение ОНС выполнено разрушающим методом в пластинах, разогретых в центре точечным источником тепла до температур 800, 900, 1000 °С. В качестве экспериментальных образцов использованы пластины размерами 500 × 500 мм и толщиной 5 мм. Материал пластин – сталь марки Вст3Гсп по ГОСТ 380-94. Пластины нагревались газовым резаком с одной стороны. После достижения требуемой температуры нагревание продолжалось в течение одной минуты. Контроль температуры нагрева производился термопарой, установленной с обратной стороны пластины. Диаметр пятна при нагреве составлял 16...20 мм. Пластины устанавливались в вертикальном положении и закреплялись в слесарных тисках, верхний и нижний края были свободно оперты, боковые края находились в свободном состоянии. Остывание пластин производилось естественным путем на воздухе (естественное) и путем обрызгивания водой (принудительное).

Рис. 3. Распределение ОН σ_r^0 в пластине после нагрева до разных температур



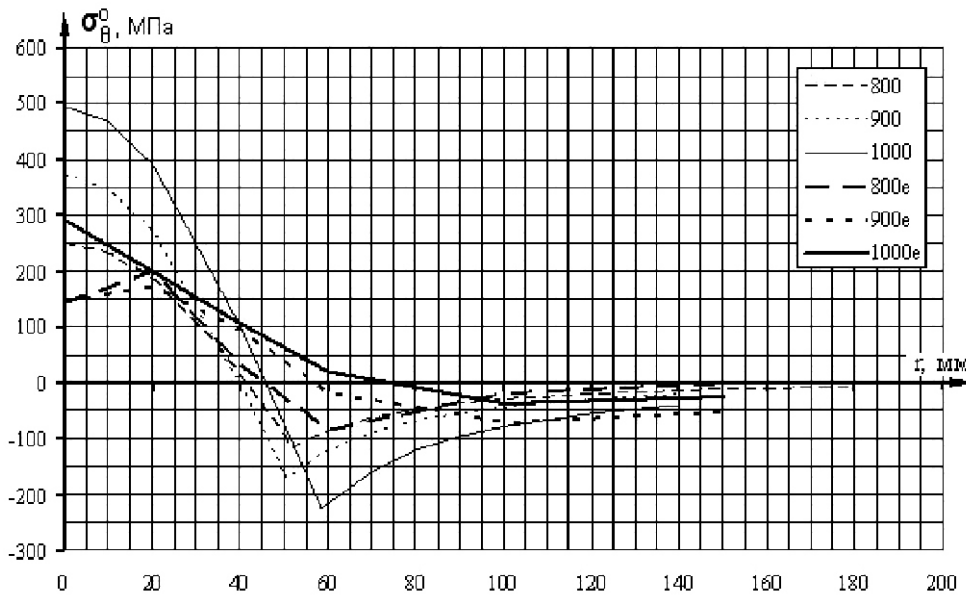



Рис. 4.
Распределение σ_{θ}^0
в пластине после нагрева
до разных температур

Выводы.

- В ходе проведения теоретических исследований были получены формулы для определения ОН (σ_r^0 и σ_{θ}^0), возникающих в пластине после нагрева до разных температур и остывания.
- Полученное в результате расчетов распределение ОН удовлетворительно согласуется с экспериментально полученным распределением, что позволяет рекомендовать предложенную методику при расчетах ОНС.
- Использование полученных результатов в части определения ОНС при расчетах пластин на устойчивость позволит учесть влияние ОНС. Как показывают результаты расчетов [2], такое влияние для пластин может быть неоднозначным: ОНС может способствовать как увеличению критических нагрузок, так и их снижению. Для проектировщиков важно предвидеть возможность и оценить последствия потери устойчивости, а также любыми средствами (в т.ч. и регулированием ОНС путем ЛТВ) избежать отказа конструкции.

- [1] *Игнатъева В.С.* Метод «фиктивных» температур как основа исследований в области напряженно-деформированного состояния сварных соединений // *Метал. конструкции в стр-ве: Сб. тр. / МИСИ.* – М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1979. – Вып. 152. – С. 71–88.
- [2] *Голоднов А.И.* Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках. – К.: Вид-во «Сталь», 2008. – 150 с.
- [3] *Тихонов А.Н., Самарский А.А.* Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1966. – 724 с.
- [4] *Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И.* Интегралы и ряды. Элементарные функции. – М.: Наука, 1981. – 800 с.
- [5] *Лурье А.И.* Теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 940 с.
- [6] *Амензаде Ю.А.* Теория упругости. – М.: Высшая школа, 1976. – 272 с.
- [7] *Малинин Н.Н.* Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
- [8] *Писаренко Г.С., Мохаровский Н.С.* Уравнения и кривые задачи теории пластичности и ползучести. – К.: Наукова думка, 1981. – 496 с.

Надійшла 23.04.2009 р. 

УДК 539.3:624.071

НЕЛІНІЙНІ ЗАДАЧІ МІЦНОСТІ НИТОК СКІНЧЕНОЇ ЖОРСТКОСТІ ПРИ СПЕЦІАЛЬНИХ ЗАВАНТАЖЕННЯХ

Розглянута нелінійна задача міцності ниток скінченної жорсткості, розв'язок якої отриманий за допомогою принципу можливих переміщень. Для визначення розпору в нитці використане загальне диференціальне рівняння рівноваги з урахуванням спеціальних видів додаткових навантажень. Виконана оцінка точності отриманих рішень.

The nonlinear task of durability of finite rigidity tendons is considered. The decision of task is got by means the principle of the possible moving. The used common differential equilibrium equation for determination of stretching in the tendon. The special types additional of loads are taken into account. Precision estimation of the got decisions is executed.

Ключові слова: нелінійність, нитка скінченної жорсткості, диференціальне рівняння рівноваги, оцінка точності розв'язку.

Задача міцності ниток скінченної жорсткості вирішується за допомогою принципу можливих переміщень. При цьому розглядаються нитки, які відповідають вимогам [2], а їх розрахунок проводиться з використанням передумов [11].

Припустимо, що працююча з вигином від початкового і додаткового навантажень [1] нитка скінченної жорсткості з поперечним перерізом площею F , моментом інерції I та модулем пружності E завантажена довільним навантаженням $q(x)$ і знаходиться в стані рівноваги. При цьому під $q(x)$ мається на увазі сума всіх навантажень, які діють на нитку у вертикальній площині. При визначенні рівнянь розв'язку задачі візьмемо в якості незалежної перемінної площу поперечного перерізу нитки F , а в якості шуканої функції – величину розпору H .

Якщо площа поперечного перерізу нитки F отримає незначний, але скінченний приріст своєї величини, який дорівнює F , то зміняться величини діючих у нитці внутрішніх зусиль і її геометрія. У вертикальній площині згинальний момент M_y отримає деякий приріст M_y , кут між двома нескінченно близькими поперечними перерізами нитки – приріст δz , а нитка переміститься із свого положення на величину z (рис. 1).

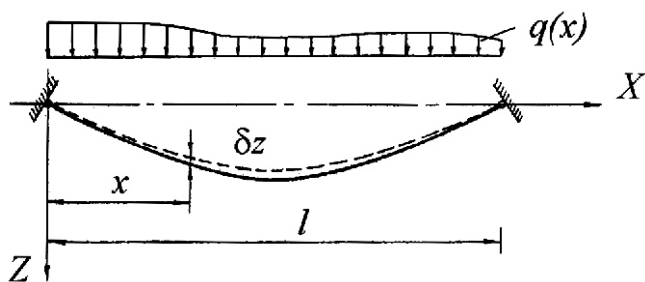


Рис. 1. Деформація нитки під дією довільного вертикального поперечного навантаження



О.В. Шимановський
голова правління
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція
ім. В.М. Шимановського»,
заслужений діяч науки і техніки
України, д.т.н., професор



В.В. Шалінський
аспірант
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція
ім. В.М. Шимановського»

Крім цього розпір H отримає деякий приріст своєї величини H . Визначимо ці величини за допомогою балкових параметрів – згинального моменту і прогину M_y^{δ} , а також шуканого розпору H . Для цього скористаємося відомими залежностями [2]:

$$H = \frac{M_y^{\delta} M}{f}; \quad M = M_y^{\delta} \frac{f}{f^{\delta}}. \quad (1)$$

Зазначимо, що перша з формул (1) абсолютно точна, оскільки відображає умови рівноваги нитки, а друга – наближена, тобто отримана з використанням передумови про пропорційність прогинів і згинальних моментів у нитці скінченної жорсткості та аналогічній їй із усіх параметрів балці. Однак точність другої формули достатньо висока, а її застосування вносить у розрахунок похибку, яку можна порівняти з похибкою припущення про пологість нитки.

З урахуванням (1) вирази для прогинів y і згинальних моментів у нитці скінченної жорсткості можна записати наступним чином:

$$z = \frac{M_y^{\delta} z^{\delta}}{H z^{\delta} M_y^{\delta}}; \quad M_y = \frac{(M_y^{\delta})^2}{H z^{\delta} M_y^{\delta}},$$

а приріст параметрів напружено-деформованого стану нитки визначити за формулами

$$z = \frac{M_y^{\phi}(z^{\phi})^2 H}{(Hz^{\phi} - Hz^{\phi} - M_y^{\phi})(Hz^{\phi} - M_y^{\phi})};$$

$$M_y = \frac{(M_y^{\phi})^2 z^{\phi} H}{(Hz^{\phi} - Hz^{\phi} - M_y^{\phi})(Hz^{\phi} - M_y^{\phi})}; \quad (2)$$

$$dx = \frac{EF H - HE F}{EF(EF - E F)} dx;$$

$$d = \frac{(M_y^{\phi})(z^{\phi} HEI - z^{\phi} HEI - z^{\phi} HEI - M_y^{\phi} E I)}{EI(EI - E I)(Hz^{\phi} - Hz^{\phi} - M_y^{\phi})(Hz^{\phi} - M_y^{\phi})} dx.$$

Розглянемо роботу зовнішніх і внутрішніх сил. Робота зовнішніх сил визначається як інтеграл із добутку функції навантаження $q(x)$ на перший із виразів (2), поширений на всю довжину прогону l :

$$U_1^l = \int_0^l \frac{q(x)M_y^{\phi}(z^{\phi})^2 H}{(Hz^{\phi} - Hz^{\phi} - M_y^{\phi})(Hz^{\phi} - M_y^{\phi})} dx. \quad (3)$$

Робота внутрішніх сил складається з роботи зусилля $H + H$ на пружному переміщенні dx і роботи згинального моменту $M_y + M_y$ на зміні кута між двома нескінченно близькими поперечними перерізами нитки d

$$U_2^l = \int_0^l \frac{(EF H - HE F)(H - H)}{EF(EF - E F)} dx; \quad (4)$$

$$U_2^l = \int_0^l \frac{(M_y^{\phi})^4 (z^{\phi} HEI - z^{\phi} HEI - z^{\phi} HEI - M_y^{\phi} E I)}{EI(EI - E I)(Hz^{\phi} - M_y^{\phi})(Hz^{\phi} - Hz^{\phi} - M_y^{\phi})^2} dx. \quad (5)$$

У відповідності з принципом Лагранжа сума робіт усіх зовнішніх і внутрішніх сил на нескінченно малих можливих переміщеннях системи з положення рівноваги дорівнює нулю $U_1 + U_2 = 0$. (6)

Тоді, підставляючи (3)–(5) у співвідношення (6), отримуємо

$$\int_0^l \frac{q(x)M_y^{\phi}(z^{\phi})^2 H}{(Hz^{\phi} - Hz^{\phi} - M_y^{\phi})(Hz^{\phi} - M_y^{\phi})} dx + \int_0^l \frac{(EF H - HE F)(H - H)}{EF(EF - E F)} dx + \int_0^l \frac{(M_y^{\phi})^4 (z^{\phi} HEI - z^{\phi} HEI - z^{\phi} HEI - M_y^{\phi} E I)}{EI(EI - E I)(Hz^{\phi} - M_y^{\phi})(Hz^{\phi} - Hz^{\phi} - M_y^{\phi})^2} dx = 0. \quad (7)$$

Якщо представити z^{ϕ} як $z^{\phi} = (z^{\phi} EI)/EI = m/EI$, поділити рівняння (7) почленно на H й перейти до границі при $H \rightarrow 0$ і $F \rightarrow 0$, то отримаємо загальне диференціальне рівняння для визначення величини розпору в нитці скінченної жорсткості

$$\frac{dF}{dH} = \frac{F}{H} - \frac{EF^2}{H^2} - \frac{q(x)M_y^{\phi} m^2}{(Hm - EIM_y^{\phi})^2} dx$$

$$= \frac{E^2 F^2 I}{H^2} - \frac{(M_y^{\phi})^4 m}{(Hm - EIM_y^{\phi})^3} dx = 0. \quad (8)$$

Інтеграли, які присутні у рівнянні (8), залежать від виду прикладеного до нитки навантаження і умов закріплення її кінців. Вони можуть бути визначені в кожному конкретному випадку або безпосереднім інтегруванням, або за допомогою квадратурних формул Ньютона-Котеса.

Розглянемо спеціальні практично важливі випадки завантаження шарнірно закріпленої нитки і представимо рівняння (8) з урахуванням розкриття інтегралів, які входять до його складу. При цьому будемо вважати, що у всіх зазначених випадках на нитку діє початкове рівномірно розподілене навантаження q_1 на всьому прогоні.

Додаткове рівномірно розподілене навантаження q_2 на всьому прогоні (рис. 2). У цьому випадку диференціальне рівняння (8) буде мати вид

$$\frac{dF}{dH} = \frac{F}{H} - \frac{EF^2}{H^2} - \frac{(q_1 + q_2)M_y^{\phi} m^2}{(Hm - EIM_y^{\phi})^2} dx$$

$$= \frac{E^2 F^2 I}{H^2} - \frac{(M_y^{\phi})^4 m}{(Hm - EIM_y^{\phi})^3} dx = 0. \quad (9)$$

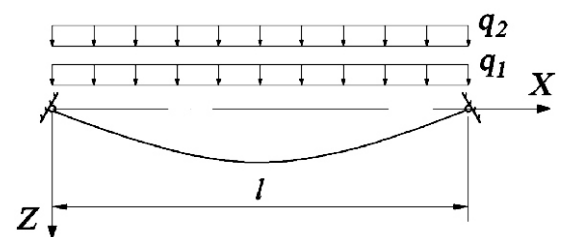


Рис. 2. Завантаження нитки додатковим рівномірно розподіленим навантаженням на всьому прогоні

Так як кінці нитки закріплені шарнірно, то M_y^{ϕ} і z^{ϕ} представимо наступним чином:

$$M_y^{\phi} = \frac{(q_1 + q_2)lx}{2} - \frac{(q_1 + q_2)x^2}{2}; \quad (10)$$

$$z^{\phi} = \frac{(q_1 + q_2)x}{24EI} (x^3 - 2lx^2 + l^3).$$

Підставляючи значення M_y^6 і z^6 із (10) у рівняння (9) та інтегруючи отриманий вираз, після деяких перетворень отримуємо

$$\frac{dF}{dH} = \frac{F}{H} - \frac{25(q_1 - q_2)^2 l^6 E F^2}{12H^2 (5l^2 H - 48EI)^2} - \frac{120(q_1 - q_2)^2 l^6 E^2 F^2 I}{H^2 (5l^2 H - 48EI)^3} = 0. \quad (11)$$

Якщо в останньому рівнянні припустити, що $I = 0$, то прийдемо до рішення, яке вперше було отримане Р.М. Мацелінським [5, 6] для гнучкої пружної нитки,

$$\frac{d}{dH} \left[\frac{(q_1 - q_2)^2 l^2}{12H^4} \right] = 0,$$

де E – жорсткість нитки на розтяг.

З наведеного випливає, що задача розрахунку гнучких пружних ниток являє собою частковий варіант теорії розрахунку ниток скінченної жорсткості.

Додаткове рівномірно розподілене навантаження q_2 на половині прогону (рис. 3). Залежність (8) матиме вид

$$\frac{dF}{dH} = \frac{F}{H} - \frac{EF^2}{12H^2} \int_0^{l/2} \frac{(q_1 - q_2) M_y^6 m^2}{(Hm - EIM_y^6)^2} dx - \int_{l/2}^l \frac{q_1 M_y^6 m^2}{(Hm - EIM_y^6)^2} dx - \frac{E^2 F^2 I}{12H^2} \int_0^{l/2} \frac{(M_y^6)^4 m}{(Hm - EIM_y^6)^3} dx - \int_{l/2}^l \frac{(M_y^6)^4 m}{(Hm - EIM_y^6)^3} dx = 0. \quad (12)$$

У цьому випадку вирази для M_y^6 і z^6 можна записати так:

$$M_y^6 = \frac{(q_1 - q_2)x}{2}(l - x), \quad z^6 = \frac{(q_1 - q_2)x}{24EI}(x^3 - 2lx^2 + l^3), \quad (0 \leq x \leq l/2);$$

$$M_y^6 = \frac{q_1 x}{2}(l - x), \quad z^6 = \frac{q_1 x}{24EI}(x^3 - 2lx^2 + l^3), \quad (l/2 \leq x \leq l). \quad (13)$$

Підставляючи вирази із (13) у (12) і виконуючи інтегрування, приходимо до рівняння

$$\frac{dF}{dH} = \frac{F}{H} - \frac{[q_1^2 - (q_1 - q_2)^2] l^6 E F^2}{32H^2} [361(19Hl^2 - 192EI)^2 - \frac{25}{3}(5Hl^2 - 48EI)^2] - \frac{[q_1^2 - (q_1 - q_2)^2] l^6 E^2 F^2 I}{H^2} [2052(19Hl^2 - 192EI)^3 - 15(5Hl^2 - 48EI)^3] = 0. \quad (14)$$

Додаткове зосереджене навантаження P у середині прогону (рис. 4). Диференціальне рівняння (8) у цьому випадку можна представити таким чином:

$$\frac{dF}{dH} = \frac{F}{H} - \frac{EF^2}{12H^2} \frac{PM_p^6 (z_p^6)^2}{(Hz_p^6 - M_p^6)^2} - \int_0^{l/2} \frac{q_1 M_y^6 m^2}{(Hm - EIM_y^6)^2} dx - \int_{l/2}^l \frac{q_1 M_y^6 m^2}{(Hm - EIM_y^6)^2} dx - \frac{E^2 F^2 I}{12H^2} \int_0^{l/2} \frac{(M_y^6)^4 m}{(Hm - EIM_y^6)^3} dx - \int_{l/2}^l \frac{(M_y^6)^4 m}{(Hm - EIM_y^6)^3} dx = 0. \quad (15)$$

Тут балкові згинальні моменти M_y^6 , M_p^6 і прогини z^6 , z_p^6 матимуть вид

$$M_y^6 = \frac{Px}{2} - \frac{q_1 x}{2}(l - x),$$

$$z^6 = \frac{Px}{12EI} - \frac{3}{4} l^2 x^2 - \frac{q_1 x}{24EI}(x^3 - 2lx^2 + l^3),$$

$$M_p^6 = \frac{Px}{2} - P x - \frac{l}{2} - \frac{q_1 x}{2}(l - x),$$

$$(0 \leq x \leq l/2) \quad (16)$$

$$z^6 = \frac{Px}{12EI} - \frac{3}{4} l^2 x^2 - \frac{P}{6EI} x - \frac{l^3}{2} - \frac{q_1 x}{24EI}(x^3 - 2lx^2 + l^3),$$

$$M_p^6 = \frac{q_1 l^2}{8} - \frac{Pl}{4},$$

$$z_p^6 = \frac{5}{384} - \frac{q_1 l^4}{EI} - \frac{Pl^3}{48EI}.$$

$$(l/2 \leq x \leq l)$$

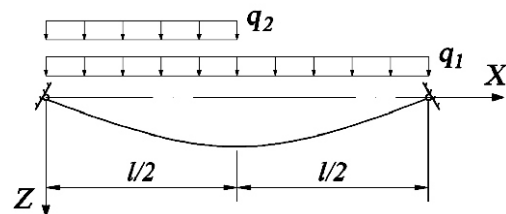


Рис. 3. Завантаження нитки додатковим рівномірно розподіленим навантаженням на половині прогону

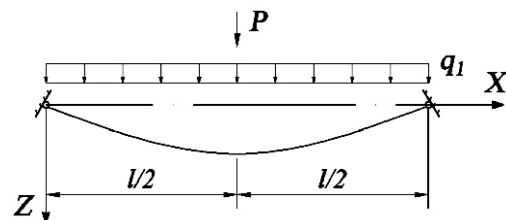


Рис. 4. Завантаження нитки додатковим зосередженим навантаженням у середині прогону

Після підстановки виразів (16) у рівняння (17) і подальшого інтегрування отримуємо

$$\frac{dF}{dH} \frac{F}{H} \frac{k_1 k_2 l^4 E F^2}{48 H^2 (k_2 H l^2 + 48 k_1 E I)^2} k_6 \frac{144 k_1^2 k_3 E I}{k_2 H l^2 + 48 k_1 E I} - \frac{k_4 k_5 l^4 E F^2}{48 H^2 (k_5 H l^2 + 192 k_4 E I)^2} k_5 q_1 l \frac{576 k_3 k_4^3 E I}{k_5 H l^2 + 192 k_4 E I} = 0, \quad (17)$$

де $k_1 = q_1 l + 2P$; $k_2 = 5q_1 l + 8P$; $k_3 = 1 + q_1$; $k_4 = 3q_1 l + 4P$;
 $k_5 = 57q_1 l + 88P$; $k_6 = q_1 l + 6P$.

Додаткове зосереджене навантаження P у чверті прогону (рис. 5). Рівняння (8) для визначення розпору можна представити у наступному виді:

$$\frac{dF}{dH} \frac{F}{H} \frac{E F^2}{l H^2} \frac{P M_p^6 (z_p^6)^2}{(H z_p^6 M_p^6)^2} \int_0^{l/4} \frac{q_1 M_y^6 m^2}{(H m E I M_y^6)^2} dx - \int_{l/4}^1 \frac{q_1 M_y^6 m^2}{(H m E I M_y^6)^2} dx - \frac{E^2 F^2 I}{l H^2} \int_0^{l/4} \frac{(M_y^6)^4 m}{(H m E I M_y^6)^3} dx - \int_{l/4}^1 \frac{(M_y^6)^4 m}{(H m E I M_y^6)^3} dx = 0. \quad (18)$$

Вирази для M_y^6 , M_p^6 , z^6 і z_p^6 запишуться так:

$$M_y^6 = \frac{3}{4} P x - \frac{q_1 x}{2} (l - x), \quad z^6 = \frac{P x}{8 E I} - \frac{7}{16} l^2 x^2 - \frac{q_1 x}{24 E I} (x^3 - 2 l x^2 + l^3),$$

$$M_y^6 = \frac{3}{4} P x - P x + \frac{l}{4} - \frac{q_1 x}{2} (l - x), \quad (0 \leq x \leq l/4);$$

$$z^6 = \frac{P x}{8 E I} - \frac{7}{16} l^2 x^2 - \frac{P}{6 E I} x + \frac{l}{4} - \frac{q_1 x}{24 E I} (x^3 - 2 l x^2 + l^3),$$

$$M_p^6 = \frac{3}{32} q_1 l^2 - \frac{3}{16} P l, \quad z_p^6 = \frac{19}{2048} \frac{q_1 l^4}{E I} - \frac{3}{256} \frac{P l^3}{E I},$$

($l/4 \leq x \leq l$).

Підставляючи вирази із (19) у (18) і виконуючи інтегрування, отримаємо рівняння

$$\frac{dF}{dH} \frac{F}{H} \frac{k_1 k_7 l^4 E F^2}{64 H^2 (k_7 H l^2 + 192 k_1 E I)^2} k_6 k_7 \frac{564 k_1^3 E I}{k_7 H l^2 + 192 k_1 E I} - \frac{k_8 k_9 l^4 E F^2}{768 H^2 (k_9 H l^2 + 768 k_8 E I)^2} k_9 q_1 l \frac{4068 k_8^3 E I}{k_9 H l^2 + 768 k_8 E I} - \frac{3 k_{10} k_{11} l^4 E F^2}{256 H^2 (k_{11} H l^2 + 768 k_{10} E I)^2} k_{11} q_1 l \frac{13824 k_{10}^3 E I}{k_{11} H l^2 + 768 k_{10} E I} - \frac{441 k_{12}^4 k_{13} l^4 E^2 F^2 I}{2 H^2 (k_{13} H l^2 + 768 k_{12} E I)^2} = 0, \quad (20)$$

де $k_7 = 19q_1 l + 24P$; $k_8 = 7q_1 l + 12P$; $k_9 = 497q_1 l + 648P$;
 $k_{10} = 5q_1 l + 4P$; $k_{11} = 395q_1 l + 408P$; $k_{12} = q_1 l + 4P$;
 $k_{13} = 71q_1 l + 88P$.

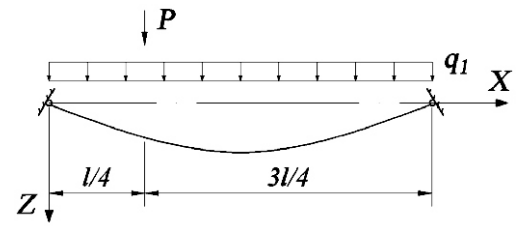


Рис. 5. Завантаження нитки додатковим зосередженим навантаженням у чверті прогону

При отриманні вищенаведених розв'язків були вжиті як загальноприйняті припущення (пологість нитки, пружна робота матеріалу, обмеження відношення напружень згину до напружень розтягу, гіпотеза плоских перерізів, одноосний напружений стан поздовжніх волокон нитки), так і ті, що відображають характерні особливості роботи ниток скінченної жорсткості, а саме – пропорційна залежність між прогинами і згинальними моментами у нитці скінченної жорсткості та аналогічній їй по всім параметрам балці. Так як величина похибки, яка вноситься у кінцевий результат внаслідок застосування загальноприйнятих припущень, достатньо повно вивчена багатьма авторами [1, 2, 4, 7–10], виконаємо оцінку похибки тільки останнього припущення шляхом порівняння результатів, отриманих пропонуваним і точним способом для різних випадків завантаження нитки скінченної жорсткості.

У монографії [9] для різних навантажень наведені співвідношення, які характеризують відмінність параметрів напружено-деформованого стану стержня, що одночасно працює на розтяг і згин, від аналогічних параметрів балки без осьової сили. Для середини прогону ($x = l/2$) ці співвідношення мають вид:

- при рівномірно розподіленому навантаженні, прикладеному на всьому прогоні,

$$1 - \frac{y}{y^6} \frac{1}{5} \frac{1}{24} \frac{u^2}{u^4} = \frac{1}{24} \frac{u^2}{u^4};$$

- при зосередженому навантаженні, прикладеному у середині прогону,

$$^2 \frac{y}{y^6} \frac{u}{\frac{1}{3}u^3};$$

- при рівномірно розподіленому навантаженні, прикладеному на половині прогону,

$$^3 \frac{y}{y^6} \frac{1}{\frac{5}{24}u^4};$$

- при зосередженому навантаженні, прикладеному на чверті прогону,

$$^4 \frac{y}{y^6} \frac{24}{11u^2} \frac{1}{2} \frac{e^{\frac{u}{2}} e^{\frac{3u}{2}}}{u(e^{2u} - 1)},$$

де $u = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{H}{EI}}$.

Відповідно до запропонованого підходу ці ж залежності можна представити наступним чином:

- при рівномірно розподіленому навантаженні, прикладеному на всьому прогоні,

$$\frac{y}{y^6} \frac{1}{1 \frac{5}{12}u^2};$$

- при зосередженому навантаженні, прикладеному у середині прогону,

$$^2 \frac{y}{y^6} \frac{1}{1 \frac{1}{3}u^2};$$

- при рівномірно розподіленому навантаженні, прикладеному на половині прогону,

$$^3 \frac{y}{y^6} \frac{1}{1 \frac{5}{12}u^2};$$

- при зосередженому навантаженні, прикладеному на чверті прогону,

$$^4 \frac{y}{y^6} \frac{1}{1 \frac{11}{24}u^2}.$$

За допомогою вказаних формул для ряду значень u отримана похибка визначення параметрів напружено-деформованого стану нитки, графіки якої наведено на рис. 6. Як впливає з цього рисунка, величина похибки зі збільшенням параметра u асимптотично прямує до нуля. При цьому максимальна похибка спостеріга-

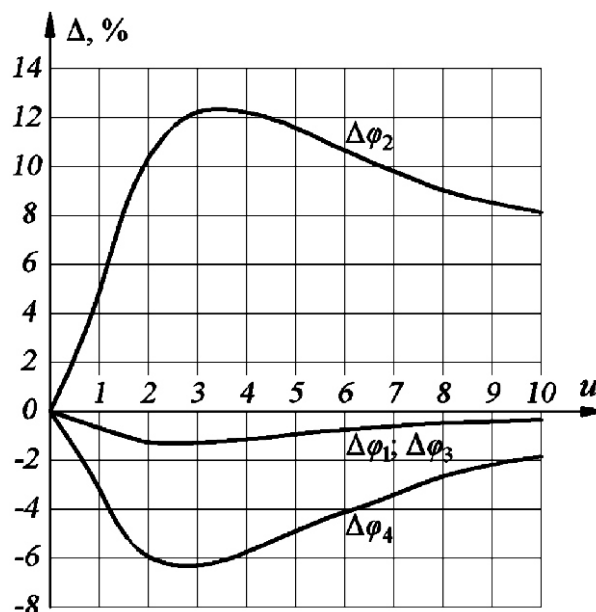


Рис. 6. Залежність між величиною похибки припущення «пропорційності» і параметром u для середини прогону нитки ($x = l/2$) при різних видах навантаження:

- 1 – розподілене по всьому прогоні;
- 2 – зосереджене у середині прогону;
- 3 – розподілене на половині прогону;
- 4 – зосереджене у чверті прогону

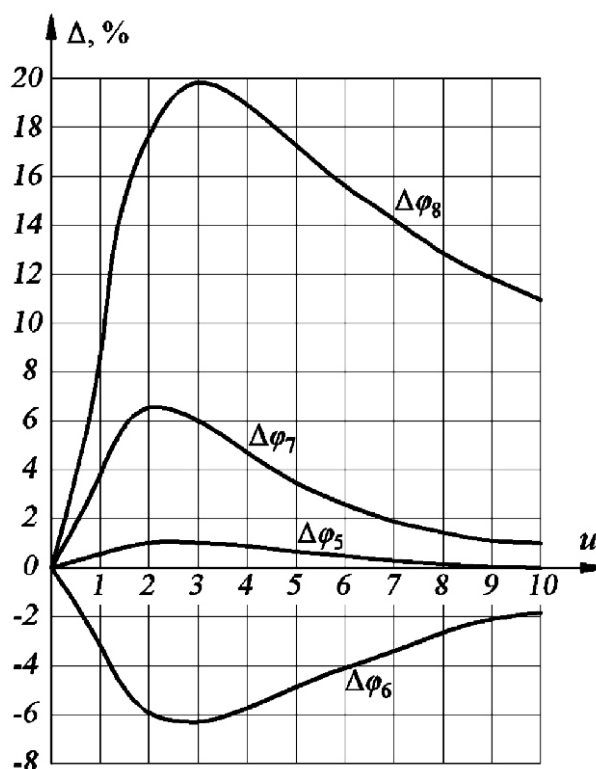


Рис. 7. Залежність між величиною похибки припущення «пропорційності» і параметром u для чверті прогону нитки ($x = l/4$) при різних видах навантаження:

- 5 – розподілене по всьому прогоні;
- 6 – зосереджене у середині прогону;
- 7 – розподілене на половині прогону;
- 8 – зосереджене у чверті прогону

ється, як це і очікувалось, при дії зосередженого навантаження у середині прогону нитки й складає 12,22 % у бік перебільшення. При цьому відрізок, на якому величина похибки перевищує 10 %, являє собою достатньо вузький інтервал зміни параметра u – від 2 до 6,5. У випадку зосередженого навантаження у чверті прогону максимальна величина похибки складає 6,29 % у бік зменшення, а сама похибка, значення якої перевищує 4 %, присутня на незначному інтервалі зміни параметра u – від 1,2 до 6. При дії ж рівномірно розподіленого навантаження на всьому або половині прогону найбільш можлива похибка дорівнює тільки 1,29 % у бік зменшення результатів.

На рис. 7 наведені графіки похибки визначення параметрів напружено-деформованого стану нитки для чверті прогону ($x = l/4$). При цьому, як і у попередньому випадку, величина похибки зі збільшенням параметра u також асимптотично прямує до нуля. Але, на відміну від попереднього випадку, найбільша похибка спостерігається при завантаженні нитки зосередженим навантаженням у чверті прогону і досягає 19,82 % у бік перебільшення. Зі зростанням параметра u похибка зменшується до 10,95 % при $u = 10$. При інших видах завантажень значення похибки ще менші. Зокрема, при

завантаженні нитки зосередженим навантаженням у середині прогону похибка досягає максимального значення 6,29 % у бік зменшення. Але при параметрі $u > 6$, що відповідає реальним висячим системам [2, 3, 7, 12], похибка стає меншою 4 %. У випадках завантаження нитки рівномірно розподіленими навантаженнями на всьому або половині прогону максимальні значення похибки складають 1,02 і 6,54 % відповідно у бік перебільшення результатів.

У зв'язку з тим, що в практичних задачах із розрахунку висячих конструкцій схема завантаження нитки завжди поєднує різнотипні навантаження (як правило, три–п'ять розподілених і декілька не дуже значних зосереджених), то реальна величина похибки внаслідок їх взаємодії завжди буде набагато меншою за максимальну. Крім цього, у реальних висячих системах параметр u у більшості випадків змінюється у межах 6 і 14 [2, 3, 7, 12], при яких навіть максимальна похибка при визначенні параметрів напружено-деформованого стану нитки скінченної жорсткості буде складати дуже незначну величину. Останнє свідчить не тільки про високий ступінь точності вихідних передумов розрахунку, а й про точність отриманого рішення в цілому.

-
- [1] Власов В.З. Избранные труды. – М.: АН СССР, 1962. – Т. 1. – 528 с.; т. 2. – 507 с.; т. 3. – 472 с.
 - [2] Качурин В.К. Теория висячих систем. – М. – Л.: Госстройиздат, 1962. – 224 с.
 - [3] Качурин В.К., Брагин А.В., Ерунов Б.Г. Проектирование висячих и вантовых мостов. – М.: Транспорт, 1971. – 280 с.
 - [4] Косенко И.С. Висячие конструкции покрытий. – М.: Стройиздат, 1966. – 87 с.
 - [5] Мацелинский Р.Н. Расчет гибких нитей на произвольную вертикальную нагрузку // Висячие покрытия: Сб. науч. тр. НИИЖБ. – М.: Госстройиздат, 1962. – С. 52–60.
 - [6] Мацелинский Р.Н. Статический расчет упругих нитей // Строительная механика и расчет сооружений. – 1959. – № 4. – С. 3–9.
 - [7] Москалев Н.С. Конструкции висячих покрытий. – М.: Стройиздат, 1980. – 331 с.
 - [8] Ржаницин А.Р. Статика и динамика пологой упругой нити // Висячие покрытия: Сб. науч. тр. НИИЖБ. – М.: Госстройиздат, 1962. – С. 60–76.
 - [9] Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1965. – Т. 1. – 363.; т. 2. – 480 с.
 - [10] Филлин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Сопротивление материалов с элементами теории сплошных сред и строительной механики. – М.: Наука, 1975. – Т. 1. – 832 с.; 1978. – Т. 2. – 616 с.; 1981. – Т. 3. – 480 с.
 - [11] Шимановский А.В., Оглобля А.И. Теория и расчет несущих элементов большепролетных пространственных конструкций. К.: Издательство «Сталь», 2002. – 372 с.
 - [12] Шимановский В.Н., Смирнов Ю.В., Харченко Р.Б. Расчет висячих конструкций (нитей конечной жесткости). – К.: Будівельник, 1973. – 198 с.

Надійшла 12.03.2009 р. 

УДК 621.548

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ И ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Рассмотрены перспективы развития ветроэнергетики в мире и в Украине, отмечены динамические эффекты, возникающие в конструкциях ВЭУ в процессе их эксплуатации. Поставлена задача об исследовании прочности конструкции с учетом отмеченных эффектов, проанализированы различные схемы ВЭУ и предложена методика их расчета с учетом гироскопических нагрузок на лопасти и опорную конструкцию.

The prospects of the wind power development in the world and the Ukraine are considered, the dynamic effects generated in the wind power station structures in their functioning are noted. The problem about investigation of the structure strength with allowance for the noted effects is stated, different structural schemes of the wind power stations are analyzed, the techniques for their calculations with account for the gyroscopic loads on the blade and the whole structure are proposed.

Ключевые слова: конечные элементы, сложное вращение, аэродинамическая нагрузка, гироскопический момент

Перспективы развития ветроэнергетики. Согласно прогнозу развития ветроэнергетики в мире до 2020 г., представленном в документе «Wind Force 12», разработанном совместно Гринписом, INFORSE и Европейской ассоциацией ветроэнергетики, доля её в мировом производстве электроэнергии должна достигнуть 12 %. Проведенные исследования показали, что для достижения этой цели не существует никаких технических, экономических и ресурсных ограничений. К 2020 г. есть реальная возможность достигнуть мирового показателя установленной мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ) в 1260000 МВт. Согласно «Wind Force 12» к 2010 г. мировая ветроэнергетическая промышленность может выйти на уровень 230000 МВт установленной мощности, а европейская – 100000 МВт, стоимость мирового ветроэнергетического рынка будет составлять 133 млрд. евро, а сумма инвестиций достигнет 20 млрд. евро.

Украина характеризуется достаточно высокими энергетическими потенциалами ветрового потока в Карпатах, Крыму, Причерноморье и Приазовье, где среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м составляют 5 и более метров в секунду, что ставит ветровую энергию на первое место среди возобновляемых источников для производства электрической энергии. Ветроэнергетика Украины имеет опыт производства, проектирования, строительства, эксплуатации и обслуживания как ВЭУ, так и ветроэнергетических станций (ВЭС), также в стране имеется достаточно высокий научно-технический потенциал и развитая производственная база. В последнее время развитию ветроэнергетического сектора оказывает содействие государство, которое обеспечивает реализацию инициатив по усовершен-



В.В. Гайдайчук
заведующий кафедрой теоретической механики Киевского национального университета строительства и архитектуры,
д.т.н., профессор



В.П. Носенко
аспирант кафедры теоретической механики Киевского национального университета строительства и архитектуры

ствованию законодательства, структуры управления, созданию приемлемых условий для внутренних и внешних инвесторов.

Реализация государственных национальных программ в области ветроэнергетики на 2010 г. предусматривает общее годовое производство электроэнергии на ВЭС и автономных ВЭУ около 5,71 млн. Мвт/ч, что позволит обеспечить около 2,5 % от общего годового электропотребления в Украине. Поэтому проблема создания эффективных и надежных ВЭУ является актуальной. В то же время следует отметить, что в процессе эксплуатации конструкции ВЭУ подвергаются воздействию различного рода динамических нагрузок, основными из которых являются ветровые нагрузки и силы инерции вращательного движения лопастей. Их влияние на колебания конструкции анализируется в [1–5]. Однако особые динамические эффекты в лопастях (и башне ВЭУ) возникают при сложном вращении ротора, когда его ось под действием ветрового потока разворачивается [6, 7].

В данной работе ставится задача исследования прочности конструкций ВЭУ с учетом этих эффектов.

Конструктивные схемы ВЭУ. Известно, что количество энергии, произведенной за счет ветра, зависит от плотности воздуха, площади, охваченной лопастями ветротурбины, и скорости ветра. Зимой, из-за того, что воздух более плотный, ВЭУ вырабатывает больше энергии, чем летом при одинаковой скорости ветра. На территории, расположенной высоко над уровнем моря, например, в горах, атмосферное давление меньше и соответственно меньше плотность воздуха, но это вполне компенсируется повышенной скоростью ветра. Высота мачты также может значительно повлиять на производительность ВЭУ.

ВЭУ представляют собой достаточно сложные конструкции. Многие из ранее разработанных образцов оказались ненадежными, поэтому в настоящее время главная роль отводится теоретическому моделированию их прочности. Ветрогенератор состоит из множества механизмов, надежность каждого из которых зависит от профессионализма его разработчиков и производителей. ВЭУ мощностью от 5 до 50000 кВт и выше включают следующие основные подсистемы и узлы:

- ротор или лопасти, преобразующие энергию ветра в энергию вращения вала;
- кабину или гондолу, в которой обычно расположен редуктор (некоторые турбины работают без редуктора), генератор и другие системы;
- башню, поддерживающую ротор и кабину, электрическое и электронное оборудование, электрические кабели, оборудование заземления и для подключения к сети, систему молниезащиты и др.

Диаметр ротора ВЭУ по мере возрастания ее мощности от 1 до 3000 кВт увеличивается от 2 до 100 м, а высота башни – от 8 до 100 м. Для ВЭУ мощностью выше 150 кВт диаметр ротора и высота башни примерно одинаковы.

Ветрогенератор преобразует кинетическую энергию ветра в электрическую с помощью генератора в процессе вращения ротора, представляющего собой соединенные вместе лопасти. Они используются подобно пропеллеру самолета для вращения вала, подсоединенного к

электрическому генератору. По своей конструкции генератор ВЭУ напоминает генераторы, используемые в тепловых электростанциях. Изобретено огромное количество машин для производства энергии за счет ветра, и многие из них представляют собой весьма необычные конструкции. Тем не менее, существуют два основных типа ВЭУ: с горизонтальной (рис. 1, а) и вертикальной (рис. 1, б) осью вращения.

ВЭУ с горизонтальной осью вращения, имеющие две или три лопасти, установленные на вершине башни, являются наиболее распространенным типом ветрогенераторов. Расположение ведущего вала ротора – части турбины, соединяющей лопасти с генератором, – считается осью машины. У турбин с горизонтальной осью вращения ведущий вал ротора расположен горизонтально.

В рабочем состоянии относительно направления воздушного потока ротор турбины может находиться перед опорой (наветренный ротор) или за ней (подветренный ротор). Чаще всего турбины с горизонтальной осью вращения имеют две или три лопасти, хотя есть и модели с большим числом лопастей. В турбинах с малым количеством лопастей площадь ротора не является сплошной. Для наиболее эффективной работы ветрогенератора лопасти должны максимально взаимодействовать с ветровым потоком, проходящим через площадь вращения ротора. ВЭУ с большим количеством лопастей обычно работают при низких скоростях вращения, в то время как установки с двумя или тремя лопастями должны вращаться с очень высокой скоростью, чтобы максимально охватить ветровые потоки, проходящие через площадь ротора. Теоретически чем больше лопастей у ротора, тем эффективней должна быть его работа. Однако это не так. ВЭУ с большим количеством лопастей менее эффективны, чем турбины с двумя или тремя лопастями, так как лопасти создают помехи друг другу.

У турбин с вертикальной осью вращения (Н-образные) ведущий вал ротора расположен вертикально. Лопасти такой турбины – длинные, обычно дугообразные – прикреплены к верхней и нижней частям башни. Благодаря вертикальному расположению ведущего вала ротора Н-образные турбины, в отличие от турбин с горизонтальной осью вращения, «захва-

тывают» ветер, дующий в любом направлении, при этом им не нужно менять положение ротора при изменении направления ветровых потоков. Автором идеи создания турбины с вертикальной осью вращения является французский инженер Дарриус (Darrieus).

В результате проведенных исследований в Дании были выявлены подходящие площадки в промышленных районах и на мелководье для монтажа около 200 мегаваттных установок, что соответствует 200–300 МВт установленной мощности (рис. 2). Количество энергии, выработанной такими машинами, оказалось существенным.

Успех первых ВЭУ, установленных на мелководье, вызвал огромный интерес к использованию ветрового потенциала прибрежных зон, особенно после того, как количество подходящих для ветроэнергетики площадок на суше уменьшилось из-за повсеместной установки «сухопутных» ВЭУ. В море ветер дует сильнее, а большинство стран Северной Европы обладают большими территориями мелководья, расположенными недалеко от береговой линии. Оба эти фактора имеют огромное значение для дальнейшего крупномасштабного развития

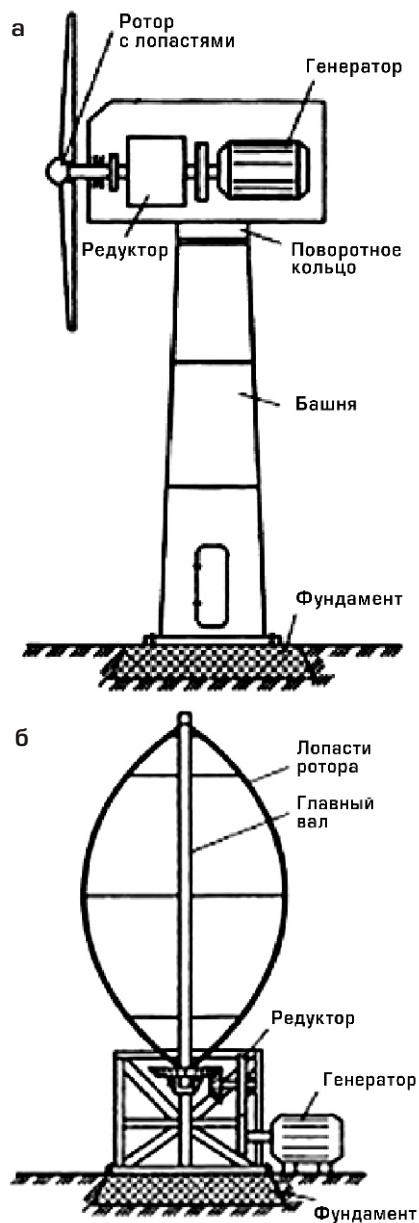


Рис. 1. Принципиальные схемы ВЭУ с горизонтальной (а) и вертикальной (б) осью вращения

ветроэнергетики. Во-первых, увеличение средней скорости ветра на 10 % может привести к возможному приросту выработанной энергии на 30 %. Во-вторых, использование континентального шельфа глубиной до 30 м и расстоянием от берега до 30 км предполагает значительные экономические преимущества. В условиях будущего технологического прогресса, например, плавучие ВЭС или высоковольтные линии передачи постоянного тока смогут помочь в освоении глубоководных территорий Средиземноморья и других пригодных для ветроэнергетики участков, расположенных за пределами Европы и на отдаленных морских территориях.

Методика расчета ВЭУ.

Поскольку в процессе эксплуатации движения отдельных подконструкций ВЭУ оказываются связанными, при моделировании динамики установки она должна рассматриваться как единая система. В связи с этим ее расчет производится методом конечных элементов в два этапа. На первом этапе принимается, что ротор совершает простое стационарное вращение с угловой скоростью и его ось неподвижна. Далее решается линейная задача определения предвременно напряженного состоя-



Рис. 2. Общий вид ВЭС, расположенной на мелководье прибрежной зоны

ния лопастей ротора, для чего строится система уравнений

$$[K]\{u\} = \{f\},$$

где $[K]$ – матрица жесткости системы, генерируемая автоматически программным комплексом на основе исходных данных о геометрии и механических свойствах системы; $\{u\}$ – искомый вектор перемещений; $\{f\}$ – вектор коэффициентов центробежных сил инерции, приложенных к элементам лопастей.

На втором этапе исследуется стационарная динамика конструкции, обусловленная действием сил аэродинамики и сил инерции сложного вращения ротора. Для этого используются уравнения

$$[M]\{\ddot{u}\} + [G]\{\dot{u}\} = \{f\},$$

построенные путем линеаризации нелинейных уравнений движения, сформулированных с учетом предварительно напряженного состояния конструкции от определенных на первом этапе внутренних сил простого вращения.

Для реализации такого двухэтапного алгоритма необходимо вычислить внешние силы ветрового потока и силы инерции сложного вращения ротора.

Аэродинамические нагрузки на элементы конструкции ВЭУ. По теории крыла нагрузка dP на элементарную площадку лопасти шириной b и длиной dr согласно [3] равна:

$$dP = C_y b dr \frac{W^2}{2},$$

где C_y – коэффициент подъемной силы крыла (лопасти); ρ – массовая плотность воздуха; W – относительная скорость воздушного потока, набегающего на элемент лопасти; r – расстояние элемента лопасти от оси вращения ветроколеса.

Относительную скорость воздушного потока можно определить по формуле

$$W = \sqrt{r^2 \omega^2 + V^2},$$

где ω – окружная скорость элемента лопасти; V – скорость ветра.

Следовательно $dP = C_y b dr \frac{1}{2} (r^2 \omega^2 + V^2)$.

Принимая $C_y b$ постоянными по длине крыла и интегрируя последнее выражение, получим полную нагрузку на крыло в виде

$$P = C_y b \frac{\rho}{2} \int_{r_0}^R (r^2 \omega^2 + V^2) dr$$

$$C_y b \frac{\rho}{2} \frac{1}{3} (R^3 - r_0^3) + V^2 (R - r_0)$$

или

$$P = C_y b \frac{\rho}{2} (R - r_0) \left[\frac{R^2 + Rr_0 + r_0^2}{3} + V^2 \right]. \quad (1)$$

Вводя обозначения $b(R - r_0) = S$ – площадь лопасти (крыла); $\frac{R^2 + Rr_0 + r_0^2}{3} = r_m^2$ – условный радиус крыла и подставляя их в уравнение (1), получим полную нагрузку на крыло:

$$P = C_y S \frac{\rho}{2} (r_m^2 \omega^2 + V^2).$$

В моменты порывов ветра с большими скоростями, к которым ветроколесо не сразу может приспособиться, крылья могут быть перегружены. Отношение возможной максимальной нагрузки крыла P_{max} , возникающей при порывах ветра, к рабочей нагрузке при расчетной скорости ветра P_p называется коэффициентом перегрузки $n = P_{max}/P_p$.

Обозначим скорость ветра при порыве через V_n и получим уравнения нагрузки на крыло при V и V_n :

$$P = C_y S \frac{\rho}{2} (r_m^2 \omega^2 + V^2);$$

$$P = C_{yn} S \frac{\rho}{2} (r_m^2 \omega^2 + V_n^2),$$

где C_{yn} – коэффициент подъемной силы при порыве ветра.

Во время поворота головки вокруг оси башни $z - z$ на крыльях вращающегося ветрового колеса возникают, помимо аэродинамических, центробежные и гироскопические силы. Взяв точку A с массой m на лопасти, получим выражения этих сил:

$Q = m r^2 \omega$ – центробежная сила, возникающая вследствие вращения ветроколеса вокруг своей оси;

$Q = m l_1 \omega^2$ – центробежная сила, возникающая при повороте головки вокруг оси $z - z$.

Силу от поворотного ускорения Кориолиса можно представить в виде $P = 2m \omega l_1 \dot{\omega}$, где l_1 – расстояние точки A от оси $z - z$.

Сила Q_1 направлена от оси $z - z$ параллельно l ; $U = r$ – относительная скорость, в данном случае равная окружной скорости вращения точки A вокруг оси $X-X$. Направление силы P перпендикулярно относительной скорости U и оси вращения всей системы $z - z$. Угол α_1 составлен скоростью U и осью $z - z$. Эти силы вызывают относительно осей OX , OY и OZ моменты M_x , M_y и M_z . Полный момент возле втулки равен [3]:

$$M_z = 2I_1 \sin \alpha_1,$$

где I – момент инерции крыла относительно оси OX .

Максимальный расчетный момент, когда лопасть стоит вертикально, определяется так:

$$M_z = 2I_1.$$

Вал изгибается гироскопическим моментом всего ветроколеса. Он получается суммированием моментов от всех лопастей (трех и больше):

$$M_y = I_0 \omega_1,$$

где I_0 – момент инерции всего ветрового колеса относительно оси OX .

Для двухлопастного ветряка $M_y = 2I_0 \omega_1$, причем угловую скорость находим с помощью равенства $\omega = n/30$, где n – число оборотов ветряного колеса в минуту.

Гироскопические нагрузки на лопасть и башню. Как показано в [6–9], одним из наиболее опасных видов нагрузки, действующей на лопасть, является гироскопическая сила инерции, вызванная ее сложным вращением. Такой вид нагружения реализуется в случае, когда под действием изменяющего свое направление ветрового потока ось вращающегося ротора поворачивается, а лопасть начинает вращаться относительно двух осей одновременно. Тогда на элемент лопасти длиной dr действует периодическая сила

$$dF = 2r \rho_0 \sin \alpha_1 dr,$$

где ρ_0 – погонная плотность лопасти; r – расстояние от оси вращения ротора до рассматриваемого элемента.

Поскольку эта сила действует с частотой ω , то при ее близости к частоте собственных колебаний лопасти возникают резонансные эффекты. Вызванные ими колебания через втулку лопасти передаются на башню, поэтому они могут приводить к разрушению не только лопастей, но и всей конструкции в целом.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 0109U002146, которая финансируется Министерством образования и науки Украины.

- [1] Гуляев В.И., Гайдайчук В.В., Кошкин В.Л. Упругое деформирование, устойчивость и колебания гибких криволинейных стержней. – Киев: Наукова думка, 1992. – 344 с.
- [2] Андрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Вашкевич К.П., Секторов В.Р. Ветроэлектрические станции. – Москва: ГЭИ, 1960. – 323 с.
- [3] Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки. – Москва: ОГИЗ, 1948. – 542 с.
- [4] Шефтер Я.И., Рождественский И.В. Ветронасосные и ветроэлектрические агрегаты. – Москва: КОЛОС, 1967. – 376 с.
- [5] Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. – Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 273 с.

- [6] Гуляев В.И., Соловьев И.Л., Худолий С.Н. Прецессионные колебания двухлопастного ротора с упругим несомым валом при сложном вращении // Проблемы прочности. – 2002. – № 2. – С. 73–81.
- [7] Гуляев В.И., Худолий С.Н. Колебания криволинейных закрученных лопастей при сложном вращении // Прикладная механика. – 2005. – Т. 41. – № 4. – С. 126–132.
- [8] Худолий С.М. Динаміка пружних лопастей при складному обертанні // Вісник НТУ. – 2003. – № 8. – С. 451–455.
- [9] Гайдайчук В.В., Худолий С.Н. Резонансные колебания упругих лопастей при сложном вращении // Вібрації в техніці та технологіях. – 2004. – № 6 (38). – С. 54–57.

Надійшла 27.11.2007 р.

НОВА СИСТЕМА ЛІЦЕНЗУВАННЯ У БУДІВНИЦТВІ

Нова система ліцензування будівельної діяльності, що набула чинності з 1 січня 2008 р., спрямована на збереження дійсно професійного характеру будівельних підприємств та організацій.

Стара система була фактично заочною: ліцензії видавались на основі наданих матеріалів без будь-якої процедури перевірки дійсної спроможності організації, що отримує ліцензію, здійснювати заявлені види робіт.

Реформування виявилось очікуваним і позитивно сприйняте як будівельним комплексом, так і суспільством. Згідно з новою системою ліцензування значно скорочено перелік необхідних матеріалів для отримання ліцензії, але з'явився новий документ. До заяви, свідоцтва про реєстрацію, переліку робіт, які заявник має намір виконувати, обов'язково додається **експертний висновок** уповноваженої Держархбудінспекцією експертної комісії. Цей документ, який є елементом саморегулювання у будівництві, зробив «революцію» у даній галузі.

У відповідності з «Порядком уповноваження установ та організацій на проведення експертизи суб'єктів будівельної діяльності щодо їх можливості (неможливості) виконувати роботи згідно з поданим переліком робіт», затвердженим наказом Мінрегіонбуду від 18.11.2008 № 516 і зареєстрованим у Мін'юсті 9.01.2009 за № 2/16018, претендувати на отримання повноважень щодо проведення експертизи можуть установи та організації незалежно від форми власності, які мають у своєму штаті або залучають на договірних засадах не менше п'яти експертів, забезпечені необхідним для роботи приміщенням, технічними засобами, нормативними документами тощо, але за умови, що така організація не здійснює будівельну діяльність, яка підлягає ліцензуванню, щоб не конкурувати з тими, кого експертують.

Експертом може бути фахівець, який має вищу освіту за напрямом своєї діяльності, а також не менше ніж п'ятирічний досвід роботи на керівних посадах (головний інженер, головний архітектор тощо). Якщо організація відповідає



А.Ф. Григор

перший заступник начальника
Державної архітектурно-будівельної
інспекції України

зазначеним вимогам, вона подає заявку до Держархбудінспекції, яка своїм наказом уповноважує її на проведення експертизи претендентів на отримання ліцензії. На території України на теперішній час таку діяльність здійснюють більше 60 організацій. Це, звичайно, позитивний момент, адже відбувається внутрішній самозахист будівельної галузі, експерти визначають кого можна допускати до здійснення будівельної діяльності, а кого ні. У експертному висновку вони викладають своє бачення організації-претендента відповідно до ліцензійних умов. Тобто має бути конкуренція з метою уникнення монопольної політики.

За наявності значної кількості експертних комісій організації, які хочуть отримати ліцензію, мають можливість вибрати експертну комісію. Для вирішення спірних питань та вироблення єдиної політики створена та діє Асоціація експертних організацій України.

Звичайно, серед існуючих експертних організацій є такі, що дуже вимогливо ставляться до претендентів, а є й інші. З останніми ми постійно працюємо шляхом проведення нарад, семінарів тощо. Новостворені експертні організації отримують повноваження лише на рік і повинні проходити процедуру переуповноваження.

Для кожної експертної організації визначається зона її діяльності, яка вказується у заявці. Вони можуть діяти як на території області свого розташування, так і в сусідніх областях згідно із визначеним для них переліком видів робіт. Є експертні організації, діяльність яких розповсюджується майже на всі види робіт на території всієї країни, але їх небагато. В основному вони обмежені будівельними роботами

середньої складності. Найбільш складні роботи експертуються спеціальними експертними організаціями, які мають великий досвід і фахівців-експертів високої кваліфікації.

Ліцензію видає державний орган, який повинен нести за неї відповідальність. Експерт відповідає за висновок, який він надав, але його відповідальність має науково-технічний характер, а ніяк не адміністративний. Тому після отримання експертного висновку організація звертається до органу ліцензування. За старою системою ліцензія була чинною тільки на території області чи регіону, де вона була отримана. На всій території України дійсною була ліцензія, видана лише центральним органом ліцензування. Зважаючи на те, що будівельна діяльність має екстериторіальний характер та на те, що чинні норми, правила та стандарти діють на всій території України, адміністрування в рамках одного регіону є абсолютно неприйнятним. І цей недолік у новій системі ліцензування будівельної галузі було усунуто.

Сьогодні ліцензії, як правило, видаються територіальними інспекціями за місцем реєстрації суб'єкта будівельної діяльності і діють на всій території України, а Держархбудінспекція здійснює організаційно-методичне та нормативне забезпечення та контроль.

Після отримання експертного висновку підприємство надає документи до нашого територіального органу і у встановлений нормативний термін отримує позитивну відповідь чи відмову у видачі ліцензії. Усі справи розглядаються ліцензійною комісією, що функціонує в кожному з територіальних органів і діє згідно з положенням про ліцензійну комісію. Ліцензійна комісія, до складу якої входять представники державних органів ліцензування, Будівельної палати, Академії будівництва, Національної спілки архітекторів, асоціацій будівельників та проектних організацій, самоврядних громадських професійних об'єднань, приймає рішення на засіданнях. У разі якщо заявитель не згоден із складеним експертним висновком, він запрошується на засідання ліцензійної комісії та надає аргументи на свою користь.

Після їх вивчення комісія приймає рішення. Наприклад, якщо фахівець із будівельною освітою «промислове та цивільне будівництво» тривалий час працює сантехніком, то формально експерт не може надати йому висновок щодо

виконання сантехнічних робіт, але за його пропозицією рішення після співбесіди із претендентом прийматиме комісія.

Ліцензійна комісія – це теж дорадчий орган, тому остаточне рішення все ж приймає орган ліцензування. Зокрема той, хто цю ліцензію підписує. Якими б не були експертний висновок та рішення ліцензійної комісії, за ліцензію несе відповідальність той, хто поставив свій підпис. Така багатоступінчаста процедура є абсолютно прозорою, об'єктивною, логічною і такою, що практично унеможлиблює прийняття невірного рішення.

Якщо у 2007 р. було видано майже 17 тис. ліцензій, то в минулому році близько 4 тисяч. Так спрацювала система. За перший квартал 2009 р. видано близько 900 ліцензій. Це звичайно небагато, але процес переоформлення ліцензій продовжується. Розрахунки показують, що їх кількість не може перевищувати 10 тис. ліцензій на рік. Для більшого у нас просто немає потенціалу будівельного комплексу. Забезпечити кадровими ресурсами і технікою допоможуть нові ліцензійні умови, які мають ряд моментів, що дозволять певною мірою реструктурувати будівельні комплекси. У нових умовах містяться вимоги, які зобов'язують керівних працівників підприємств та організацій працювати на перспективу. Адже ні виконроб у будівельній організації, ні ГПП у проектній не можуть ефективно працювати за сумісництвом. Згідно із новими ліцензійними умовами такі фахівці повинні працювати на постійній основі.

На відміну від попередньої системи персоналізація кадрового складу не є домінантою. Це не відповідає самому життю. Видавати ліцензію під конкретного спеціаліста недоцільно. Адже сьогодні він працює в одній організації, а завтра в іншій, при цьому організація не припиняє свою діяльність і знаходить іншого спеціаліста. Важливо, щоб в цій організації була відповідна посада в штатному розписі, яка б забезпечила той чи інший напрямок роботи. Якщо така посада є, організація може претендувати на отримання ліцензії. Наприклад, нормативними документами чітко визначено, хто підписує проектну документацію (головний інженер проекту, головний архітектор проекту, головний конструктор та ін.). Якщо в штатному розписі підприємства відсутні ці посади, то

воно просто не може випускати зазначену продукцію. Про яку ліцензію взагалі може йти мова за відсутності відповідних спеціалістів, які повинні поставити свій підпис. Тому при розгляді справи ми перш за все звертаємо увагу на відповідність організаційно-функціональної структури тим видам робіт, які планує виконувати підприємство.

Якщо структура відповідає зазначеним вимогам, то тимчасова відсутність фахівця не є аргументом для відмови у видачі ліцензії. Але всі вакансії, особливо для новостворених підприємств, мають бути відповідним чином заявлені в централізованій системі працевлаштування.

У теперішній час опрацьовуються різні варіанти мінімальної укомплектованості підприємств.

Перший – діюче підприємство звертається за продовженням або розширенням отриманої раніше ліцензії. На момент звернення таке підприємство має бути укомплектовано інженерно-технічним персоналом не менше ніж на 90 % (10 % на плинність кадрів).

Другий – підприємство утворюється в результаті реорганізації чи об'єднання раніше діючих структур. Фактично воно вважається новоствореним. Допускається видача ліцензії за умови підтвердження гарантій тих підприємств, на базі яких утворюється нове підприємство, але за умови, що не пізніше ніж через 6 місяців це підприємство надасть звіт про повну укомплектованість.

Третій – новостворене підприємство. Якщо воно укомплектовано на 50 %, видається ліцензія, але за умови, що не пізніше ніж через 3 місяці воно буде доукомплектовано на 90 %.

Четвертий – абсолютно «голе» підприємство. Не розглядати їх заяву на видачу ліцензій – значить перешкоджати розвитку підприємництва в Україні. Видавати тимчасову ліцензію? Невідомо під які гарантії. Як свідчить досвід, 40 % організацій повторно за ліцензіями не звертаються. Це майже кожна друга. Питання залишається поки що відкритим.

Ми розпочали ліцензування лише тих видів робіт, що вже здійснювались. Серед них такі роботи, як генпроекткування, яке раніше не ліцензувалося.

Ліцензії видаються тільки тим організаціям, які мають одночасно ліцензію на розроблення основних розділів проектування. Якщо це проектувальник житлових об'єктів, то він повинен мати ліцензію на архітектурно-будівельне проектування, конструювання, щоб виступати генпроектувальником.

Великі дискусії ведуться щодо генпідрядника. Дуже багато впливових і авторитетних фахівців вважають, що це чисто управлінська діяльність, яку непотрібно ліцензувати. Ми так не вважаємо. Відповідно до Господарського кодексу будівництво здійснюється на умовах договору з підрядником. А коли цей підрядник наймає для виконання робіт інших підрядників, тоді він стає генпідрядником і вся відповідальність лежить на ньому. У цього генпідрядника повинні бути не тільки бухгалтерія, фінансовий чи договірний відділи, а також виробничо-технічний, відділ, який приймає документацію, відділ, який розподіляє роботу між субпідрядниками, який несе повну відповідальність та веде нагляд за будівництвом.

Слід також зазначити, що відповідно до змін у законодавстві для отримання дозволу на виконання будівельних робіт з 14.04.2009 р. необхідно надати копію ліцензії на здійснення генпідрядної діяльності.

Новий порядок ліцензування дає можливість суттєво підвищити технічний рівень будівельних організацій, здійснити їх структуризацію, усунути з будівельного ринку фірми-одноденки.

Той факт, що у 2008 р. суб'єктам господарської діяльності у галузі будівництва було видано лише 3884 ліцензії (проти 16843 у 2007 р.), свідчить про ретельний відбір професійних фахівців будівельного ринку. Це є одним із завдань впровадження нової системи ліцензування.

Надійшла 16.04.2009 р.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СПОРУД ШЛАМОСХОВИЩА МИКОЛАЇВСЬКОГО ГЛИНОЗЕМНОГО ЗАВОДУ

На території України розташовано біля 20 % світових запасів залізної руди, а також багато інших руд, процес збагачення яких здійснюється на гірничо-збагачувальних комбінатах. Відходи, що утворюються в процесі збагачення руди, складаються в хвостові чи шламосховища, які за способами складування розрізняються на наливні та наливні.

Українським державним науково-дослідним і проектно-вишукувальним інститутом «УкрНДІ-водоканалпроект» як генеральним проектувальником хвостових господарств гірничо-збагачувальних комбінатів запроєктовано переважно більшість хвостосховищ для діючих нині в Україні комбінатів. Необхідно відзначити, що ці споруди відносяться до першого або другого класу капітальності, аварії на яких можуть мати дуже тяжкі наслідки і завдати великої шкоди довкіллю. Як правило, складування шламів здійснюється наливним способом із використанням значного об'єму води, тому що за технологічними умовами збагачення руди консистенція пульпи складає 1:25 – 1:30 і потребує значних витрат електроенергії на її перекачування. Крім того, виникає потреба в утриманні ставка прояснених вод, що зменшує корисну ємність шламосховища і збільшує витікання в нижче розташовані горизонти фільтраційних вод, а також потребує розроблення допоміжних заходів для забезпечення статичної й динамічної стійкості споруд шламосховища.

Нині на багатьох закордонних підприємствах, зокрема, на глиноземних заводах Alcan Ewarton (Ямайка) і Aughinish Alumina (Ірландія), які є власністю Crlencore International, застосовується спосіб «сухого» складування червоного шламу як відходу глиноземних заводів. На шламосховище надходить шлам у вигляді суспензій у співвідношенні твердого стану до рідкого за масою (т:р) близько 1:1 або у вигляді паст у співвідношенні (т:р) близько 1:0,5.

Шламосховища з «сухим» складуванням відходів у порівнянні з наливними мають такі переваги:

- є безпечнішими у зв'язку з відсутністю відстійного ставка з великим об'ємом води;
- мають більший коефіцієнт заповнення відходами (у наливних відвалів цей коефіцієнт дорівнює 0,85–0,9);



О.І. Оглобля
директор
ДІ «УкрНДІводоканалпроект»,
д.т.н., професор



М.Н. Лівшиць
заступник головного інженера
ДІ «УкрНДІводоканалпроект»



А.І. Мартюк
головний інженер проекту
ДІ «УкрНДІводоканалпроект»



П.Г. Федор
директор з розвитку та будівництва
ТОВ «СЦ «Металлург» (м. Миколаїв)

- підсушування і зміцнення шламів відбувається швидше;
- ззовні укуси шламосховищ, при однаковому запасі стійкості, задаються більш крутішими.

Разом із тим складування шламу, що згущується, є складним виробничим процесом. Частково це пояснюється тим, що практично повністю відсутні дані про водно-фізичні характеристики згущувальних шламів. Крім того, для кожного конкретного виду початкової сировини вони можуть бути різноманітними. Фізичні процеси формування водного режиму шламів при його наливанні, які обумовлені водно-фізичними властивостями шламу, також вимагають уточнення. Через відсутність поля згущення шламу, де ці процеси можуть вивчатися, виникає потреба у проведенні фізичного моделювання процесів водовіддачі цього поля

при його намиванні, на підставі яких можна обґрунтувати параметри поля і час виходу технічних засобів на його поверхню для виробництва експлуатаційних робіт.

Визначення витрат води на випаровування з поверхні запроєктованого шламосховища також є складним завданням. Теоретичні розробки з цього питання практично відсутні, а ті, що є, дуже обмежені, експериментальні дані також досить різноманітні. Завдання посилюється ще і тим, що при зведенні шламосховища великої висоти змінюються метеорологічні характеристики щодо рівня земної поверхні.

У 2004 р. на Миколаївському глиноземному заводі (МГЗ) виникла потреба в будівництві нового шламосховища, що пов'язано з заповненням діючого та підвищенням потужності виробництва. При цьому, складування шламів вперше в Україні було передбачено здійснювати «сухим» способом, а саме: пульпу згущати на підприємстві до консистенції у співвідношенні (т:р)=1:1 0,5, потім її гідравлічно транспортувати і складувати у шламосховищі в пастоподібному тягучому стані.

За основу при проектуванні взято рекомендації зі складування згущених шламів, розроблені Державним гідрологічним інститутом Федеральної служби Росії з гідрометеорології і моніторингу навколишнього середовища і викладені у звіті «Гідрологічне обґрунтування і рекомендації щодо визначення водно-фізичних характеристик червоних шламів шламосховища № 2 Миколаївського глиноземного заводу».

Проект шламосховища № 2 розроблено в 2005 р. інститутом «УкрНДІводоканалпроект» за участю ВАТ «ВАМІ» (м. Санкт-Петербург), АТЗТ «Тяжпромавтоматика» (м. Харків) та інституту «Київтяжпромавтоматика» (м. Київ) на підставі технічного завдання, затвердженого МГЗ у 2004 році.

Майданчик будівництва шламосховища площею 150 га визначено на відстані 3,5 км від Миколаївського глиноземного заводу. Поверхня майданчика рівна із загальним ухилом у бік р. Південний Буг. Різниця в абсолютних позначках поверхні між східною і західною сторонами шламосховища становить 11,0 м. Для майданчика характерні складні інженерно-геологічні умови, зокрема наявність просідаючих ґрунтів I типу.

Шламосховище запроєктоване багатоярусним із первинною ґрунтовою дамбою. Його огорожувальні споруди на повний розвиток (із позначкою 82,5 м) віднесено до II класу капітальності.

До комплексу споруд шламосховища (рис. 1) окрім огорожувальних дамб входять:

- чаша з розмежувальними дамбами;
- водозливні колодязі з відвідними колекторами та під'їзними дамбами;
- водовідвідна зона;
- акумулюючий ставок;
- насосна станція повернення прояснених вод;
- нагріні канали.

Площа шламосховища в осях огорожувальних первинних дамб складає 112 га. Первинна ємність 4,26 млн. м³ розрахована приблизно на 4 роки експлуатації. Повна ємність (до позн. 82,5 м) складає 28 млн. м³ і при розрахунковому річному виході шламів у 1,56 млн. м³ термін її експлуатації становитиме 24 роки.

Первинна, дві розмежувальні та три під'їзні дамби до позн. 43,5 м споруджуються із ґрунтів корисної виїмки, що розташована в самій чаші. Ширина дамб по гребеню первинної та розмежувальних дамб – 9,0 м, а під'їзних – 8,0 м, висота цих дамб складає від 2,5 до 9,0 м. Довжина первинних огорожувальних дамб – 4060 м, розмежувальних – 1020 м, під'їзної в секції № 1 – 298 м, № 2 – 312,51 м, № 3 – 305,56 м. Низові

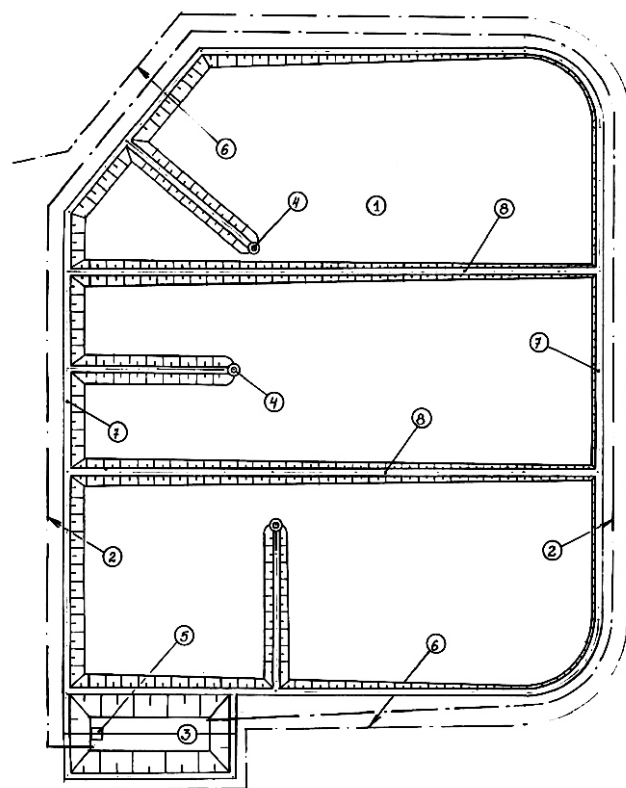


Рис. 1. Ситуаційна схема шламосховища № 2:

1 – шламосховище; 2 – водовідвідна зона; 3 – акумулюючий ставок; 4 – водозливні колодязі; 5 – насосна станція повернення прояснених вод; 6 – нагріні канали; 7 – первинна дамба; 8 – розмежувальна дамба

схили огорожувальних дамб закріплюються шаром рослинного ґрунту, верхові схили та гребінь – щебенем. Також обидва схили та гребінь розмежувальних і під'їзних дамб закріплюються щебенем.

Відповідно до коефіцієнтів фільтрації і ґрунтів основи чаші, з метою захисту підземних вод, проектом передбачено створення по всій площі, в т.ч. і під усіма дамбами, протифільтраційного екрана. Основним елементом цього екрана є стабілізована сажею полімерна геомембрана завтовшки 1,0 мм. Вона гнучка, безусадкова, тріщино- та хімічностійка, а також стійка до ультрафіолетового випромінювання в період укладення. Для захисту від можливих механічних пошкоджень геомембрана покривається шаром нетканого геотекстилю розривним зусиллям 14 кН/м та вагою 450 г/м², на який відсипається захисний шар місцевого супіщаного ґрунту завтовшки 0,5 м.

У чаші шламосховища передбачено будівництво 3-х водозливних колодязів для забору підшламової води. Їх конструкція показана на рис. 2. Від кожного колодязя прокладено водовідвідний колектор, по якому підшламова вода надходить у водовідвідну зону, що розташована по зовнішньому периметру низового схилу огорожувальних дамб і також заізольована протифільтраційним екраном тієї ж конструкції, що і екран чаші шламосховища.

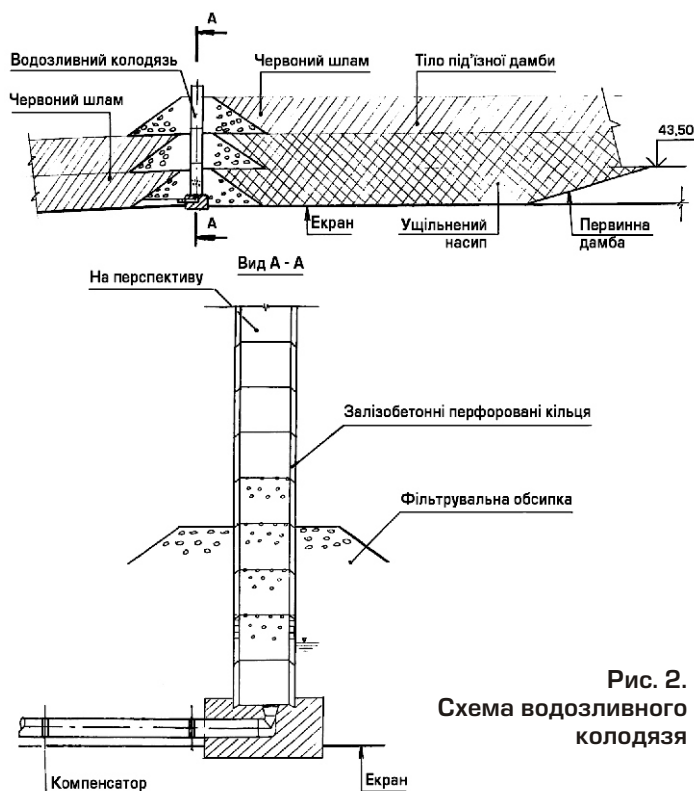


Рис. 2.
Схема водозливного колодязя

Фільтраційні та поверхневі води зі схилів огорожувальних дамб та з водовідвідної зони потрапляють в акумулюючий ставок, розташований з південно-східного боку шламосховища. Ставок площею в 3,3 га зроблений у напіввиїмці-напівнасіпу, двосекційний, ємністю 99,4 тис. м³. Глибина виїмки – 8,5 м, висота огорожувальної дамби від поверхні землі – 0,5 м, ширина по гребеню – 8 м. Гребінь закріплений щебінкою, низовий схил – посівом трав по рослинному ґрунту. Внутрішні схили акумулюючого ставка та його чаша мають протифільтраційний екран тієї ж конструкції, що і чаша шламосховища та водовідвідна зона. Поверх захисного шару протифільтраційного екрана вкладається зворотний фільтр. Міжсекційна роздільна стінка виконана з монолітного залізобетону. В місцях з'єднання водовідвідної зони з секціями акумулюючого ставка встановлені затвори, які дозволяють виключити чи включити кожен секцію окремо. Передбачається також і аварійне скидання води з ставка.

Для можливості подачі води комбінату в акумулюючому ставку передбачена насосна станція повернення проясненої води берегового типу, з якої виходять два водоводи на комбінат та один на пилопригнічення. Експлуатується станція в автоматичному режимі.

Перехоплення поверхневих вод із прилеглих територій здійснюється за допомогою нагірних каналів, по яких ці води відводяться в існуючі водойми.

Згущена до консистенції 1:1 (за масою) пульпа подається в шламосховище по магістральних та розподільних шламопроводах. Розподільні шламопроводи прокладені по огорожувальних та розмежувальних дамбах. Тиск у магістральних шламопроводах 120 атм., у розподільних – до 50 атм. Шлам із розподільних шламопроводів випускається у чашу через розосереджувальні випуски. В процесі нарощування огорожувальних та розподільних дамб розподільні шламопроводи переносяться разом із випусками.

Первинна чаша розподілена на 3 секції, в яких у промислових умовах будуть додатково вивчатись фізико-механічні характеристики згущеного червоного шламу, відпрацьовуватись технології складування і сушіння, а також спорудження з нього огорожувальних та інших дамб.

Передбачено послідовне замивання секцій первинною висотою 1,0 м. Намивання шламу в цих межах здійснюється шарами по 10 см.

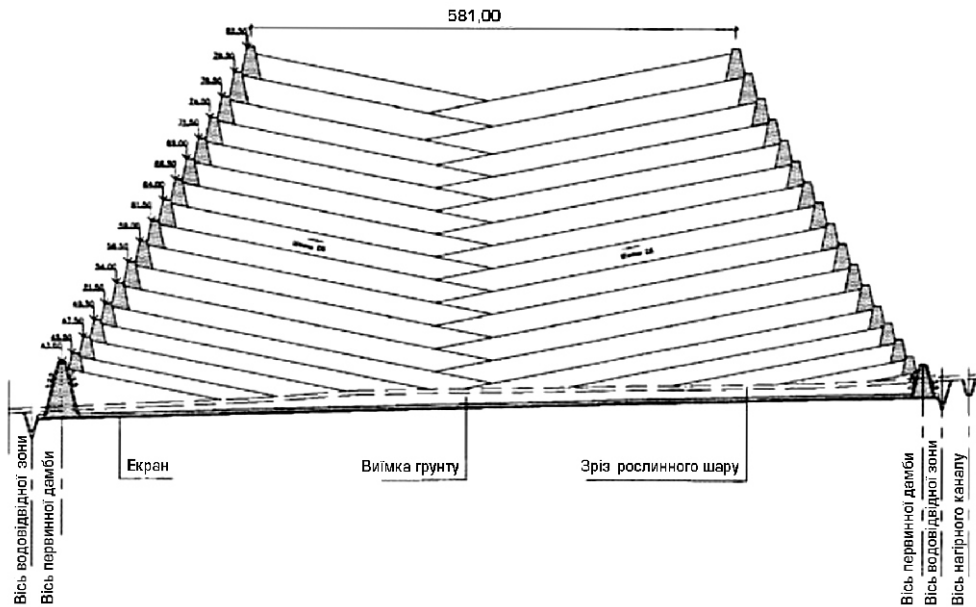


Рис. 3. Схема укладання червоного шламу наприкінці експлуатації шламосховища № 2

При випаровуванні вологи з такого тонкого шару розрив капілярного потоку є маловірогідним. Капілярний потік вологи в цьому шарі практично завжди досягатиме випарювальної поверхні. Звідси її ступінь зволоження вищий за максимальну гігроскопічність. Тому випаровування з такого шару намиву істотно більше, ніж з товстого і значно перевищує річну кількість опадів. Все це призводить до того, що намитий тонкий шар втрачає вологу за рахунок випаровування значно більше, ніж товстий і відповідно ефективність його осушування більш вища. Ступінь пилоутворення тонких шарів при їх сушінні значно менший, ніж товстих, тому що вологість випаровуваного шару вища, а отже рухливість часток шламу істотно менша.

Для забезпечення більшої водовіддачі червоних шламів та скорішого їх осідання на дні в чаші шламосховища по захисному шару кроком 40 м закладені дренажні стрічки, вода з яких надходить у водовідвідну зону.

Спорудження шламосховища до проектної позначки, починаючи з позн. 43,5 м, планується здійснювати ярусами заввишки 2,0, 2,5 та 3,0 м (рис. 3). Перевищення гребеня огорожувальних дамб ярусів нарощування над позначкою поверхні шламу у верхньому схилі становить 0,5 м. Ширина огорожувальних дамб по гребню прийнята 9,0 м.

Спорудження огорожувальних дамб ярусів нарощування здійснюється з пошаровим

ущільненням. Низові схили огорожувальних дамб закріплюються від розмивів та запарошення рослинним ґрунтом із посівом багаторічних трав, гребінь та верхові схили закріплюються щебіркою. В процесі зростання висоти заповнення шламосховища вище позн. 43,0 м передбачається влаштування кільцевих дренажів у чаші. Дренажна вода також скидається у водовідвідну зону. Для спостереження за горизонтальними та вертикальними зміщеннями в тілі огорожувальної дамби за-

проектовані 27 створів контрольно-вимірювальної апаратури, які розміщуються по всьому периметру шламосховища через кожні 150 м. Для перехоплення та відведення поверхневих вод із прилеглих територій передбачається будівництво нагірних каналів.

Таким чином, складування шламів «сухим» способом дозволяє в порівнянні з діючою на МГЗ технологією складування в 7–10 разів зменшити використання води при гідравлічному транспортуванні пульпи і тим самим значно знизити витрати електроенергії. При цьому відпадає потреба в утриманні ставка прояснених вод об'ємом не менше 2 млн. м³, що збільшує корисну ємність шламосховища і зменшує ризик виникнення нештатної ситуації. Крім того «сухе» складування дозволяє влаштовувати огорожувальні дамби і греблі вище позн. 43,5 м із відкладених у чаші шламів і тим самим створити саме шламосховище № 2. В іншому разі через відсутність у районі МГЗ кар'єрів ґрунту і місць для складування його в об'ємі 2,6 млн. м³ (для нарощування огорожувальних дамб) будівництво шламосховища ставало неможливим.

Метод складування шламів «сухим» способом, відпрацьований на Миколаївському глиноземному заводі, може бути придатним і економічно вигідним для застосування і на інших ГЗК України.

Надійшла 12.03.2008

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВЛАШТУВАННЯ ПРОРІЗІВ У ЦЕГЛЯНИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТІНАХ

При перепрофілюванні будівельного об'єкта, як правило, виникає необхідність у влаштуванні окремого входу, об'єднанні декількох приміщень у загальний простір зального чи анфіладного типу тощо. Таке перепланування потребує виконання наскрізних прорізів, а іноді – розбирання несучих стін та перегородок. При цьому необхідно уникати будь-яких негативних впливів на вищерозташовані конструкції та інженерні системи функціонуючої будівлі, мінімізувати виробничі витрати, вкластися у визначений термін реалізації проекту. Роботи мають виконуватися з дотриманням вимог охорони праці та промислової санітарії [1].

Але у багатьох випадках такі відповідальні роботи виконують або взагалі без проекту, або за проектом, який має грубі помилки. Результати порушення технології влаштування прорізу наведено на рис. 1. Для збільшення вільного простору під сталеву балкою підсилення прорізу без тимчасового розвантаження було зруйновано робочу арматуру повздожнього ребра залізобетонного перекриття вищерозташованого поверху, що створило реальну загрозу аварії уже частково капітально відремонтованого житлового будинку.

Метою даної роботи є доведення необхідності вибору конструкції та технології влаштування прорізів із врахуванням цілої системи чинників, що впливають на очікувані техніко-економічні показники, безпеку виробництва та захист навколишнього середовища при виконанні робіт.

На основі обробки даних понад 40 реалізованих проектів перепланування із влаштуванням або розширенням прорізів в Україні та Російській Федерації встановлено, що найбільший вплив на їх кінцеві техніко-економічні показники мають такі чинники, як матеріал стін та розміри прогону необхідного прорізу. Адже із зростанням розмірів прорізу збільшуються витрати ресурсів на його влаштування (металоємність конструкції підсилення, трудомісткість та собівартість виконання робіт). Можна припустити, що є чітко означена зона, де достатньо влаштувати лише перемичку над прорізом, а також зона, у якій обов'язкове влаштування рам-



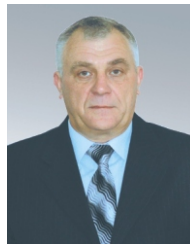
В.Т. Шаленний

професор кафедри технології будівельного виробництва Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, д.т.н., професор



Р.Б. Папірник

доцент кафедри технології будівельного виробництва Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, к.т.н.



О.С. Каменєв

викладач вищої категорії Запорізького будівельного коледжу



А.А. Павлюк

головний інженер центру алмазних технологій «Севітол», м. Київ

ної системи сталевих конструкцій підсилення, і є проміжком, де проектувальники застосовували балкову або рамну системи. Після отримання необхідної 95 % імовірності та оброблення даних за методикою дисперсного аналізу було встановлено, що межі можливого застосування балкової схеми підсилення – не більше прогону 1,75–1,8 м, а у разі більших прогонів необхідно влаштовувати підсилення із вертикальними конструкціями із сталі.

Кількісно залежність прогнозованих витрат сталі від прогону запланованого прорізу у цегляній стіні виражається отриманим рівнянням параболи

$$M = (0,137547 + 0,217394 L)^2.$$



Рис. 1. Грубе порушення технології влаштування прорізу у цегляній несучій стіні (а) та спосіб відновлення несучої здатності системи (б)

Ця залежність підтверджує гіпотезу про зростання витрат сталі із збільшенням розміру прогону прорізу: із його зростанням у два рази (від 1 до 2 м) металоємність сталевий обійми збільшується від 0,13 до 0,33 т, тобто майже у три рази. При іншому інтервалі двократного зростання прогону, наприклад від 1,5 до 3 м, отримуємо зростання з 0,21 до 0,62 т, тобто рівно у три рази. Однак цей висновок відноситься лише до зазначених меж змін незалежної змінної (від 0,5 до 3,5–4,0 м).

Знайшла підтвердження і гіпотеза про непропорційне зростання витрат інших ресурсів із збільшенням прогонів L передбачуваних прорізів.

Так кошторисна трудомісткість робіт зростає за мультиплікативною моделлю

$$Tr_{cm} = 70,429 L^{1,44341},$$

як наслідок кошторисна заробітна плата робітників теж зростає у виді наступного рівняння:

$$Z_{nl} = 649,437 L^{1,44853}.$$

Вартість робіт на влаштування прорізу, який необхідно утворити у стіні із цегли,

$$D_{ц} = 3929,99 L^{1,33543}.$$

Остання модель, наприклад, пояснює 52,6 % змін $D_{ц}$ у залежності від зміни прогону прорізу L . Кореляційне відношення $R = 0,725$, значення F -критерію Фішера 35,54. Стандартна помилка 0,767, а середня абсолютна погрішність (МАЕ) склала 0,6358. Але достовірно прогнозувати вартість влаштування прорізів (та й інших згаданих раніше показників) можна лише в межах розмірів ширини прорізу від 0,5 до 3,5, макси-

мум 4 м, і лише у цегляних стінах. Далі результати прогнозу собівартості робіт без додаткових досліджень поширювати не можна. Слід зазначити, що це лише прогнозні показники, які необхідні для прийняття рішення на передпроектній стадії, вони обов'язково повинні уточнюватись за результатами детального робочого конструктивного і технологічного проектування обґрунтовано відібраного таким чином варіанта.

Досить характерною є конструкція і технологічна послідовність влаштування прорізу прогоном біля 2 м у цегляній стіні, в основу яких покладено робочий проект реконструкції нежитлових приміщень під філіал банку по вул. Гагаріна, 5 у м. Запоріжжі, виконаний ДП «Запоріжцівільпроект» (рис. 2).

Особливості та послідовність виконання робіт. Після відключення електричного струму у зоні виконання робіт встановлюються тимчасові розвантажувальні стояки під перекриття із колод діаметром 200 мм на відстані 1 м від стіни з кроком 0,7 м. Зверху і знизу вкладаються дерев'яні бруски перерізом 200 200 мм. Стояки у нижній зоні розклинюються зустрічними клинами. Для розвантаження можна використати металеві стояки із триногами та балками відомих інвентарних опалубних систем для монолітних перекриттів відповідної вантажопідйомності з гвинтовими домкратними пристосуваннями (систем «Doka», «Peri», «Будмайстер» т.ін.).

У зоні встановлення несучих швелерів поз.1 спеціальною фрезою або дисковою пилкою із алмазним робочим органом прорізуються щіли-

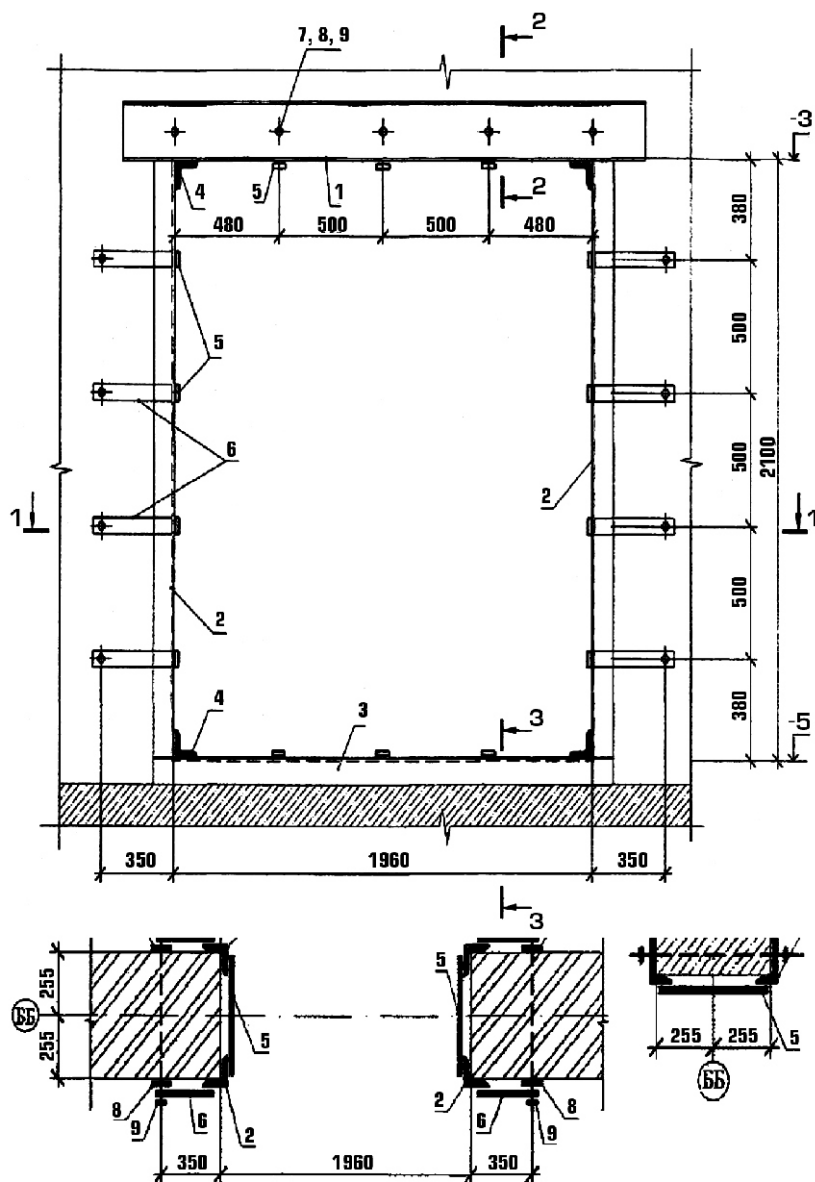


Рис. 2. Схема підсилення прорізу:

1 – швелер № 22; 2–4 кутики 100 завдовжки 2100, 2200 та 500 мм відповідно; 5, 6 – пластини 6 – 60 завдовжки 480 і 450 мм; 7, 8, 9 – шпилька, шайба і гайка відповідно

ни і встановлюється швелер із отворами в одній стороні, щілини замуровуються жорстким цементно-піщаним розчином М150. У встановленому швелері просвердлюються наскрізні отвори у стіні діаметром 19 мм, у які вставляються шпильки. З протилежної сторони прикладається швелер, у якому пропалюються отвори, прорізаються щілини і встановлюється другий швелер. Утворена перемичка стягується шпильками.

У нижній частині стіни прорізаються горизонтальні щілини, у які встановлюються кутики поз. 3.

У прорізані вертикальні пази стіни встановлюються кутики поз. 2, які мають спиратися на попередньо влаштовані кутики поз. 3. Після цього прорізаються наскрізні вертикальні борозни і стягуються протилежні кутики поз. 2 при допомозі пластин поз. 5.

У стіні просвердлюються наскрізні отвори діаметром 19 мм, у які встановлюються шпильки поз. 7, на них шайби поз. 8 і пластини поз. 6 із просвердленими в них отворами. Стіна стягується шпильками. Пластини поз. 6 приварюються до кутиків поз. 2.

Кладка, що залишилась, розрізується на частини та розбирається.

Знизу прорізу та по кутах приварюються кутики поз. 4. Зазори, що утворилися між металоконструкціями та стіною, замуровуються жорстким цементно-піщаним розчином М150.

Металоконструкції монтуються за допомогою ручного електродугового зварювання за ГОСТ 5264-80 електродами типу Е-42. При цьому катет шва має бути не менше товщини елементів, які зварюються. Зварювальні шви ретельно зачищаються.

Після закінчення монтажних та зварювальних робіт усі металеві поверхні двічі фарбуються по ґрунтовці після очищення від окислів.

Роботи з монтажу металоконструкцій приймаються технічним наглядом замовника та авторським наглядом із складанням акту на приховані роботи.

Металоконструкції прорізу обтягуються штукатурною сіткою 5–1,2 НУ ГОСТ 3826-82 та обштукатурюються цементним розчином М150.

Наступний проріз виконується лише після закінчення робіт із утворення попереднього.

Щодо технології влаштування прорізів у бетонних, а особливо залізобетонних стінах і перегородках, то слід зазначити, що використання поширеного пневматичного і електромеханічного

Середні витрати ресурсів на влаштування прорізів алмазними дисковими пилами фірми HYDROSTRESS (м² площі перерізу)

Матеріал, у якому виконується проріз	Товщина конструкції, мм	Вартість, грн.	Норма часу		Алмазні диски		Вода, л
			люд.-год.	маш.-год.	діаметр, мм	штук	
Керамзитобетон	350	950	0,5	0,25	1000	0,029	75
Бетон В15	500	1000	0,8	0,4	1200	0,04	160
Залізобетон	120	1200	1,0	0,5	800	0,04	180
	160	1100	0,8	0,4	800	0,035	165
Цегла	120	900	0,42	0,21	800	0,033	90
	250	925	0,45	0,22	800	0,031	110
	380	950	0,48	0,24	1000	0,03	130
	510	1000	0,5	0,25	1200	0,029	150

інструменту згідно з чинними ДБН Д.2.4-20-2000 [2] відходить у минуле. Все частіше використовуються алмазні технології із гідравлічними дисковими або канатними пилами. Зміни та доповнення, що були внесені до ДБН Д.2.2-46-99 [3] наказом Держбуду за № 92 у грудні 2002 р., уже засвідчили можливість використання такого сучасного обладнання відомої фірми HYDROSTRESS (групи норм 66-69). Таким чином, ці норми знайшли відображення і у програмному комплексі АВК-3 для кошторисних розрахунків. Однак склад ресурсів, як і їх кількісні характеристики, не відповідає фактичним витратам. Наприклад, незрозуміло для чого потрібні ресурси під шифром 1110-137 (канат сталевий діаметром 8,3 мм) або 111-0309 (канат пеньковий) при виконанні робіт із різання бетону і залізобетону настінною пилюкою DZ-S Set B HYDROSTRESS (група 66).

Не зовсім коректним є використання одиниці виміру – 1 м прорізу при його базовій глибині у 500 мм. Якщо застосувати поправку таблиці 46-66-4 на зменшення глибини різання на кожні 10 мм, то для досить поширених внутрішніх залізобетонних стін у 160 мм отримаємо норму часу $3,69 - 0,0584 \cdot 34 = 1,704$ люд.-год. на 1 м довжини прорізу. І це є досить логічно. Інша справа із частинами, що швидко зношуються. Це, перш за все, алмазні диски. Для залізобетонних конструкцій завтовшки у 500 мм треба використовувати більш дорогі диски діаметром 1200 мм, а для стін завтовшки 160 мм достатньо диска з максимальним діаметром 800 мм.

Враховуючи такі недоречності, пропонуємо дещо іншу одиницю виміру обсягів робіт, а саме – квадратний метр (або сантиметр) площі різання. Адже така одиниця виміру використо-

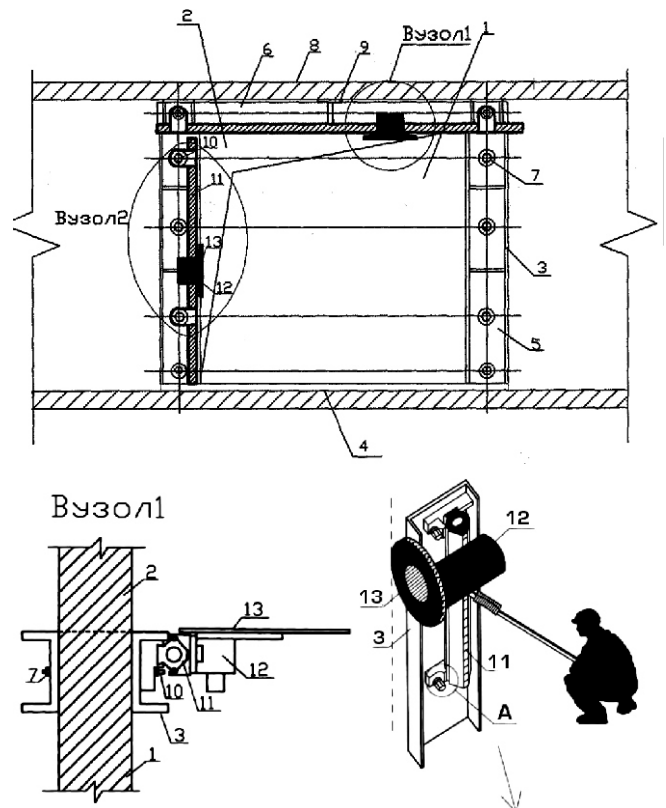


Рис. 3. Запатентована конструктивно-технологічна схема влаштування прорізу із використанням дискової алмазної пилки фірми HYDROSTRESS:

1 – стіна; 2 – проріз; 3 – сталеві рами; 4 – затяжки; 5 – пілони; 6 – перемички; 7 – болти; 8 – перекриття; 9 – прокладки; 10 – шпильки; 11 – напрямна; 12 – інструмент; 13 – алмазна пилка

ується при кошторисних розрахунках між замовником та виконавцем робіт. Виходячи із досвіду таких розрахунків, хронометражних спостережень та стану національної валюти у другому кварталі 2009 р., пропонуються кошторисні норми на влаштування прорізів у бетонних і залізобетонних конструкціях, наведені у таблиці.

Проаналізовані російські проекти виробництва робіт із влаштування прорізів практично завжди обумовлюють монтаж системи тимчасового розвантаження або підсилення для безпеки їх виконання. В Україні про це майже не згадують. Щоб не влаштовувати безумовно необхідну систему тимчасового підсилення конструкції стіни на період влаштування прорізу, автори пропонують перед влаштуванням прорізу змонтувати і включити у роботу металеву конструкцію рами (або балки) підсилення, а вже потім під захистом цієї системи виконувати роботи з монтажу обладнання і власне руйнування матеріалу стіни [4, 5].

У подальшому, враховуючи конструкцію обладнання для нарізування щілин у залізобетоні, це обладнання слід закріплювати не у отворах стіни (як рекомендувалось виробниками обладнання), а на рамі каркаса підсилення майбутнього прорізу. На рис. 3 показана загальна конструктивна схема виконання даного способу, схема утворення горизонтальних та вертикальних розрізів відповідно, а також деякі деталі конструкції удосконаленого обладнання. Запропонований спосіб здійснюють наступним чином. У несучій стіні уздовж контуру майбутнього прорізу з двох сторін влаштовують попе-

редньо виготовлені сталеві рами, які складаються з затяжок, пілонів і перемичок. У стіні просвердлюють наскрізні отвори під болти. Між верхнім контуром (перемичками) і вищерозташованим перекриттям встановлюють металеві прокладки-клини, які після монтажу приварюють до балки у отвори. Подальше рівномірне затягування болтів включає систему в роботу з сприйняття навантаження від вищерозташованого перекриття і передачі його через пілони на нижчерозташовані сталеві рами через шпильки, паралельно встановлюється спеціальне обладнання для руйнування матеріалу стін.

Обладнання включає напрямну, по якій і здійснюється переміщення інструмента з алмазною пилкою. Після виконання прорізу встановлюють арматурні сітки і виконують переважно торкрет-бетонування чи обштукатурювання.

Запропонований і запатентований спосіб виконання прорізу у стіні за допомогою спеціального алмазного обладнання, встановленого на сталевих рамах, дозволяє скоротити тривалість і трудомісткість, а також забезпечує безпеку виконуваних робіт навіть без попереднього встановлення тимчасових конструкцій підсилення.

Таким чином, на основі отриманих статистичних закономірностей впливу розмірів прорізів на кінцеві техніко-економічні показники, хронометражних спостережень за влаштуванням прорізів алмазним інструментом запропоновані відносно нові технології влаштування таких прорізів із врахуванням цих закономірностей та безпечного виконання робіт. Ці технології можуть бути рекомендовані для подальшого поширення у якості нормалізованих.

[1] ДБН В.3.1-1-2002 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ промислових будівель і споруд. – К.: НДІБВ Держбуд України. – 2002. – 82 с.

[2] ДБН Д.2.4-20-2000 Збірник 20. Інші ремонтно-будівельні роботи. – К.: Індрпроект. – 2000. – 23 с.

[3] ДБН Д.2.2-46-99. Збірник 46. Роботи при реконструкції будівель та споруд (із змінами та доповненнями, затвердженими наказом Держбуду України від 06.12.2002 р. № 92). К.: Індрпроект. – 2000.

[4] Спосіб утворення прорізу у несучій стіні: Пат. України № 68112А, МПК7 Е04G23/02, /Шаленний В.Т., Савицький М.В., Большаков В.І., Понізов С.Є. – № 2003109127; Заявл. 09.10.03; Опубл. 15.07.04, Бюл. № 7. – 2 с., іл.

[5] Спосіб утворення прорізу у несучій стіні: Пат. України № 11921, МПК7 Е04G23/02, /Шаленний В.Т., Каменев О.С., Вігонний А.Г. – № 200506759; Заявл. 11.07.05; Опубл. 16.01.06, Бюл. № 1. – 2 с., іл.

Надійшла 23.06.2009 р.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ МОНТАЖНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ

В мировой практике строительства металлоконструкций монтажные соединения решетчатых пространственных секций башен и мачт связи, а также вытяжных башен промышленного назначения выполняются посредством фланцев, приваренных к торцам поясов секций и соединяемых болтами.

Монтаж башен и мачт выполняется мобильным и самоподъемным кранами, а также при помощи вертолета (рис. 1). В процессе монтажа у каждого узла соединения конструкций находится монтажник, который, не имея достаточно прочной опоры, должен вручную навес-



Л.О. Кагановский
инженер-конструктор (Израиль)

ти фланец подвешенной верхней секции на соответствующий фланец нижней секции, а затем оправкой совместить отверстия верхнего и нижнего фланцев под болт, установить болты и закрутить гайки.

Недостатком фланцевого соединения является большая трудоемкость и продолжительность монтажа, predetermined неизбежности и большими затратами ручного труда, а так-

же повышенная опасность монтажных работ при проведении их на большой высоте. Монтажники имеют дело с большим количеством тяжелых болтов с гайками и гаечными ключами, работая часто в опасных и плохо приспособленных условиях.

В 1985 г. в городе Шостка в Украине впервые в СССР была сооружена мачта высотой 246 м при помощи вертолета Ми-10-К в качестве основного подъемного механизма (рис. 2). Ствол мачты состоял из четырехгранных секций размером 2,5 × 2,5 м в плане, высотой 6,75 м. Монтажные стыки поясов секций – фланцевые на 8 болтах. Четыре монтажника, которые находились на специальных монтажных алюминиевых люльках, устанавливали болты в каждом фланцевом соединении. На монтаж секции затрачивалось 10 мин, на ее закрепление – 50 мин. Вертолетом было выполнено 43 подъема. Вертолетный монтаж продолжался 17 дней, а монтаж аналогичной мачты с применением самоподъемного крана длится 3,5 месяца.

В 2000 г. у в штате Техас впервые в США была сооружена мачта высотой 300 м вертолетом Эриксон S-64. Ствол мачты состоял из треу-

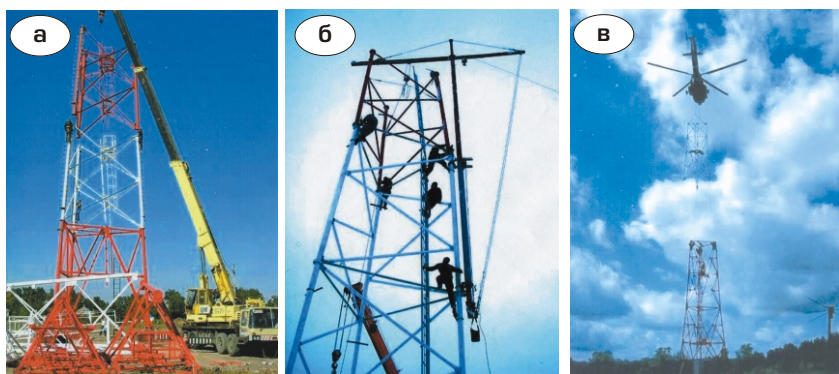


Рис. 1. Монтаж башен и мачт мобильным краном (а), самоподъемным краном (б) и при помощи вертолета (в)

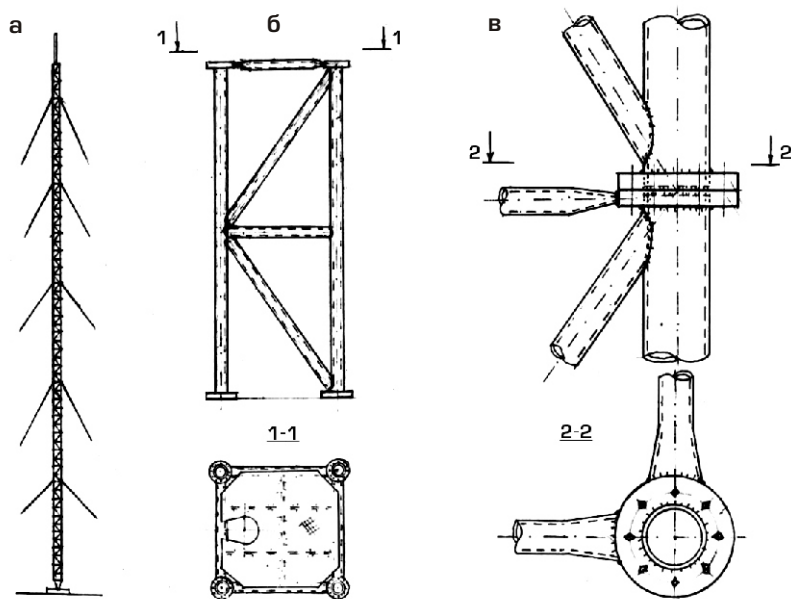


Рис. 2. Мачта высотой 246 м: а – схема ствола мачты; б – схема секции; в – узел фланцевого соединения

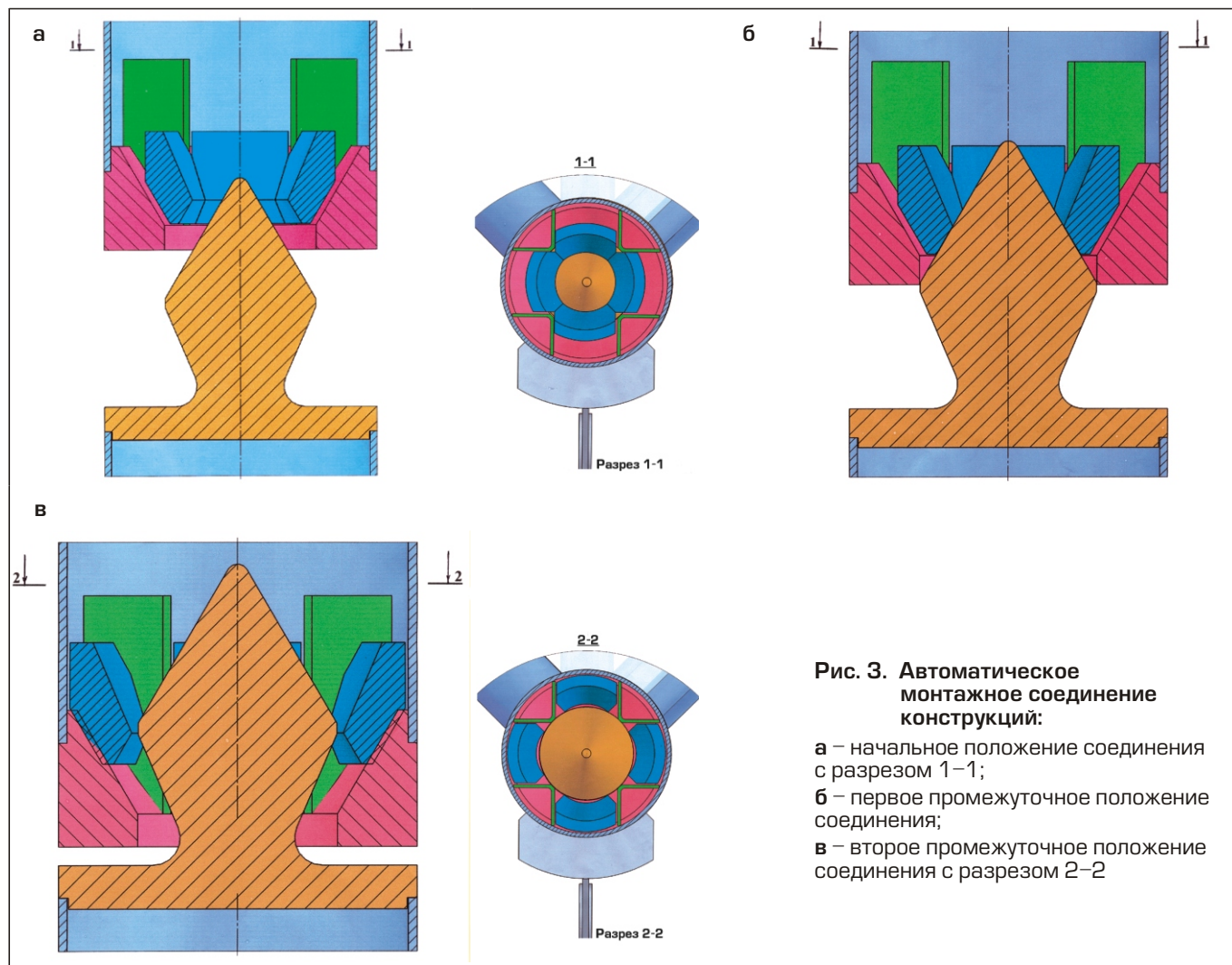


Рис. 3. Автоматическое монтажное соединение конструкций:

а – начальное положение соединения с разрезом 1–1;
б – первое промежуточное положение соединения;
в – второе промежуточное положение соединения с разрезом 2–2

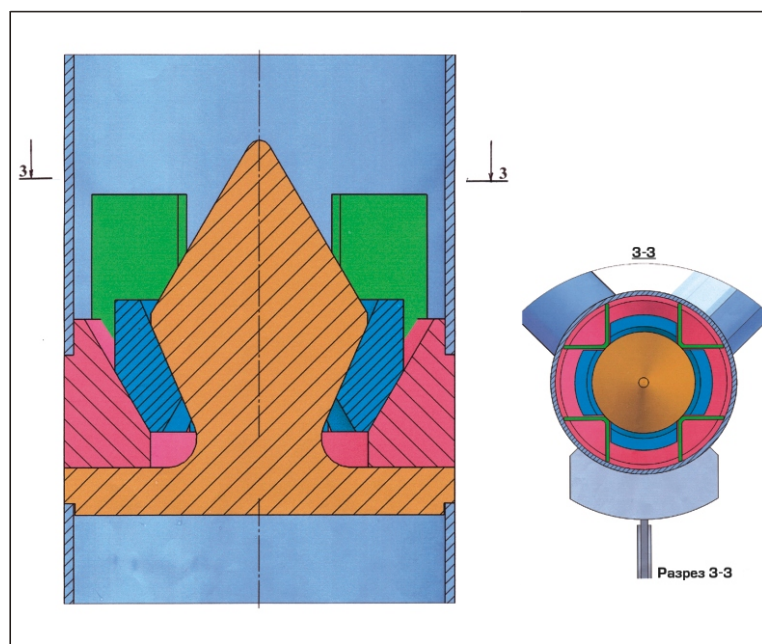


Рис. 4. Замкнутое положение соединения с разрезом 3–3

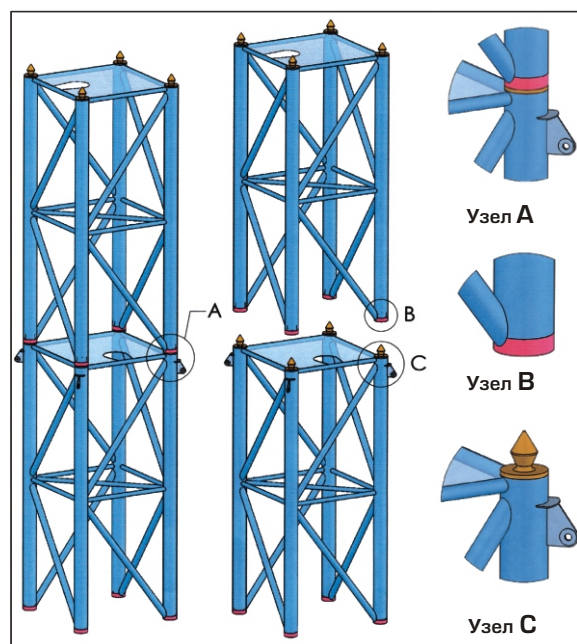


Рис. 5. Схема соединения секций

гольных секций. Монтажные стыки поясов секций также фланцевые на 6-ти болтах. При монтаже секций монтажники находились под вертолетом, вручную наводя соединяемую секцию, подвергаясь при этом большой опасности.

Для усовершенствования технологии монтажа и устранения недостатков фланцевого монтажного соединения секций башен и мачт автором разработано и запатентовано автоматическое монтажное соединение конструкций [1]. Это соединение осуществляется при помощи модуля, состоящего из двух частей: соединительного стержня, приваренного к торцу пояса нижней секции и замыкающей части, приваренной к торцу пояса верхней секции. Соединительный стержень представляет собой плиту с утолщением в виде двух конусов, обращенных друг к другу основаниями с цилиндрическим участком между ними в виде пояса. Замыкающая часть модуля состоит из трубчатого корпуса и приваренного к нему фланца с круглым центральным отверстием, цилиндрическая поверхность которого в верхней части переходит в конусную рабочую поверхность, взаимодействующую с подвижными клиньями. Эти клинья размещены в просветах между направляющими упорами.

Перед монтажом секций подвижные клинья вставляют в центральное отверстие верхней части модуля таким образом, чтобы они под действием силы тяжести уперлись друг в друга (рис. 3, а). Затем верхнюю часть модуля насаживают центральным отверстием на вершину соединительного стержня. При этом даже смещенное вхождение приведет к соосности в процессе скольжения кромки центрального отверстия по верхней конической поверхности соединительного стержня, обеспечивая таким образом точную самонаводку. Коническая поверхность соединительного стержня, проходя через центральное отверстие верхней части модуля и скользя вдоль направляющих упоров, вступает в контакт с подвижными клиньями раздвигая их в стороны (рис. 3, б, в). Во время соприкосновения фланцев верхней и нижней частей модуля клинья опускаются вниз под действием силы тяжести и расклиниваются между нижним ко-

нусом соединительного стержня и конусной рабочей поверхностью фланца верхней части модуля (рис. 4). Секции и схема их соединения показаны на рис. 5.

Автоматическое монтажное соединение секций ствола мачты происходит без участия монтажников. Оно полностью обеспечивает восприятие действующих знакопеременных усилий в поясах ствола мачты. При этом устраняется необходимость установки большого количества болтов.

Конструктивное решение автоматического монтажного соединения является пионерным изобретением в области монтажных соединений конструкций. Это соединение применимо не только в стволах мачт, но и в конструкциях башен связи, вытяжных башнях промышленного назначения и других сооружениях, при монтаже мобильных и самоподъемными кранами, а также при помощи вертолетов. Кроме того, его можно применять при монтаже конструкций в водной среде, в условиях радиации и загазованности.

Разработаны также аналогичные монтажные соединения для наклонных поясов башен, разъемных конструкций, а также для крепления канатов оттяжек мачт и в других конструкциях.

Выводы. Монтажное соединение секций ствола мачты происходит автоматически без участия монтажников, полностью обеспечивая восприятие действующих знакопеременных усилий. Предлагаемое соединение – самонаводящееся, точной наводки – не требует установки большого количества болтов. Его применение эффективно как при монтаже высотных сооружений связи, вытяжных и других башен, монтируемых вертолетом, самоподъемным и другими кранами, так и при монтаже конструкций в водной среде, в условиях радиации и загазованности.

[1] Патент 1664984 СССР, Е04 В 1/58 Узел соединения строительных элементов. Л.О. Кагановский Оpubл. 23.07.91. Бюл. № 27 Патент Украины № 69, дата регистрации 15 декабря 1992 г.

Надійшла 14.02.2009 р. 

ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТА

Механізація масових відрізних і зачисних операцій, трудомісткість виконання яких складає 11...13 % від загальної трудомісткості монтажних робіт, дозволяє підвищити продуктивність праці, скоротити терміни будівництва і заощадити значні матеріальні ресурси. Відрізні і зачисні операції в основному виконуються за допомогою абразивних армованих кругів, що встановлюються на ручні шліфувальні машини або переносні маятникові пили. Головними споживачами кругів є організації, які спеціалізуються на монтажі металоконструкцій, технологічного устаткування і трубопроводів. Враховуючи, що щорічна потреба цих організацій в кругах обчислюється мільйонами штук, питання, пов'язані з їх безпечною експлуатацією і раціональним використанням, є актуальними.

Абразивні армовані круги відносяться до інструментів підвищеної небезпеки. В процесі експлуатації абразивний круг зазнає складного напруженого стану. При фіксованій швидкості 80 м/с на його різальній кромці виникають відцентрові прискорення, рівні відношенню квадрата швидкості до радіуса круга, які призводять до появи розтягувальних напруг, величина яких на зовнішньому діаметрі затискного фланця може досягати величин, порівняних із межею міцності матеріалу круга. На зачисні круги також постійно діють згинальні зусилля, які можуть з'являтися і у відрізних кругах у разі їх затискання або перекосу. Напруги, що виникають через вигин, можуть досягати межі міцності матеріалу круга, а найвірогіднішим місцем його поломки є область біля затискного фланця.

При визначенні міцності зачисного круга враховується вплив відцентрових і згинальних зусиль, а відрізного – тільки відцентрових. Це знайшло віддзеркалення в стандарті з безпеки праці згідно з яким кожен відрізний абразивний армований круг перед установкою його на машину повинен бути випробуваний споживачем на швидкості 104 м/с, а зачисний – 120 м/с. Враховуючи, що відрізні та зачисні круги мають різні запаси міцності, вони повинні застосовуватися тільки за прямим призначенням. Так, при зачищенні бічною поверхнею відрізного круга неодноразово траплялися нещасні випадки, навіть з важкими наслідками. Дотримання



Ю.Д. Абрашкевич
професор кафедри будівельних машин ім. Ю.О. Ветрова Київського національного університету будівництва та архітектури, д.т.н., професор

вимог ГОСТ 12.3.028 гарантує безпеку роботи з абразивними армованими кругами.

Найважливішим експлуатаційним показником, що характеризує зносостійкість кругів і визначає їх економічну ефективність, є коефіцієнт шліфування (S), який для відрізних кругів виражається як відношення площі поперечного перерізу розрізаного виробу до площі торцевої поверхні робочого шару спрацьованого круга, а для зачисних – як відношення маси зшліфованого матеріалу до маси зношеної частини круга. Собівартість абразивної обробки в основному визначається зносостійкістю інструмента. Абразивні армовані круги складаються з абразивного зерна, закріпленого між собою фенольним зв'язуючим, наповнювача і армувальної склосітки. З роботою абразивного круга пов'язаний один парадокс. Відомо, що в зоні різання виникають температури, що досягають 1000 °С, а бакелітова зв'язка нетеплостійка і руйнується за температури приблизно 250 °С, тобто не зрозуміло, яким чином зв'язка в процесі роботи утримує абразивні зерна. Очевидно, що коли говорять про температуру, при якій бакелітова зв'язка знеміцнюється, мають на увазі результати рівноважних вимірювань. На практиці круг обертається з високою швидкістю і після короткочасного перебування в зоні високих температур ділянка його ріжучої кромки виходить із пропилу і інтенсивно охолоджується повітрям. Крім того, слід враховувати, що горіння зв'язки, як будь-який хімічний процес, протікає не миттєво, а протягом певного часу. Виходячи з цього, температура, що характеризує процеси в крузі, є не миттєвою, а усередненою температурою за періодом його обертання.

Теплові процеси, які багато в чому визначають ефективність застосування абразивного інструмента, залежать від режимів його роботи,

довжини дуги контакту між кругом і оброблюваним виробом, конструкції бічних поверхонь круга та його геометричних параметрів. Розглянемо вплив зазначених чинників на зносостійкість абразивних армованих кругів.

Температура полімерної матриці абразивного круга пов'язана із швидкістю його обертання декількома параметрами. З підвищенням швидкості в контактній зоні зростає число теплових імпульсів, що негативно позначається на зносостійкості круга. Але одночасно збільшується тепловіддача з його бічних поверхонь, що визначається коефіцієнтом теплопередачі. Крім того, із зростанням обводової швидкості круга збільшується ефективність тепловіддачі навколишньому середовищу і скорочується час його перебування в зоні високих температур. При збільшенні робочої швидкості абразивного армованого круга його зносостійкість практично лінійно зростає. Зокрема, економічно доцільно відрізний круг діаметром 230 мм, зношений до 180 мм, встановлювати на кутову шліфувальну машину з числом обертів 8500 об/хв.

Із зростанням швидкості подачі збільшується товщина стружки, що знімається кожним абразивним зерном, і як наслідок підвищуються температура в зоні контакту і знос круга. Оскільки на будівельних майданчиках різання здійснюється епізодично, рекомендується уникати подачі більше 0,5 м/хв і відповідно інтенсивного зносу круга. При подачі до 0,2 м/хв тепловий фронт проникає на значну глибину металу, а зі стружкою видаляється лише мала частка. Тепло, що виділилося, накопичується в контактній зоні і спричиняє припикання на торцевих поверхнях розрізаного металу. Таким чином, рекомендований діапазон подач при різанні металопрокату складає 0,2...0,5 м/хв.

Очевидним є вплив дуги контакту круга з оброблюваним об'єктом на зносостійкість інструмента. З її збільшенням тепловиділення зростає, при цьому в зоні контакту відбувається нагрів круга, а поза нею – охолодження внаслідок тепловіддачі в навколишнє середовище. Знос абразивного інструмента може бути зменшений шляхом мінімізації відношення між довжиною дуги контакту і довжиною ріжучої кромки круга, що знаходиться поза контактом. Такий ефект може досягатися шляхом застосування круга з максимально можливим діаметром або раціональних схем різання. Як видно з

рис. 1 максимальна зносостійкість абразивного круга (S) може бути одержана при різанні профільного прокату за схемою 3, дуга контакту (l_k) при якій мінімальна. Зниження продуктивності при такій схемі різання не є визначальним, оскільки коефіцієнт використання шліфувальних машин і маятникових пил на монтажних роботах не перевищує 0,5.

На експлуатаційні показники абразивних армованих кругів значний вплив має конструкція бічних поверхонь. Промисловістю виготовляються круги з гладкими, рифленими і шорсткими бічними поверхнями. Круги з гладкими поверхнями виготовляють шляхом пресування між металевими робочими плитами. Для виготовлення кругів із рифленими поверхнями використовуються робочі плити з насічкою у вигляді концентричних кіл, гвинтової лінії тощо, з шорсткими – робочі плити, на яких жорстко закріплені поліуретанові прокладки, при цьому зерна абразиву вдавлюються в прокладку, а зв'язка втоплюється.

Найменш сприятливі умови щодо тепловіддачі мають круги з гладкою бічною поверхнею, оскільки до неї примикає ламінарний підшар повітря і теплопередача в навколишню

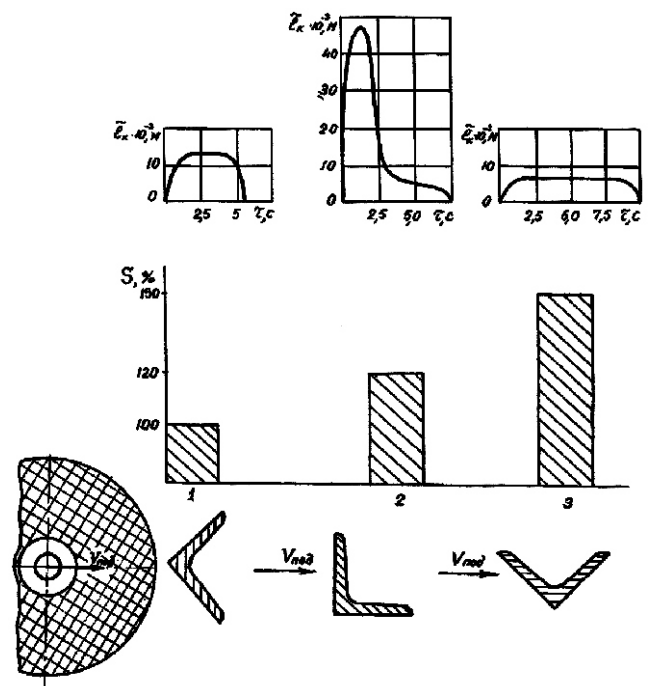


Рис. 1. Залежності зносостійкості круга (S), потужності (N) і часу різання (τ) від довжини дуги контакту (l_k)

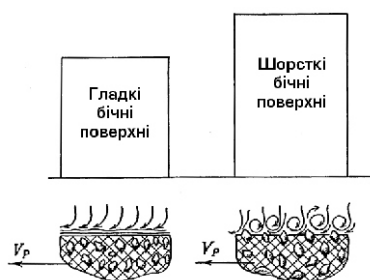


Рис. 2.
Залежності відносної зносостійкості $S_{\text{відн.}}$ конфігурації бічної поверхні

атмосферу здійснюється за допомогою теплопровідності. Найявністю рифлення сприяє інтенсивнішому охолодженню бічної поверхні круга через порушення ламінарного підшару і розвиток турбулентності в приграничному шарі. У випадку шорстких бічних поверхонь навколо виступаючих на них абразивних зерен виникають турбулентні завихрення і теплопередача здійснюється за допомогою конвекції, що дозволяє збільшити коефіцієнт тепловіддачі і зносостійкість абразивного армованого круга (рис. 2).

Перевага кругів із шорсткими бічними поверхнями в порівнянні з гладкими пов'язана з характером взаємодії бічних поверхонь з металом у пропилі.

При різанні абразивний армований круг обертається з швидкістю до 80 м/с, а ділянка круга, що знаходиться в пропилі, подібна балці, на кінці якої діють дві зустрічні сили, з якими здійснюється подача і реакція врізування. При цьому балка згинається із максимальним прогином посередині, що може викликати заклинювання круга. Коливання круга в пропилі викликає хаотичне розташування абразивних зерен на різальній кромці, тобто в кожен момент часу є результуюча сила, рівна різниці між силами, що діють на круг унаслідок несиметрії різальних зерен щодо центральної осі абразивного армованого круга. Додатково слід враховувати дисбаланс круга, неточність його закріплення на осі приводної машини, а у разі ручної приводної машини – і неминучі поперечні коливання машини в руках працюючого. Сукупність цих причин призводить до складного коливального руху круга щодо площини пропилу. При подачі круг рухається поступально, а сукупність поступального і коливального рухів призводить до синусоїдального. В процесі руху різальної кромки в глибину металу утворюється поверхня різку синусоїдальної форми, що створює додаткові передумови для зіткнення бічних по-

верхонь круга з поверхнею різку, тобто до появи затискальних сил.

Відмінності в характері процесів, що протікають у результаті контакту абразивних армованих кругів із гладкими і шорсткими бічними поверхнями. У першому випадку має місце тертя і деформація кінцями абразивних зерен металу в поверхні пропилу. При різанні металу менше 5 % енергії витрачається безпосередньо на зняття стружки, решта енергії – на її деформацію. В результаті цього виділяється тепло в зоні «бічна поверхня круга – поверхня різку». При зіткненні шорсткої поверхні абразивного армованого круга з поверхнею пропилу картина якісно інша. Оскільки абразивні зерна виступають із зв'язки на висоту порядку 1/3...1/4 лінійного розміру, вони можуть здійснювати зняття стружки. В цьому випадку основна частина енергії йде на її подальшу деформацію, тому щільність теплового потоку практично не відрізняється при роботі шорсткою і гладкою бічними поверхнями. Проте внаслідок видалення стружки потік тепла тепер перерозподіляється між металом, кругом і стружкою, тобто більша кількість тепла надходить в метал і круг із гладкою бічною поверхнею, ніж з шорсткою. Враховуючи, що при різанні кругами з гладкими поверхнями виникають вищі температури, якість поверхні різку при використуванні кругів із шорсткими поверхнями вище. Ще однією перевагою кругів із шорсткими бічними поверхнями є те, що вони здійснюють мікрорізання виступними абразивними зернами і відповідно величина пропилу ширша, ніж у кругів із гладкими бічними поверхнями, тобто утворюється більший простір для коливань круга і, як наслідок, зменшується величина сил, що притискають бічні поверхні круга до пропилу. У міру просування круга в глибину металу виступні бічні зерна перешкоджають затисканню круга внаслідок знімання металу з поверхні пропилу. На практиці абразивні армовані круги з шорсткими бічними поверхнями не затискаються.

Розглянемо ще одну важливу перевагу кругів із шорсткими бічними поверхнями. Із збільшенням глибини різання абразивні круги з гладкою поверхнею втрачають міцність і навіть працездатність. При різанні кругами з шорсткими бічними поверхнями зменшується тепло в системі і вони залишаються працездатними.

Таким чином, для виконання відрізних операцій на монтажних роботах рекомендується використовувати абразивні армовані круги з шорсткими бічними поверхнями.

На рис. 3 показані залежності зносостійкості абразивних армованих кругів від жорсткості шпиндельного вузла, одержані при роботі в ідентичних умовах ручною шліфувальною машиною (І зона), маятниковою пилою (ІІ зона) і на стаціонарному верстаті (ІІІ зона). Із залежностей виходить, що економічно доцільно використовувати для різання привідні машини, що мають максимальну жорсткість шпиндельного вузла. У зв'язку з цим ручні кутошліфувальні машини слід застосовувати тільки у випадках, якщо абразивний армований круг не можна встановити на машину з більшою жорсткістю шпиндельного вузла, зокрема, маятникову пилу.

Абразивні армовані круги повинні зберігатися в опалювальних приміщеннях із відносною вологістю не більше 85 %.

Міцність і зносостійкість кругів зменшується при знаходженні їх в зоні від'ємних температур. Це пояснюється тим, що вода, яка знаходиться в порах полімерної композиції, при замерзанні розширюється, порушуючи структуру

круга і утворюючи мікротріщини. Із збільшенням циклів «заморожування-розморожування» вказані показники майже лінійно погіршуються. Крім того, круги необхідно захищати від прямого попадання вологи.

Абразивні армовані круги є універсальним інструментом багатоцільового призначення. Проте при видаленні ними іржі і лакофарбних покриттів із тонколистового металу, а також зачищенні навколошовної зони зварюваних труб одночасно відбувається і знімання основного металу, що неприпустимо. З метою підвищення продуктивності праці і якості обробки металевих і неметалевих поверхонь НДІмехмонтаж розроблений принципово новий абразивний інструмент, що поєднує переваги обробки металевими щітками, фібровими і пелюстковими дисками. Він є щіткою дискової форми, що складається з полімерних ниток діаметром 0,9–1,1 мм, наповнених абразивом (електрокорунд або карбід кремнію) зернистістю 80–120 мкм. Виготовлення полімерних волокон і наповнення їх абразивом здійснюється методом екструзування. З одержаних волокон, зміцнених і гофрованих, виготовляються дискові полімерно-абразивні щітки (рис. 4, а).

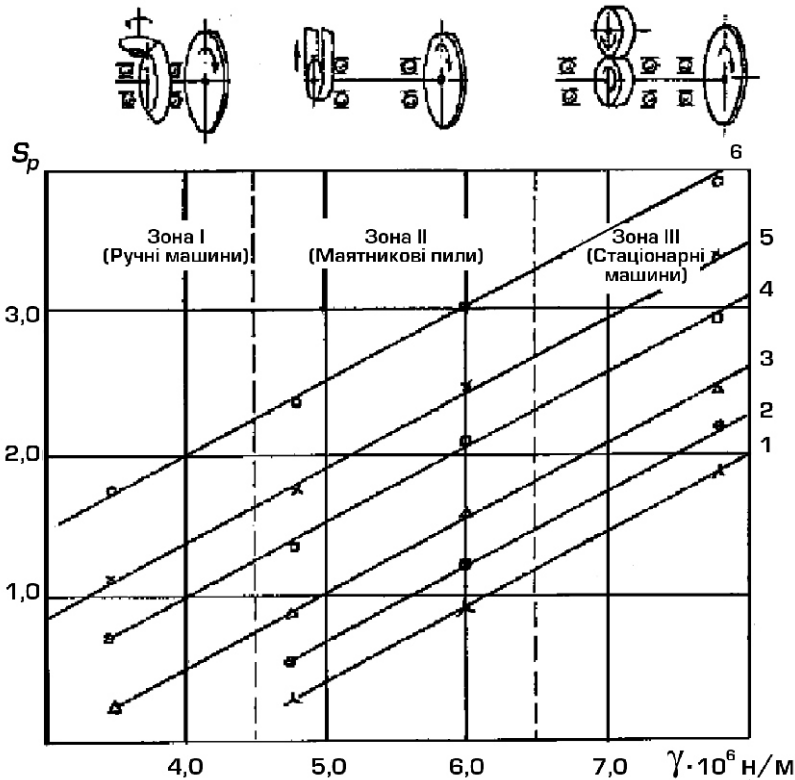


Рис. 3. Залежності зносостійкості кругів S_p від жорсткості шпиндельного вузла :

1, 3, 5 – $V_p = 60$ м/с; 2, 4, 6 – $V_p = 80$ м/с; 1, 2 – різання труби 57 4 мм; 3, 4 – різання труби 27 3 мм; 5, 6 – різання труби 21,3 3,2 мм.

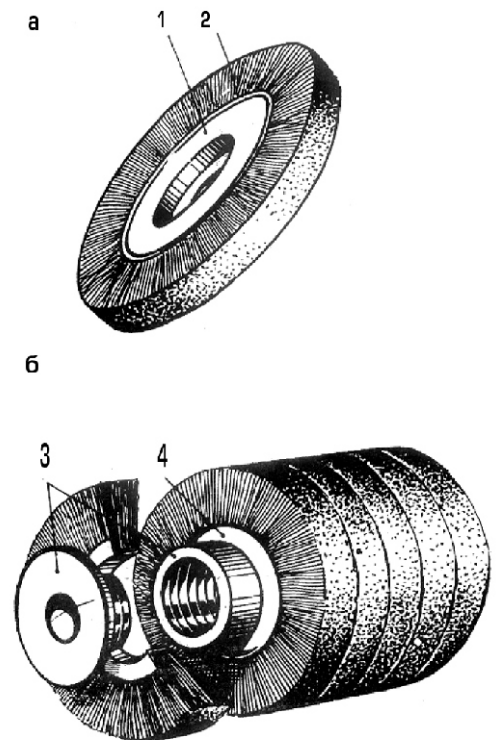


Рис. 4. Полімерно-абразивні щітки:

а – дискова; б – пакет щіток; 1 – волокна; 2 – затискний фланець; 3 – кільцева заклепка; 4 – оправка

Для обробки металевих поверхонь виготовляють полімерно-абразивні щітки діаметром 125 і 150 мм заввишки 10 мм. Для досягнення вищої продуктивності обробка може здійснюватися одночасно п'ятьма щітками, зібраними на спеціальній оправці (рис. 4, 6). Полімерно-абразивні щітки рекомендується експлуатувати з ручними кутошліфувальними машинами.

Висока еластичність волокон дає можливість обробляти вироби складної конфігурації з невеликим радіусом кривизни. При цьому в порівнянні з обробкою металевими щітками значно поліпшуються умови праці і підвищується її безпека завдяки зменшенню навантаження на рукоятки ручних шліфувальних машин, що використовуються для приводу щіток.

У порівнянні з металевими полімерно-абразивні щітки мають ще одну істотну перевагу,

яка полягає у тому, що після обробки ними не утворюються борозни і іржа на виробах з легированих сталей, кольорових металів і природного каменя. Це, зокрема, дуже важливо при обробці навколошовної зони зварюваних труб із легированих сталей, від якості поверхні яких залежить міцність і надійність зварного з'єднання. Полімерно-абразивні щітки самоочищуються в процесі роботи на відміну від абразивних дисків на фібровій основі, які в результаті накопичення в міжзерновому просторі продуктів руйнування втрачають різальну здатність. При обробці металевих поверхонь полімерно-абразивними щітками досягається 7–8-й клас чистоти, чого неможливо досягти за допомогою металевих щіток, фібрових і пелюсткових дисків.

Надійшла 04.09.2008 р.

Книжковий огляд

ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

за матеріалами Міжнародної конференції, що проходила 24 – 26 квітня 2008 року на базі Університету Мішкольц, Угорщина

Під редакцією: Каролі Ярмаї, Йозеф Фаркаш

У збірнику містяться доповіді 69 доповідачів із більш як 20 країн за такими тематичними групами: оптимізація конструкцій, моделювання втоми, несучі конструкції, листові конструкції, залишкові напруження та деформації в зоні зварювання, статичні напруження у зварних з'єднаннях, замкнуті профілі, технологія зварювання, прикладна механіка.

Міжнародний інститут зварювання (IIW), численні спонсори та організатори конференції уклали зібрання наукових праць, які містять важливу інформацію з авторитетних джерел, призначену для інженерів-будівельників та інженерів-механіків, архітекторів, проектувальників та виробників, а також керівників підприємств різних галузей промисловості, в тому числі будівництва, транспорту, перероблення матеріалів, суднобудування, авіаційної, машинобудівної та хімічної промисловості.

Значна частина досліджень стосується оптимізації конструкцій, на основі якої розроблено оптимальну систему проектування, в якій безпека та надійність конструкцій гарантовані на підставі дотримання проектних та виробничих обмежень, а економічна ефективність досягається за рахунок мінімізації функції вартості.

Дослідження, що увійшли до зазначеного розділу, демонструють також практику використання цього методу оптимізації, яка використовується у багатьох країнах.

Матеріали доповідей можуть надати практичну допомогу конструкторам, проектувальникам, виробникам, керівникам підприємств та дослідникам у проектуванні та виготовленні конкурентоспроможних зварних конструкцій.



Ярмаї К., Фаркаш Й: Проектування, виготовлення та економічна ефективність зварних конструкцій: Матеріали Міжнародної конференції, Мішкольц, Угорщина, 2008, 24 – 26 квітня,

Хорвуд Паблішерс, Чичестер, Великобританія, 2008. 582 стор. ISBN: 978-1-904275-27-5

<http://www.horwoodpublishing.net>

Вітаємо з 50-річчям

ОЛЕКСАНДРА ІВАНОВИЧА ГОЛОДНОВА

**доктора технічних наук, ученого секретаря
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського»,
члена редакційної колегії журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди»**

Голоднов О.І. закінчив з відзнакою Комунарський гірничо-металургійний інститут за спеціальністю «промислове та цивільне будівництво». Працював на кафедрі будівельних конструкцій КГМІ, у Луганській філії НДІБВ, Донбаському гірничо-металургійному інституті, НДІБК Держбуду України.

З 2006 р. по теперішній час обіймає посади ученого секретаря ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» та завідувача відділу будівельних конструкцій інституту.

Олександр Іванович знаний висококваліфікований спеціаліст у галузі проектування. За його участі були запроєктовані об'єкти широкого призначення, серед яких:

- навис над трибунами стагіону «Ювілейний» у місті Кіровську Донецької області;
- торговельний будинок у місті Стаханові Луганської області;
- торговельний павільйон у місті Кіровську Луганської області;
- цех опалубки і оснащення та конструкція навісу комерційного складу в аеропорту міста Сочі (Російська Федерація);
- проекти підсилення будівельних конструкцій житлових і громадських будинків міст Алчевська, Стаханова, Луганська, Києва тощо.

Голоднов О.І. брав участь у виконанні науково-дослідних тем на замовлення Міносвіти України: «Розроблення технології виготовлення і методів розрахунку металевих стержнів і пластин, попередньо напружених локальними термічними впливами», «Розроблення ефективних методів прогнозування і



підвищення ресурсу зварних конструкцій на основі створення принципово нових підходів до діагностики, підвищення міцності і регулювання напружено-деформованих станів з'єднань»; робіт із розроблення типових програм оцінки технічного стану та перепризначення ресурсу будівельних об'єктів атомної енергетики на замовлення ДП НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ»; робіт із обстеження, визначення технічного стану та розробки рекомендацій щодо подальшої безпечної експлуатації будівельних конструкцій промислових і цивільних об'єктів у Луганській,

Донецькій, Харківській, Київській областях (ВАТ «Алчевський металургійний комбінат», Луганського ливарно-механічного заводу, Зміївської ТЕС тощо).

Як учений секретар і завідувач аспірантури та докторантури ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» Олександр Іванович веде активну педагогічну діяльність, бере участь у підготовці та атестації наукових кадрів.

Голоднов О.І. має понад 130 опублікованих наукових праць, у тому числі дві монографії, один посібник, три авторські свідоцтва про винаходи, навчально-методичні роботи.

Дійсний член Академії будівництва України.

Олександр Іванович має авторитет і повагу широкого кола науковців, проектувальників та будівельників.

Нагороджений Подякою Київського міського голови, відзнакою Української державної корпорації «Укрмонтажспецбуд» третього ступеня, Почесною грамотою Мінрегіонбуду України, Почесною грамотою Академії будівництва України.

**Щиро вітаємо ювіляра, бажаємо йому міцного здоров'я, довголіття, нових творчих досягнень
Друзі, колеги, рідколегія**

ДО ВІДОМА ДОПИСУВАЧІВ ЖУРНАЛУ !

Вимоги щодо публікації статей:

- Текст статті в електронному виді, фото авторів, авторська довідка (для наукових статей ще анотація мовою статті та англійською, ключові слова, УДК), підготовлені у Microsoft Word, а також у роздрукованому виді.
- Ілюстрації надаються підготовленими у Adobe Photoshop або Microsoft Word, Excel чи на паперових носіях для сканування. Формат надання – tif, eps, jpg, psx – 300 dpi.
- Роздрукований текст статті підписується усіма авторами, електронні та роздруковані варіанти повинні бути ідентичними.
- 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.

ДО ВІДОМА РЕКЛАМОДАВЦІВ !

Вартість розміщення реклами (з урахуванням ПДВ та податку на рекламу)

Формат	Розміри, мм		Одноколірна, ціна ум. од.	Двоколірна, ціна ум. од.	Багатоколірна, ціна ум. од.
A4	185 x 270		150	300	450
1/2 A4	85 x 270	185 x 130	75	150	240
1/4 A4	85 x 130	185 x 60	40	75	130
1/8 A4	85 x 60		20	40	

ОБКЛАДИНКА (190 x 220 мм):

- 1-а сторінка – 700 ум. од.
- 2-а сторінка – 600 ум. од.
- 3-я сторінка – 500 ум. од.
- 4-а сторінка – 500 ум. од.

**ЖУРНАЛ НА 2010 р. МОЖНА ПЕРЕДПЛАТИТИ
У БУДЬ-ЯКОМУ ВІДДІЛЕННІ ДП «ПРЕСА»
(передплатний індекс – 98848)
АБО ЗАМОВИТИ У РЕДАКЦІЇ ЖУРНАЛУ**

Видавець ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського»

Рекомендовано до друку вченою радою ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» (протокол № 5 від 27.08.2009 р.)

Адреса редакції та видавця: просп. Визволителів, 1, Київ, 02660,
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського»

тел. (044) 516-52-85, e-mail: redakpbis@urdisc.com.ua

Оригінал-макет підготовлений редакцією журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди»

Комп'ютерна верстка – **Цапро Т.І.**

Дизайн обкладинки – **Кучер А.В.**

Підписано до друку 27.08.2009 р. Формат 60 84/8. Папір крейдяний. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 8,1.

Тираж 300 прим.

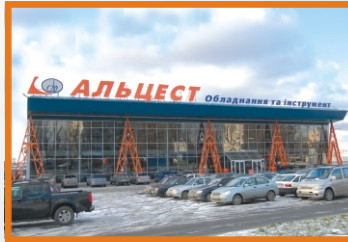
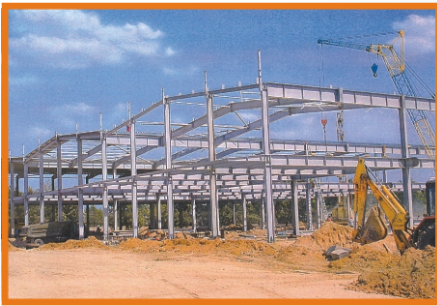
Віддруковано ПП «Видавництво «Досконалий друк», вул. Академіка Заболотного, 20-А, м. Київ, тел. 490-33-12

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1587 від 02.12.2003 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

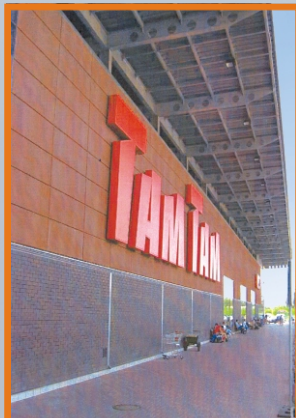


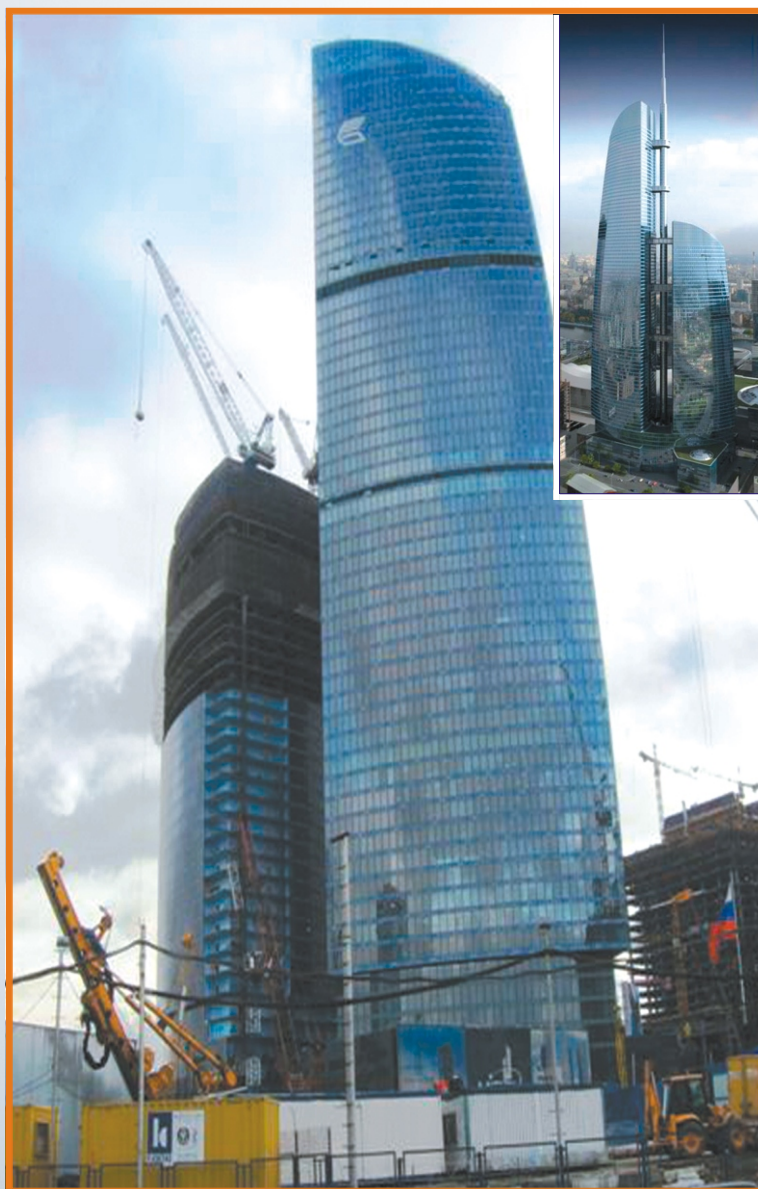
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА ПРОЄКТНИЙ ВІДДІЛ ЦИВІЛЬНИХ І ПРОМИСЛОВИХ СПОРУД



Науково-дослідний та проєктний відділ цивільних і промислових споруд ВАТ «УкрНДПроектСтальконструкція ім. В.М. Шимановського» протягом 2005–2009 років розробив проєкти металокаркасних споруд цивільного призначення:

- торговельні центри «Епіцентр», «Альцест», «Нова лінія», «Термінал», «Там-Там», «Магелан», «Караван» у м. Києві та в інших містах України;
- приміський вокзал у м. Києві;
- багатоповерховий житловий будинок у м. Донецьку;
- гараж-стоянка для автомобілів у м. Києві;
- вертолітна площадка на даху Центру серця та споруда купола Інституту нейрохірургії у м. Києві.





Фахівці науково-дослідного та проектного відділу цивільних та промислових споруд Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського беруть участь у проектуванні несучих конструкцій комплексу «Федерація» у м. Москві.

Великий досвід проектування і реалізації проектів об'єктів цивільного призначення, який має відділ, гарантує замовникові високу якість та надійність будівель.

пр. Визволителів, 1, м. Київ, 02660,
тел. (044) 516-55-83, 543-98-62
e-mail: harchenko@urdisc.com.ua