

**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.  
Гордеев В.М., д.т.н., проф.  
Єгоров Є.А., д.т.н., проф.  
Єрмак Є.М., 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.  
Мушанов 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)  
Кавачучі 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., к.т.н. (Казахстан)  
Шугаєв В.В., д.т.н., проф. (Росія)  
Янковяк Р., д.т.н., проф. (Польща)



**4'2008**

**ПРОМИСЛОВЕ  
БУДІВНИЦТВО  
ТА ІНЖЕНЕРНІ  
СПОРУДИ**

Виходить 4 рази на рік

Заснований у листопаді 2007 року

**ЗМІСТ**

**НОРМАТИВНА БАЗА**

**В.П. Адріанов, Д.В. Барзилович**  
НОРМАТИВНА БАЗА З ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ  
У ГАЛУЗІ МОНТАЖНОГО ВИРОБНИЦТВА . . . . . 2

**НАУКА – ВИРОБНИЦТВУ**

**О.В. Шимановський, В.В. Шалінський**  
ОСОБЛИВОСТІ ТЕОРІЇ СТІЙКОСТІ ПРУЖНОПЛАСТИЧНИХ НИТОК  
СКІНЧЕНОЇ ЖОРСТКОСТІ ІЗ НЕСИМЕТРИЧНИМ ПОПЕРЕЧНИМ ПЕРЕРІЗОМ . . . . . 5  
**Р. Янковяк, Я. Жмуда**  
ПЕРЕДАВАРІЙНИЙ СТАН СТАЛЕВОЇ РЕШІТЧАСТОЇ СТРИЛИ . . . . . 10  
**Д.Г. Зеленцов, Н.Ю. Науменко**  
НАПІВАНАЛІТИЧНІ АЛГОРИТМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ  
СИСТЕМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ У ЗАДАЧАХ ДОВГОВІЧНОСТІ  
КОРОДУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ . . . . . 14

**КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

**Е.И. Сосновский**  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ BricsCAD BonusTools  
ДЛЯ ОФОРМЛЕНИЯ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ КМ И КМД . . . . . 19

**РЕКОНСТРУКЦІЯ**

**В.Г. Кваша**  
ЗАСТОСУВАННЯ МОНОЛІТНОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ НАКЛАДНОЇ ПЛИТИ  
ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ БАЛКОВИХ АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ . . . . . 24

**ПРОФІЛІ МЕТАЛЕВІ ГНУТІ**

**В.И. Большаков, О.П. Носенко, С.В. Сильвестров,  
М.Л. Гринберг, А.Ю. Тимофеев, В.И. Сняговский**  
ПРОФИЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ ТРУБЫ КВАДРАТНОГО  
И ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ.  
ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ . . . . . 32

**ОБОЛОНКОВІ КОНСТРУКЦІЇ**

**О.С. Юсилевич**  
КОНСТРУКТИВНІ КРИТЕРІЇ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КУПОЛА  
КОЖУХА ДОМЕННОЇ ПЕЧІ . . . . . 38

**МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД**

**О.І. Голоднов, А.А. Гром**  
ІХ УКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
«МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ: СЬОГОДЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ». . . . . 42  
**О.В. Шимановський, В.М. Гордеев**  
СИМПОЗИУМ МІЖНАРОДНОЇ АСОЦІАЦІЇ  
З ОБОЛОНКОВИХ ТА ПРОСТОРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ (IASS) 2008 РОКУ . . . . . 46

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

## НОРМАТИВНА БАЗА З ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ У ГАЛУЗІ МОНТАЖНОГО ВИРОБНИЦТВА



**В.П. Адріанов**  
віце-президент  
державної корпорації  
«Укрмонтажспецбуд»



**Д.В. Барзилович**  
нач. управління технічного  
регулювання у будівництві  
Мінрегіонбуду України

У системі нормативного забезпечення будівництва крім національних стандартів та державних будівельних норм України має місце значний перелік галузевих нормативів із технологічного проектування.

Термін «технологічне проектування» з'явився на початку 70-х років минулого століття у період бурхливого розвитку будівництва великих виробничих комплексів та складних інженерних споруд. У таких базових галузях економіки, як металургія, енергетика, хімія, виробництво міндобриб, нафтопереробка, зв'язок, машинобудування при спорудженні нових об'єктів та проведенні модернізації діючих виробництв все частіше використовувалось нове прогресивне технологічне обладнання як вітчизняного виробництва, так і провідних західних фірм, сучасні системи інженерного забезпечення та управління виробничими процесами.

Перед спеціалізованими будівельно-монтажними організаціями постало завдання з прискореного опанування нових технологічних процесів під час монтажу будівельних конструкцій, трубопроводів, устаткування систем енергозабезпечення; зварювання із нових марок сталей; використання нових будівельних матеріалів та принципово нової вантажопідіймальної техніки.

З цією метою у профільних будівельних міністерствах – Мінважбуді, Мінпромбуді, Мінмонтажспецбуді, Мінсільбуді – були створені проектно-технологічні та проектно-конструкторські організації, які взяли на себе розробку і впровадження нових будівельних технологій.

У цей період на будовах України вперше були використані такі досягнення технічного прогресу у будівельній галузі, як великоблоковий монтаж конструкцій і обладнання, конвеєрний метод монтажу, індустріальний метод монтажу трубопровідних систем, а також апробовані будівельні вироби з полімерів та інші. Бурхливе опанування будівельних новацій, які давали значний економічний ефект як замовникам, так і безпосередньо будівельним організаціям, вимагало нормативного закріплення цих новацій для подальшого їх використання під час проектування, інженерної підготовки виробництва, виготовлення та постачання конструкцій і матеріалів, виконання робіт.

Протягом 70–80-х років минулого століття інститутами будівельних міністерств була розроблена велика кількість нормативних документів із технологічного проектування – відомчих будівельних норм, галузевих стандартів, керівних технічних документів. У деяких випадках будівельні нормативи розроблялись і затверджувались декількома міністерствами (будівельниками і замовниками) з метою врахування особливостей спорудження об'єктів конкретної галузі промисловості. Наприклад, ВСН 453-84/ВСН 215-84 Мінмонтажспецбуду СРСР і Міннафтохімпрому СРСР «Инструкция по разработке проектной документации для строительства объектов нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности с применением блоков. Технология производства».

Відомчі нормативи з технологічного проектування розроблялись головним чином за принципом спеціалізації виконуваних будівельних робіт.

Так, у системі Мінмонтажспецбуду з урахуванням позитивного досвіду в металобудівництві на рівні нормативів були визначені технології з монтажу: конструкцій промислових будівель і споруд (МСН 246-70), сталевих циліндричних резервуарів для зберігання нафти об'ємом до 50000 м<sup>3</sup> (ВСН 311-89), металевих конструкцій на високоміцних болтах (ОСТ 36-72-82), конструкцій із використанням гелікоптерів (ВСН 463-85) та багато інших.

У галузі електромонтажного виробництва були розроблені нормативні документи з проектування силового і освітлювального електрообладнання промислових підприємств (СН 357-77), монтажу контактних мереж промислового і міського електрофікованого транспорту (ВСН 13-77) та силових трансформаторів напругою до 110 кВ (ВСН 342-75), проектування електроустановок систем автоматизації технологічних процесів (ВСН 205-84), прокладання кабелів напругою до 110 кВ (СН 85-74), а також інструкція з організації робіт із монтажу систем автоматизації та зв'язку (РТМ-36.22.2.87) та інші.

Особливості монтажу технологічного обладнання прокатних станів, сталеплавильних і доменних цехів, збагачувальних і агломераційних фабрик підприємств металургійної промисловості були викладені відповідно у ВСН 395-85, ВСН 396-85, ВСН 398-87 та ВСН 406-87.

Були також розроблені нормативи з монтажу обладнання для підприємств текстильної промисловості (ОСТ 36-120-85), м'ясо-молочної промисловості (ВСН 218-85), хімічної промисловості (ВСН 482-86), а також з монтажу дизелів (ВСН 71-84), посудин і апаратів колонного типу (ВСН 351-88), компресорів та насосів (ВСН 351-88), підйомно-транспортного обладнання (ВСН 413-80).

Вітчизняний досвід практиків і науковців, особливо Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, щодо застосування обладнання, матеріалів і систем контролю при зварюванні у будівництві викладений у таких нормативах, як ОСТ 36-6081 – зварювання під час монтажу сталевих будівельних конструкцій, ОСТ 36-50-86 – термічна обробка зварювальних з'єднань сталевих технологічних трубопроводів, ОСТ 36-145-88 – автоматичне дугове зварювання трубопроводів під флюсом, ОСТ 36-59-81, ОСТ 36-75-83, ОСТ 36-76-83 – радіографічний ультразвуковий та кольоровий методи неруйнівного контролю зварних з'єднань трубопроводів і конструкцій тощо.

Розроблені також нормативи з технології виконання сантехнічних, вогнетривких, протикорозійних, теплоізоляційних робіт, прокладання трубопроводів зі скла, улаштування фундаментів із паль та інших видів спеціальних будівельних робіт.

Тільки в системі Мінмонтажспецбуду було розроблено і надано чинності біля 200 найменувань галузевих норм і стандартів.

**Нормативні документи з технологічного проектування колишнього СРСР у галузі монтажних і спеціальних будівельних робіт**

Види робіт	Кількість нормативів (ВСН, ОСТ, СН, РТМ)
Виготовлення і монтаж металевих будівельних конструкцій	14
Електромонтажні роботи	24
Монтаж технологічного обладнання і технологічних трубопроводів	67
Вогнетривкі роботи	11
Теплоізоляційні роботи	11
Сантехнічні роботи	8

**Технологічне проектування етапів створення будівельної продукції у галузі монтажних і спеціальних будівельних робіт**

Етапи створення будівельної продукції	Кількість існуючих нормативів
Вимоги до розробки проектної документації	15
Вимоги до розробки проектів виконання робіт	14
Вимоги до конструкцій і виробів для будівництва	31
Вимоги до дотримання технологічних процесів у будівництві	65
Визначення норм забезпечення засобами механізації і інструментами, матеріалами, а також заходів із дотримання необхідного рівня якості виконуваних робіт	20

Нормативна база з технологічного проектування використовувалась на постійній основі як будівельно-монтажними організаціями, так і

генеральними проектувальниками при розробленні розділу проектної документації «Проект організації виробництва», підприємствами – при проведенні технічного переозброєння і ремонтних робіт власними силами, а також державними наглядовими і контролюючими органами при впровадженні дозвільної системи у будівництві (ліцензування) та перевірці ними дотримання технології виконання будівельних робіт на споруджуваних об'єктах.

Після отримання Україною незалежності нормативи з технологічного проектування продовжили свою дію у практиці будівництва. Так, нормативна база у галузі монтажних і спеціальних будівельних робіт була сконцентрована у державній будівельній корпорації «Укрмонтажспецбуд», яка стала правонаступницею Мінмонтажспецбуду України. Безпосередньо у самій корпорації зберігання, супровід та розповсюдження нормативів було доручено технічному комітету «Спецмонтаж».

Існування на початку 90-х років Державного інноваційного фонду дозволило державним будівельним корпораціям переглянути частину нормативних документів із урахуванням впровадження ринкових відносин на будівельному ринку України. Однак через недостатнє бюджетне фінансування ця робота була припинена, а Фонд ліквідовано.

На початку нового тисячоліття з'явилися позитивні тенденції щодо зростання економіки. Було розпочато будівництво нових підприємств, а також модернізацію основних фондів у багатьох галузях народного господарства. Значного застосування набули нові матеріали, технології, засоби механізації, посилились чинники поступової інтеграції України до європейської спільноти і у зв'язку з цим розпочався процес удосконалення нормативної бази національного рівня у будівництві. З'явилась нагальна потреба в оновленні існуючих нормативів із технологічного проектування. Крім того, Уряд України призупинив з 01.01.2008 р. дію нормативів колишнього СРСР, які суперечать існуючій нормативно-правовій базі нашої держави.

Враховуючи всі ці обставини, Мінрегіонбуд України (наказ від 11.06.2008 р. № 242) прийняв рішення щодо надання державній корпорації «Укрмонтажспецбуд», у складі якої працюють наукові, проектні та проектно-технологічні інститути і яка є на сьогодні одним із найбільших будівельних об'єднань, певних повноважень щодо супроводу відомчої нормативної бази з технологічного проектування за такими напрямками: монтаж технологічного обладнання і технологічних трубопроводів, системи електропостачання, контрольно-вимірювальних приладів, автоматики, сигналізації, опалення та кондиціонування повітря; виготовлення і монтаж металевих конструкцій; виконання протикорозійних та вогнетривких робіт. Крім цього, корпорація виконує роботу з упорядкування існуючої відомчої нормативної бази у сфері монтажних і спеціальних будівельних робіт, затверджує план перегляду застарілих нормативних документів та визначає галузеві науково-технічні організації, які будуть залучатись до цієї важливої справи, серед яких ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського», ВАТ «Важпромелектропроект», ВАТ «Електроважхімпроект», ВАТ «Металургавтоматика», ЗАТ «НДІмехмонтаж», ДП «Укрпроектхімзахист», ДП «УкрНДІспецбуд», «Харківський сантехпроект» та інші.

Базовою організацією з утримання, обліку та розповсюдження відомчої нормативної бази у галузі монтажного виробництва визначений технічний комітет «Спецмонтаж» (м. Київ). З переліком чинних нормативів та тих, що переглядаються, з технологічного проектування можна ознайомитись на сайті корпорації «Укрмонтажспецбуд» [www.umsb.com.ua](http://www.umsb.com.ua).

На теперішній час у будівельній галузі розроблені і затверджені необхідні організаційні заходи щодо перегляду і удосконалення на сучасному і більш якісному рівні необхідних нормативних документів, які б відображали існуючий стан використання сучасних будівельних технологій при спорудженні промислових об'єктів та інженерих споруд.

Надійшла 03.11.2008 р.

УДК 539.3:624.071

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕОРІЇ СТІЙКОСТІ ПРУЖНОПЛАСТИЧНИХ НИТОК СКІНЧЕНОЇ ЖОРСТКОСТІ ІЗ НЕСИМЕТРИЧНИМ ПОПЕРЕЧНИМ ПЕРЕРІЗОМ

Розглядається стійкість плоскої форми вигину пружнопластичних ниток скінченної жорсткості з несиметричним поперечним перерізом – швелерним із вертикальною і горизонтальною стінками. Представлені основні рівняння, які вирішують задачу, отримані на основі теорії пластичної течії за допомогою енергетичного критерію стійкості в формі Лагранжа-Діріхле. Описані результати виконаних досліджень.

**Ключові слова:** пружнопластичний, нитка скінченної жорсткості, потенційна енергія деформації.

**К**онструктивні елементи великопрогонових комбінованих висячих систем все частіше працюють поза межами пружності, а самі системи у цих випадках розраховуються за граничними навантаженнями. При цьому, якщо критичне навантаження менше граничного, саме стійкість визначає працездатність конструкції.

При роботі нитки скінченної жорсткості поза межами пружності по її довжині одночасно з пружними ділянками з'являються області, охоплені пластичними деформаціями. Тому потенційна енергія деформації нитки при втраті нею стійкості плоскої форми вигину буде складатися із суми енергій пружних та пластичних ділянок. Потенційну енергію деформації пружних ділянок можна визначити за формулою

$$W = \frac{1}{2} \int_{l_{np}} [EI (\varphi')^2 + GI_d (\theta')^2 + EI_z (v')^2] dx, \quad (1)$$

де  $EI$ ,  $GI_d$ ,  $EI_z$  – секторіальна, крутильна і згинальна жорсткості поперечного перерізу нитки відповідно;  $v$  – поступальні переміщення поперечних перерізів у горизонтальній площині;  $\varphi$  – кут повороту поперечних перерізів.

Для пластичних ділянок вираз потенційної енергії деформації замість (1) буде мати вид [1]

$$W = \frac{1}{2} \int_{l_{nl}} [EI (\varphi')^2 + GI_d (\theta')^2 + EI_z (v')^2] dx, \quad (2)$$

де  $EI$  і  $EI_z$  – приведені секторіальна і згинальна жорсткості поперечного перерізу відповідно.

При виведенні даної формули було враховано, що у випадку втрати стійкості плоскої форми вигину частина перерізу буде навантажуватися, а частина – розвантажуватися. Звідси, для визначення потенційної енергії деформації пластичних ділянок поперечного перерізу нитки необхідно визначити положення межі поділу зон навантаження і розвантаження.



**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»

Якщо для ниток із симетричним поперечним перерізом питання стійкості були розглянуті у роботах [1, 2], то у випадку несиметричного перерізу такі дослідження практично відсутні. Розглянемо поперечний переріз нитки із швелера з вертикальною стінкою (рис. 1), розміри якого знаходяться у межах співвідношень сортаменту металопрокату. У випадку односторонньої пластичності положення межі поділу зон навантаження і розвантаження  $m-m$  можна знайти, використавши відоме припущення, що при втраті стійкості плоскої форми вигину переміщення нитки в вертикальній площині відсутні [1]. Виходячи з цього, випучування відбувається при одній і тій же величині діючого у вертикальній площині згинального моменту, тобто його приріст рівний нулю. Припускаючи для визначеності, що навантаження відбувається в зоні  $F_{nl}$ , а розвантаження – в зоні  $F_{nl}$ , можна отримати:

$$(I_y^{np} - I_y) I_{yz} v = 0, \quad (3)$$

де  $I_y^{np}$  і  $I_y$  – моменти інерції відповідно пружного ядра і зони розвантаження  $F_{nl}$  відносно осі  $y$ ;  $I_{yz}$  – центробіжний момент інерції зони розвантаження  $F_{nl}$ ;  $v$  – кривини нитки відповідно у вертикальній і горизонтальній площинах.

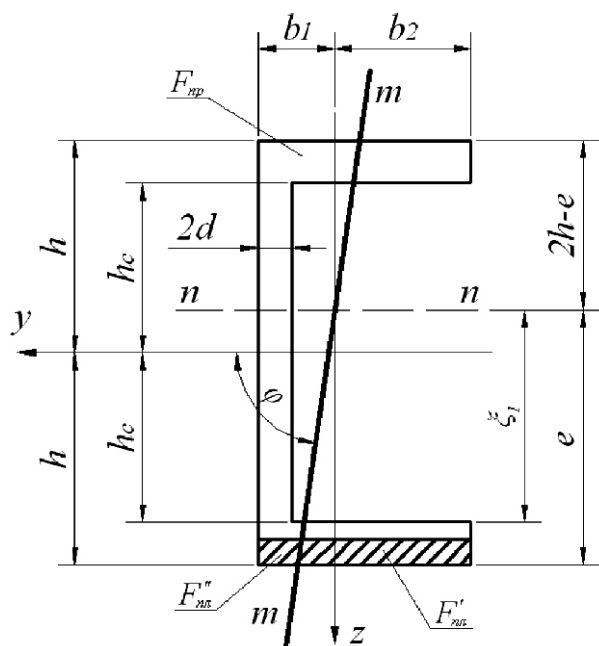


Рис. 1. Робота швелерного поперечного перерізу з вертикальною стінкою пружнопластичної нитки скінченної жорсткості при втраті нею стійкості плоскої форми вигину у випадку односторонньої пластичності

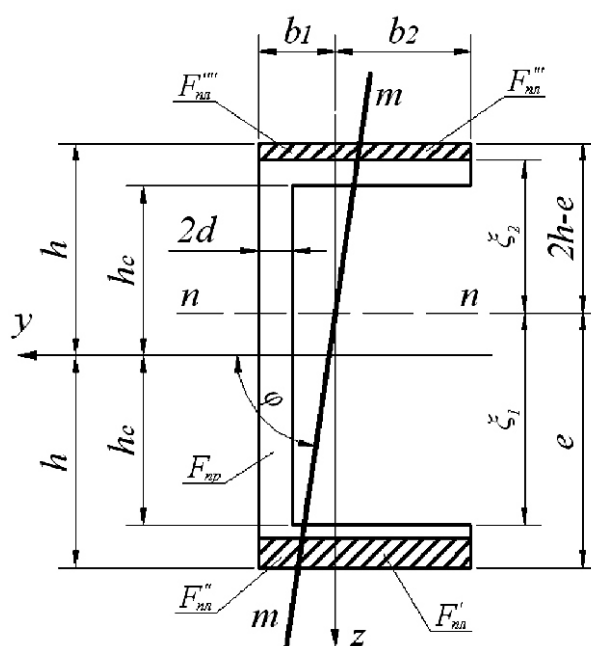


Рис. 2. Робота швелерного поперечного перерізу з вертикальною стінкою пружнопластичної нитки скінченної жорсткості при втраті нею стійкості плоскої форми вигину у випадку двосторонньої пластичності

Введемо до розгляду функцію

$\eta = \frac{1}{12} b_1^4 [3 \eta_1^4 + 4(2 - \eta_1)^3 + 6(\eta_1 - 2)^2 + 12 \eta_1^2 + 1(6 \eta_1^2 + 8 \eta_1 + 3) + 4(3 \eta_1^2 + 3 \eta_1 + 1)]$ , яка однозначно визначає положення межі поділу. Тоді значення функції  $\eta$  будуть знаходитись у межах  $0 \leq \eta \leq 1$ , а вирази для моментів інерції зони  $F_{nl}$  можна записати так:

$$I_y = \frac{1}{12} b_1^4 [3 \eta_1^4 + 4(2 - \eta_1)^3 + 6(\eta_1 - 2)^2 + 12 \eta_1^2 + 1(6 \eta_1^2 + 8 \eta_1 + 3) + 4(3 \eta_1^2 + 3 \eta_1 + 1)];$$

$$I_z = \frac{1}{12} b_1^4 [4(1 - \eta_1) + 1(1 - \eta_1^4)];$$

$$I_{yz} = \frac{1}{24} b_1^4 [3 \eta_1^2 + 4 \eta_1 + 6 \eta_1^3 + 12 \eta_1^2 + 1(4 \eta_1 + 3) + 6(2 - \eta_1)];$$

де  $\eta_1 = n/e$ ;  $\eta_2 = 1 - \eta_1$ ;  $\eta_3 = h/e$ .

Вирази моментів інерції пружного ядра запишуться наступним чином:

$$I_y^{np} = \frac{4}{3} d b_1^3 [3 \eta_1^3 + \frac{1}{3} (b_1^4 \eta_1^3 + b_2^4 \eta_2^3) + (3 \eta_1^3 + 3 \eta_1^2 + 3 \eta_1 + 2 \eta_1^3)];$$

$$I_z^{np} = \frac{4}{3} d b_1 [4 d^2 + 6 d b_1 + 3 b_1^2] \frac{1}{3} (b_1^4 \eta_1 + b_2^4 \eta_2) + (1 - 2 \eta_1^2);$$

де  $\eta_1 = h_c/e$ ;  $\eta_2 = 1$ ;  $\eta_3 = e/b_2$ .

Підстановка  $I_y^{np}$ ,  $I_y$ ,  $I_{yz}$  у співвідношення (3) після підсумовування коефіцієнтів при однакових степенях  $\eta$  приводить до розв'язувального рівняння

$$A_1 \eta^2 + A_2 \eta + A_3 = 0, \quad (4)$$

де

$$A_1 = 3(4 \eta_1^4 + 4 \eta_1^3 + 4 \eta_1^2 + 4 \eta_1 + 1);$$

$$A_2 = 32 b_1^4 d^3 + 8 b_1^4 b_2 (3 \eta_1^3 + 3 \eta_1^2 + 3 \eta_1 + 2 \eta_1^3) + 16(3 \eta_1^3 + \eta_1^3);$$

$$A_3 = 6(2 \eta_1^2 + \eta_1 + 2 \eta_1 + 1).$$

У випадку двосторонньої пластичності (рис. 2) з урахуванням припущення, що навантаження відбувається в зонах  $F_{nl}$  і  $F_{nl}$ , а розвантаження – в зонах  $F_{nl}$  і  $F_{nl}$ , замість співвідношення (3) можна отримати

$$(I_y^{np} - I_y - I_y) + (I_{yz} - I_{yz}) \nu = 0. \quad (5)$$

Моменти інерції для нижньої і верхньої зон розвантаження за умови  $0 \leq \eta \leq 1$ :

$$I_y = \frac{1}{12} b_1^4 [3 \eta_1^4 + 4(2 - \eta_1)^3 + 6(\eta_1 - 2)^2 + 12 \eta_1^2 + 1(6 \eta_1^2 + 8 \eta_1 + 3) + 4(3 \eta_1^2 + 3 \eta_1 + 1)];$$

$$I_z = \frac{1}{12} b_1^4 [4(1 - \eta_1) + 1(1 - \eta_1^4)];$$

$$I_{yz} = \frac{1}{24} b_1^4 \left[ 3 \left( \frac{2}{1} \frac{4}{1} \frac{4}{1} \right) + 4 \left( \frac{2}{1} \frac{3}{1} \frac{6}{1} \frac{2}{1} \frac{12}{1} \right) + \right. \\ \left. + 1(4 \quad 3) + 6(2 \quad 1) \right];$$

$$I_y = \frac{1}{12} b_2^4 \left[ 3 \left( \frac{2}{2} \frac{4}{2} \frac{4}{2} \right) + 4(2 \quad 2 \quad 1) \frac{3}{2} + 6 \left( \frac{2}{2} \frac{2}{2} \right) \frac{2}{2} \right. \\ \left. + 12 \frac{2}{2} \frac{2}{2} \frac{2}{2} (2 \quad 2 \quad 4 \quad 3) \frac{2}{2} + 4 \left( \frac{2}{2} \frac{2}{2} \right) \frac{1}{2} \right];$$

$$I_z = \frac{1}{12} b_2^4 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{4}{2} \right) + 8 \quad 4(1 \quad 2) \right];$$

$$I_{yz} = \frac{1}{24} b_2^4 \left[ 3 \left( \frac{2}{2} \frac{4}{2} \frac{4}{2} \right) + 4 \left( \frac{2}{2} \frac{3}{2} \frac{6}{2} \frac{2}{2} \frac{12}{2} \right) + \right. \\ \left. + 2 \left( \frac{4}{2} \frac{2}{2} \frac{3}{2} \frac{3}{2} \right) \frac{6}{2} \right],$$

де  $\frac{2}{2} = \frac{2}{2} / e$ ;  $\frac{2}{2} = \frac{2}{2} \text{ctg} \quad e \text{ctg} \quad / b_2$ .  
Для даного розрахункового випадку моменти інерції пружного ядра приймуть вид

$$I_y^{np} = \frac{4}{3} d b_1^3 \left( \frac{3}{1} \frac{3}{1} \frac{3}{1} \right) + \frac{1}{3} (b_1^4 \frac{3}{1} \quad b_2^4 \frac{3}{2}) \\ \left[ \frac{3}{1} \frac{3}{2} \frac{3}{3} \left( \frac{2}{1} \right) \right] + 3 \frac{2}{2} \left( \frac{1}{1} \frac{2}{2} \right) \frac{2}{3} \frac{3}{c}];$$

$$I_z^{np} = \frac{4}{3} d b_1 \frac{1}{c} (4d^2 + 6db_1 + 3b_1^2) + \frac{1}{3} (b_1^4 \frac{3}{1} \quad b_2^4 \frac{3}{2}) \\ \left( \frac{1}{1} \frac{2}{2} \frac{2}{2} \right) \frac{2}{c}.$$

Після підстановки  $I_y^{np}, I_y, I_z, I_{yz}, I_{yz}$  у співвідношення (5) і підсумовування коефіцієнтів при однакових степенях отримується розв'язувальне рівняння

$$B_1 \frac{2}{1} + B_2 \frac{1}{1} + B_3 = 0, \quad (6)$$

де

$$B_1 = 3 \left( \frac{4}{1} \frac{4}{2} \frac{4}{4} \right) + 4 \left( \frac{3}{1} \frac{3}{2} \right) + 4 \frac{2}{2} \left( \frac{2}{1} \frac{2}{2} \right) \\ + 8 \frac{2}{2} + 8 \frac{2}{2};$$

$$B_2 = 32 b_1^1 d \frac{3}{c} \\ + 8 b_1^1 b_2 \left( \frac{3}{1} \frac{3}{3} \frac{2}{1} \frac{3}{3} \frac{2}{1} \frac{3}{3} \frac{3}{2} \frac{3}{c} \right) \\ + 8 \left( \frac{3}{2} \frac{3}{3} \frac{2}{2} \frac{3}{2} \frac{2}{2} \frac{3}{3} \frac{3}{2} \frac{3}{c} \right);$$

$$B_3 = 6 b_1^2 b_2^2 \left( \frac{2}{2} \frac{2}{2} \frac{2}{2} \right) + 6 \left( \frac{2}{1} \frac{2}{2} \frac{1}{1} \right).$$

Якщо в співвідношеннях (4) і (6) припустити, що  $e=hi$ , то прийдемо до випадку втрати стійкості плоскої форми вигину пружнопластичних балок швелерного поперечного перерізу з вертикальною стінкою. При цьому реалізується стадія роботи тільки з двома областями пластичної деформації поперечного перерізу. Для цього випадку на рис. 3 наведений вид функції  $\omega_1(\zeta)$ , в якій параметр характеризує відносну висоту частини пружного ядра по-

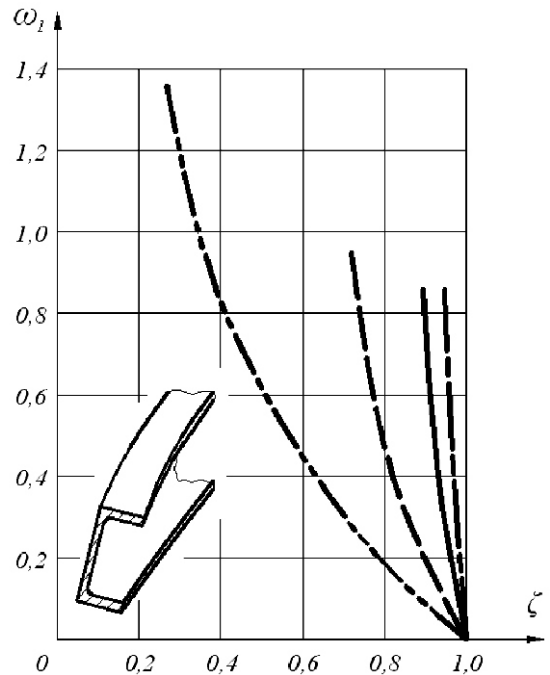


Рис. 3. Залежність між параметром  $\omega_1$  і функцією  $\zeta$  для пружнопластичної балки з поперечним перерізом із швелера з вертикальною стінкою:  
 — швелер 5П;  
 - - швелер 16П;  
 - · - швелер 30Л;  
 ···· прямокутний поперечний переріз

перечного перерізу швелерної балки, замкненої між нейтральною віссю та пластичною областю. Аналогічна задача вперше була розглянута Л.М. Качановим [2] для прямокутного поперечного перерізу, вигляд якої також для порівняння відображений на рис. 3. Таким чином, задача втрати стійкості плоскої форми вигину пружнопластичних балок являє собою частковий випадок задачі втрати стійкості плоскої форми вигину пружнопластичних ниток скінченної жорсткості, що розглядається у цій роботі.

Із аналізу наведених на рис. 3 графіків випливає, що в балках із швелерним поперечним перерізом при збільшенні площі областей пластичності кут нахилу межі поділу зростає значно швидше, ніж у випадку прямокутного поперечного перерізу. При детальному розгляді швелерної балки (наприклад, із поперечним перерізом 5П) поза межами пружності при втраті стійкості можна відмітити, що у неї кут нахилу межі поділу зростає приблизно у 2,5 раза швидше, ніж у балки з прямокутним поперечним перерізом. При  $\frac{1}{1} = 0,95$  полки даного швелера стають повністю пластичними. Для швелерів 16П і 30Л кут нахилу також зростає швидше,

порівняно з прямокутним поперечним перерізом, приблизно у 7 і 12 разів відповідно, а полки цих швелерів стають повністю пластичними при  $\alpha = 0,85$ . Також слід зазначити, що зростання кута нахилу межі поділу прямо пропорційне висоті швелера.

Розглянемо поперечний переріз нитки із швелера з горизонтальною стінкою (рис. 4), враховуючи, що його розміри знаходяться у межах співвідношень сортаменту металопрокату. Введемо до розгляду функції  $\sigma = \sigma(\xi)$  і  $\sigma = \sigma(\xi)$ , які в даному випадку визначають положення межі поділу.

Тоді у випадку односторонньої пластичності (рис. 4) при  $\alpha < 1$ , де  $\alpha = \frac{h_c}{h}$ , значення моментів інерції зони  $F_{nl}$  можна представити так:

$$I_y = \frac{1}{3}(h_c^4 + h^4)(\frac{3}{2} + 3\frac{h_c^2}{h^2} + 3\frac{h_c^3}{h^3} + \frac{3}{2});$$

$$I_z = \frac{1}{3}(h_c^4 + h^4)(\frac{2}{3});$$

$$I_{yz} = \frac{1}{4}(h_c^4 + h^4)(\frac{2}{3} + 2\frac{h_c^3}{h^3} + \frac{2}{3}),$$

де  $\alpha = h_c/h$ ;  $\xi_1 = 1$ ;  $\xi_2 = b_2/e$ .

Вирази для моментів інерції пружного ядра в даному випадку можна записати таким чином:

$$I_y^{np} = \frac{2}{3}h^4[\frac{3}{2} + 3\frac{h_c^2}{h^2} + 3\frac{h_c^3}{h^3} + \frac{1}{2}]$$

$$+ \frac{2}{3}h_c^4[\frac{3}{2} + 3\frac{h_c^2}{h^2} + 3\frac{h_c^3}{h^3} + (\frac{1}{2} + 2\frac{d}{h})^3];$$

$$I_z^{np} = \frac{2}{3}h^4(1 - \alpha^2) + \frac{2}{3}h_c^4(1 - \alpha^2 + 2\frac{d}{h}),$$

де  $d = d/e$ .

Виконавши далі підстановки і перетворення, аналогічні для швелерного поперечного перерізу з вертикальною стінкою, отримуємо рівняння для визначення функції

$$C_1 + C_2 = 0, \tag{7}$$

де

$$C_1 = 8[\frac{3}{2} + 3\frac{h_c^2}{h^2} + 3\frac{h_c^3}{h^3} + \frac{3}{2}] + 8h_c^4[\frac{3}{2} + 3\frac{h_c^2}{h^2} + 3\frac{h_c^3}{h^3} + 2(\frac{1}{2} + 2\frac{d}{h})^3 + \frac{3}{2}];$$

$$C_2 = 6(1 - h_c^2/h^2)(\frac{2}{3} + 2\frac{h_c^3}{h^3} + \frac{2}{3}).$$

При розгляді швелерного поперечного перерізу з горизонтальною стінкою, який має дві області пластичності (рис. 5), також припустимо,

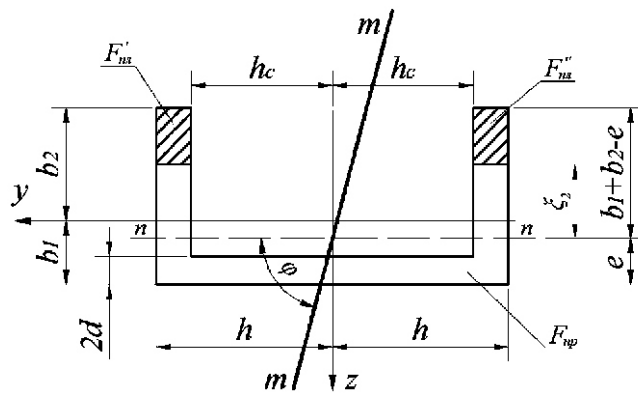


Рис. 4. Робота швелерного поперечного перерізу з горизонтальною стінкою пружнопластичної нитки скінченної жорсткості при втраті нею стійкості плоскої форми вигину у випадку односторонньої пластичності

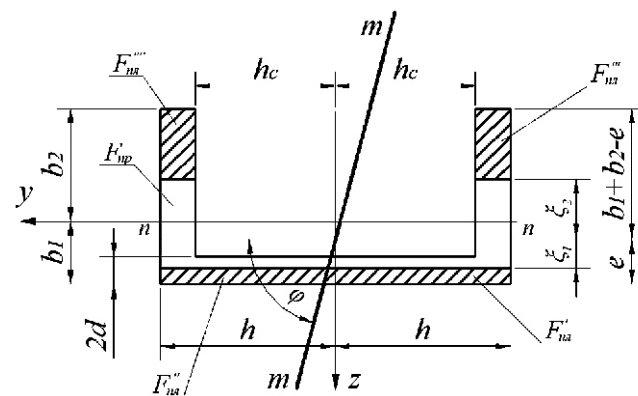


Рис. 5. Робота швелерного поперечного перерізу з горизонтальною стінкою пружнопластичної нитки скінченної жорсткості при втраті нею стійкості плоскої форми вигину у випадку двосторонньої пластичності

що навантаження відбувається в зонах  $F_{nl}$  і  $F_{nl}''$ , а розвантаження – в зонах  $F_{nl}'''$  і  $F_{nl}''''$ . Тоді у випадку  $\alpha < 1$  значення моментів інерції, які відповідають нижній і верхній зонам розвантаження, приймуть вид

$$I_y = \frac{1}{12}h^4 [3\frac{4}{1} + 4(2 - \alpha)^3 + 6(\frac{2}{1} - \alpha)^2 + 12\frac{2}{1} + (6 - 8\alpha + 3\alpha^2)4(3 - 3\alpha + 1)];$$

$$I_z = \frac{1}{12}h^4 [4(1 - \alpha)^3 + (1 - \alpha^4)];$$

$$I_{yz} = \frac{1}{24}h^4 [3\frac{2}{1} + 4\frac{4}{1} + 2\frac{3}{1} + 6\frac{2}{1} + 12\frac{1}{1} + (4 - 3\alpha)6(2 - \alpha)];$$

$$I_y = \frac{1}{3}(h_c^4 + h^4)(\frac{3}{2} + 3\frac{h_c^2}{h^2} + 3\frac{h_c^3}{h^3} + \frac{3}{2});$$

$$I_z = \frac{1}{3}(h_c^4 + h^4)(\frac{2}{3});$$



$$I_{yz} = \frac{1}{4} (h_c^4 - h^4) \left( \frac{2}{3} \left( \frac{2}{3} \right)^2 + \frac{2}{3} \right),$$

де  $\eta = e / e_0$ ;  $\eta = 1 - \eta_0$ .

Вирази для моментів інерції пружного ядра швелерного перерізу з горизонтальною стінкою у випадку двосторонньої пластичності записуються у виді

$$I_y^{np} = \frac{2}{3} h_c^4 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{2}{3} \right)^2 + \frac{3}{2} \left( \frac{2}{3} \right)^2 \right] + \frac{2}{3} h_c^4 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{2}{3} \right)^2 + \frac{3}{2} \left( \frac{2}{3} \right)^2 \right] + \frac{2}{3} h_c^4 \left( \frac{2}{3} \right)^2 \left( \frac{2}{3} \right)^2;$$

$$I_z^{np} = \frac{2}{3} h_c^4 \left( \frac{2}{3} \right)^2 + \frac{2}{3} h_c^4 \left( \frac{2}{3} \right)^2.$$

Підставляючи  $I_y^{np}$  і відповідні співвідношення  $I_y, I_z, I_{yz}$  у (5), можна отримати рівняння для визначення значень функції

$$D_1 \eta^2 + D_2 \eta + D_3 = 0, \quad (8)$$

де

$$D_1 = 3 \left( \frac{4}{3} \eta^4 + \frac{4}{3} \eta^3 + \frac{4}{3} \eta^2 + \frac{4}{3} \eta + 1 \right);$$

$$D_2 = 8 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{2}{3} \right)^2 + \frac{3}{2} \left( \frac{2}{3} \right)^2 \right] + \frac{3}{2} \left( \frac{2}{3} \right)^2 + \frac{3}{2} \left( \frac{2}{3} \right)^2 + 2 \left( \frac{2}{3} \right)^2 \eta^3;$$

$$D_3 = 6 \left[ \frac{2}{3} \left( \frac{2}{3} \right)^2 + \frac{2}{3} \left( \frac{2}{3} \right)^2 \right] + \frac{2}{3} \left( \frac{2}{3} \right)^2 + \frac{2}{3} \left( \frac{2}{3} \right)^2.$$

Якщо в співвідношеннях (7) і (8) припустити, що  $e = b_1 i_1$ , то прийдемо до випадку втрати стійкості плоскої форми вигину пружнопластичних балок швелерного поперечного перерізу з горизонтальною стінкою. Для цього випадку на рис. 6 наведена функція  $\omega(\zeta)$ , в якій параметр  $\zeta$ , як і раніше, характеризує відносну висоту частини пружного ядра поперечного перерізу швелерної балки, замкненої між нейтральною віссю та пластичною областю. Тут також для порівняння показаний графік для прямокутного поперечного перерізу, отриманий Л.М. Качановим [2].

Із детального розгляду роботи швелерної балки з горизонтальною стінкою поза межами пружності при втраті стійкості впливає, що крива залежності кута нахилу межі поділу від відносної висоти частини пружного ядра при

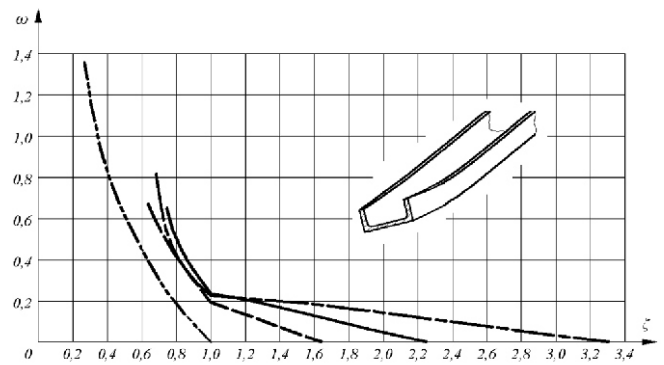


Рис. 6. Залежність між параметром  $\zeta$  і функцією  $\omega$  для пружнопластичної балки з поперечним перерізом із швелера з горизонтальною стінкою:

- — — швелер 5П;
- — — швелер 16П;
- · - · - швелер 30Л;
- · · · · прямокутний поперечний переріз

односторонній пластичності в полках (при чистому вигині зона пластичності спочатку з'являється тільки в полках) близька до параболічного виду, наприклад, для швелера 30Л даний вид кривої відмічається при  $\zeta = 3,3$ . При  $\zeta = 1$  у кривих присутня точка зламу графіка. Починаючи саме з цього моменту настає двостороння пластичність і кут межі поділу починає зростати значно швидше, а його залежність наближається до гіперболічного виду. Можна відмітити, що крива залежності  $\omega(\zeta)$  для прямокутного поперечного перерізу також близька до гіперболічного виду, але кут нахилу швидше зростає при поперечному перерізі із швелера з горизонтальною стінкою. Зокрема, для швелера 30Л кут нахилу межі поділу зростає приблизно в 2,3 раза швидше, ніж для прямокутного перерізу. При  $\zeta = 0,81$  стінка даного швелера стає повністю пластичною і крива обривається. Стінки швелерів 5П і 16П стають повністю пластичними при  $\zeta = 0,65$ .

[1] Шимановский А.В., Оглобля А.И. Теория и расчет несущих элементов большепролетных пространственных конструкций. – К.: Издательство «Сталь», 2002. – 372 с.  
 [2] Качанов Л.М. Основы теории пластичности. – М.: Гостехиздат, 1956. – 324 с.

Надійшла 31.08.2008 р.

УДК 622.271.4

## ПЕРЕДАВАРІЙНИЙ СТАН СТАЛЕВОЇ РЕШІТЧАСТОЇ СТІЛИ

Розглянуто передаварійний стан просторової конструкції решітчастої стріли, яка є складовою частиною несучої конструкції роторного екскаватора, що використовується у гірничих розробках відкритим способом. Передаварійний стан було спричинено виникненням тріщини у фасонці з подальшою втраченою несучою спроможністю одного розтягнутого розкосу у бічній фермі стріли. Завдяки перерозподілу внутрішніх зусиль у статично невизначеній системі аварії конструкції не сталося, але з'явилася збільшена нерівномірна деформація. Після ремонту стріли екскаватор придатний до експлуатації.

In the paper is presented a pre-failure state of spatial latticed exterior arm. It is a constituent part of the supporting structure of the body of a big machine used in opencast mining. The pre-failure state has occurred because of a crack in the gusset plate and loss of full capacity of one expanded cross brace in a side-grate of the exterior arm. Thanks to the redistribution of internal forces in the statically-indeterminable system, the failure of the supporting structure has not occurred. However, some increased non-uniform strains have appeared. After repair to the exterior arm, the machine is still exploited.

**Ключові слова:** просторова конструкція, решітчаста стріла, полиці розкосів, фасонки.

**О**пис просторової конструкції стріли. Решітчаста стріла є складовою частиною центральної несучої конструкції роторного екскаватора, що використовується у гірничих розробках відкритим способом (рис. 1). З точки зору статички стріла є системою внутрішньо і зовнішньо невизначеною. До основних навантажень, крім власної ваги конструкції, відноситься постійне навантаження у кінцевій її частині. Під час експлуатації екскаватора на стрілу також впливають динамічні навантаження. Спрощену геометричну схему несучої конструкції стріли показано на рис. 2.

Несуча конструкція стріли виготовлена зі сталі класу S355. Головні стержні бічних решіток стріли мають зварні двотаврові профілі з листового металу. Верхні і нижні пояси ферми мають висоту 400 мм і ширину 300 мм. Товщина полиць є змінною і становить 16–32 мм, а товщина стінок – 16–25 мм.

Розкоси і стійки решітки також мають двотавровий профіль заввишки 250 мм і завширшки 250 мм, який зварений із листового металу завтовшки 16 мм. Вузлові з'єднання розкосів і стійок виготовлені за допомогою фасонки із



Рис. 1. Загальний вигляд роторного екскаватора у відкритому кар'єрі



**Р. Янковяк**

декан будівельного факультету, завідувач кафедри будівельних та інженерних конструкцій Опольського політехнічного інституту, д.т.н., професор



**Я. Жмуда**

професор кафедри будівельних та інженерних конструкцій Опольського політехнічного інституту, член секції металевих конструкцій Комітету наземних і гідроінженерних споруд Польської Академії наук, д.т.н.

листового металу, який є частиною стінок і поясів. Полиці розкосів не з'єднані з полицями верхніх і нижній поясів бічних ферм.

З метою збільшення несучої здатності вузлів задля уникнення втоми в фасонках виконані заокруглення з радіусом  $r = 100$  мм. Приклад конструкційного рішення вузла показано на рис. 3.

**Обсяг передаварійних пошкоджень.** Після більш як річної експлуатації екскаватора у складних геологічних умовах утворилися тріщини у деяких фасонках у місцях з'єднання розкосів бічних ферм стріли. Тріщини утворилися у кінцевій частині стріли у передостанній панелі бічних ферм (рис. 4).

У результаті такого пошкодження конструкції виникла загроза аварії та утворення подібних тріщин в інших вузлах стріли, що в свою чергу могло б спричинити серйозну аварію.

У даному випадку виключення одного розкосу із роботи призвело не тільки до перерозподілу внутрішніх зусиль у стержнях ферми, але й до виникнення виразної нерівномірної

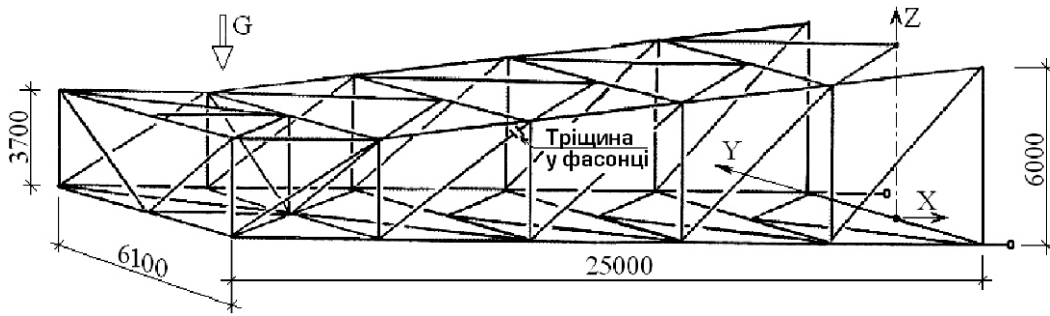


Рис. 2. Спрощена геометрична схема стріли

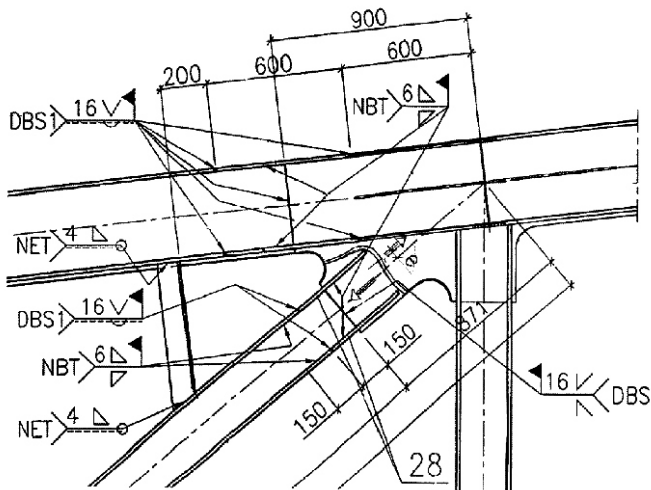


Рис. 3. Верхній вузол бічної ферми стріли

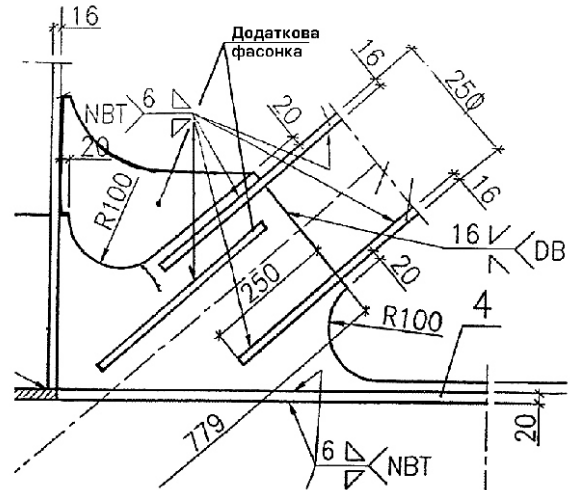


Рис. 5. Зміцнення вузла бічної ферми



Рис. 4. Тріщина фасонки у верхньому вузлі передостанньої панелі бічної ферми стріли

деформації кінцевої частини стріли. Тому експлуатацію екскаватора призупинили і негайно приступили до зміцнення фасонки у вузлових з'єднаннях бічних ферм та в усіх нижніх і верхніх вузлах. Один із способів зміцнення представлено на рис. 5.

**Аналіз статичної міцності решітчастої конструкції стріли.** Решітчаста стріла проектувалася як просторова система, а внутрішні зусилля виз-

началися як для стержневих систем. Стержні у стінках просторової решітки ферми були запроєктовані тільки на дію осевих зусиль. При цьому не було враховано вплив вузлових моментів і вузловий ексцентриситет. Вплив динамічних навантажень було враховано згідно з нормами DIN-22261-2 [1] шляхом застосування відповідного коефіцієнта збільшення постійних навантажень. Несуча конструкція не перевірялась на втому, але була сформована так, щоб звести до мінімуму її вплив. Несуча спроможність розтягнутого розкоси, у вузлі якого з'явилася тріщина, використовувалася приблизно на 60 %, а листового металу фасонки – приблизно на 75 %.

Після виникнення перед аварійного стану стріли було проведено детальний аналіз статичної міцності найбільш пошкодженої частини стріли (рис. 6).

У просторових фермах із шарнірними вузлами при усуненні одного розкоси з однієї бічної решітки у такому самому розкосі другої бічної решітки осьове зусилля повинно подвоїтися. Якби таку ж структуру мала решітчаста стріла, що розглядається, то безпосередньо після ви-

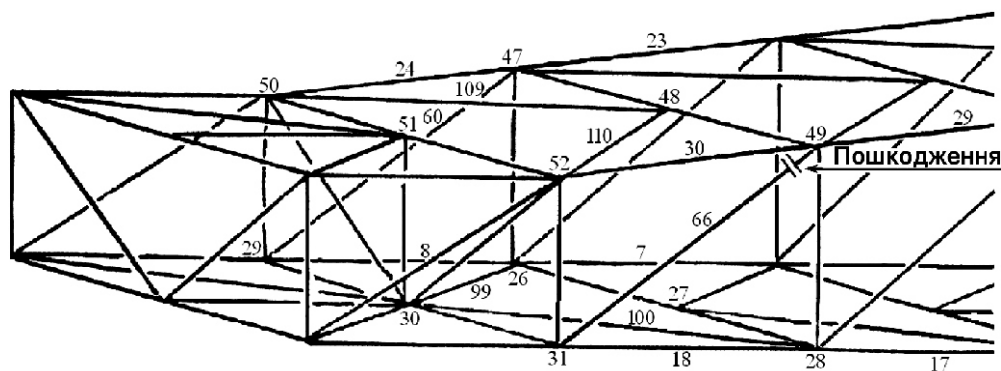


Рис. 6. Фрагмент стріли з позначенням стержнів і вузлів

никнення тріщини фасонки у правій боковій решітці така ж тріщина фасонки мала з'явитися у лівій бічній решітці, що призвело б до серйозної аварії. Однак цього не сталося, тому можна дійти висновку, що збільшення зусилля у другому розкосі було значно меншим.

З метою визначення перерозподілу внутрішніх зусиль у стержнях і вузлах поблизу пошкодженого вузла решітки було виконано відповідні розрахунки. Для розрахунків використано

програму M-Strains [2], за допомогою якої було визначено внутрішні зусилля у стержнях та переміщення вузлів. Розглядалось декілька розрахункових схем просторової ферми: з жорсткими вузлами (схема 1), з шарнірними вузлами у бічних стінках (схема 2) та ферма з жорсткими вузлами, але з усуненим розкосом (№ 66), у вузлі якого з'явилася тріщина (схема 3). Визначені значення внутрішніх зусиль у стержнях подано в табл. 1, а переміщення вузлів – у табл. 2.

Таблиця 1

Внутрішні зусилля у стержнях решітки

Стержень/вузол			Схема 1	Схема 2	Схема 3
8/26	N	[кН]	1954,366	1977,038	2020,665
	Q	[кН]	4,265	4,800	10,765
	M <sub>y</sub>	[кНм]	- 44,009	0,000	- 56,235
18/28	N	[кН]	1920,088	1941,807	1416,670
	Q	[кН]	3,677	4,800	416,275
	M <sub>y</sub>	[кНм]	- 41,628	0,000	- 1054,777
24/47	N	[кН]	- 548,816	- 550,760	- 511,169
	Q	[кН]	28,960	3,875	32,463
	M <sub>y</sub>	[кНм]	- 66,653	0,000	- 73,499
30/49	N	[кН]	- 543,788	- 546,270	- 1217,324
	Q	[кН]	28,241	3,875	366,576
	M <sub>y</sub>	[кНм]	- 64,813	0,000	- 863,959
60/47	N	[кН]	- 1537,074	- 1567,020	1685,490
	Q	[кН]	4,134	- 2,873	3,701
	M <sub>y</sub>	[кНм]	13,122	0,000	12,341
66/49	N	[кН]	- 1502,056	- 1530,077	0,000
	Q	[кН]	4,023	- 2,873	0,000
	M <sub>y</sub>	[кНм]	12,877	0,000	0,000

Примітка. «+» – стискання; «-» – розтягування

Таблиця 2

Переміщення вузлів

Вузол	Напрямок переміщення	Схема 1, см	Схема 2, см	Схема 3, см
47	X	-0,370	-0,367	-0,403
	Y	-0,037	-0,037	-0,297
	Z	-5,643	-5,691	-5,774
49	X	-0,366	-0,363	-0,271
	Y	-0,036	-0,036	-0,298
	Z	-5,475	-5,520	-5,474
29	X	1,524	1,532	1,569
	Y	-0,264	-0,265	3,510
	Z	-8,519	-8,584	-8,804
31	X	1,489	1,496	1,390
	Y	-0,267	-0,269	3,505
	Z	-8,288	-8,351	-15,972

Отримані результати свідчать, що осьові зусилля у стержнях ферми з жорсткими (схема 1) і з шарнірними вузлами (схема 2) мають незначну різницю, яка не має істотного значення при розрахунку розмірів розкосів. Однак вузлові моменти спричиняють збільшення напруження на кінцях стержнів приблизно на 10 %. Це збільшення не є значним при розрахунку розмірів стержнів, які стискаються, тоді як для величини поперечного перерізу стержня вирішальне значення має його поздовжній вигин.

Існує чимало чинників виникнення передаварійного стану або аварій, при чому їхня частка в конкретних випадках буває різною.

У випадку, який розглядається, поряд із неконтрольованим збільшенням динамічних навантажень, одним із чинників могло бути недосконале проектування і виконання вузла, а також його менша несуча спроможність порівняно з приєднаним стержнем. Крім того, при проектуванні значно більшу увагу звернули на витривалість стосовно втоми, ніж на тимчасовий опір.

Зазначимо також, що з'єднання розкосу з фасонкою було виконано з ексцентриситетом. Останнє призвело до того, що момент від ексцентричного з'єднання у вузлі (який не був врахований у розрахунках) приблизно у п'ять

разів більший, ніж вузловий момент, що виникає через реальну жорсткість з'єднання.

На утворення тріщини могла також вплинути якість виконання вузла, зокрема, стан обробки фасонки.

**Висновки.** Проведення дослідження та аналізу результатів розрахунків передаварійного стану сталевий решітчастої стріли дозволили дійти наступних висновків:

- Підтвердилося відоме твердження, що решітчасті конструкції, які характеризуються внутрішньою статичною невизначеністю, більш витривалі до різноманітних пошкоджень, ніж конструкції зі статичною визначеністю.
- Під час проектування решітчастої конструкції необхідно дуже старанно і докладно конструювати і розраховувати розміри вузлів. Їхня несуча спроможність повинна щонайменше дорівнювати несучій спроможності приєднаних стержнів.
- Врахування жорсткості вузлів решітчастої конструкції істотно не впливає на зміну осьових зусиль у стержнях ферми. Зате це має великий вплив на перерозподіл внутрішніх зусиль і деформацію конструкції у разі руйнування будь-якого з її несучих стержнів.

[1] DIN 22261-2 Bagger, Absetzer und Zusatzgeräte in Braunkohlentagebauen. Teil 2: Berechnungsgrundlagen.

[2] Gryszkiewicz M.: MIKRO-STRAINS, Analiza statyczna konstrukcji pretowych i po-wierzchniowych, Podrecznik użytkowania, wersja PC/3.1 cz. 1+2+3, 1995.09.

Надійшла 03.12.2007 р.

УДК 539.3

## НАПІВАНАЛІТИЧНІ АЛГОРИТМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ СИСТЕМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ У ЗАДАЧАХ ДОВГОВІЧНОСТІ КОРОДУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Пропонується новий напіваналітичний алгоритм розв'язання систем диференціальних рівнянь у завданнях довговічності кородуючих конструкцій, побудований з використанням отриманих авторами аналітичних формул довговічності статично визначених кородуючих плосконапружених пластин. Наводяться результати використання напіваналітичного алгоритму при розрахунку довговічності пластин із використанням методу скінченних елементів. Показані переваги нового алгоритму в порівнянні з однокроковими чисельними методами розв'язання систем диференціальних рівнянь.

The new semianalytical algorithm of decision of the systems of differential equalizations is offered in the tasks of longevity of corrodible constructions. An algorithm is built with the use of the analytical formulas of longevity got authors statically definable corrodible plane-stressed plates. Results over of the use of semianalytical algorithm are brought at the calculation of longevity of plates with the use of method of eventual elements. Advantages of new algorithm are shown as compared to the numeral methods of decision of the systems of differential equalizations.

**Ключові слова:** диференціальні рівняння, кородуючі конструкції, напіваналітичний алгоритм.

У процесі експлуатації металоконструкцій, які використовуються в хімічній промисловості, спостерігається помітне погіршення їх робочих характеристик у результаті корозійного зносу, що викликається дією сильноагресивних робочих середовищ. Це проявляється у вигляді зменшення геометричних розмірів конструктивних елементів, зниженні несучої здатності конструкцій і передчасному виходу їх з ладу.

Елементи кріплень внутрішніх контактних пристроїв різних ректифікаційних, адсорбційних, вакуумних колон і реакторних апаратів, які застосовуються в нафтопереробній індустрії (рис. 1), працюють в атмосфері перегрітої пари, насиченої оксидами кислотоутворюючих з'єднань. Такі умови експлуатації у поєднанні з невеликою тривалістю технологічного циклу виключають або роблять недоцільним використання захисних покриттів і обумовлюють високу (більше 0,1 см на рік) швидкість корозії. Вихід із ладу одного з елементів кріплень може призвести до зупинки технологічного процесу і великих економічних втрат.

У таких випадках основним способом забезпечення заданої довговічності конструкційних елементів є завищення геометричних розмірів проєктованих конструкцій на величину, яка компенсує корозійний знос. Проте чинні нормативні документи [1] не завжди повною мірою враховують природу процесу корозії, зокрема, не припускають впливу напруженого стану на швидкість корозії.

У зв'язку з цим розроблення нових математичних моделей корозійного руйнування і створення уточнених ефективних методик розра-



**Д.Г. Зеленцов**

завідувач кафедри вищої математики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», к.т.н.



**Н.Ю. Науменко**

старший викладач кафедри вищої математики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

хунку, що дозволяють у комплексі оцінити несучу здатність і довговічність конструкцій з урахуванням корозійних процесів, які протікають у них, є дуже актуальним завданням. Доцільність такого підходу підтверджується і тим, що експериментальні дослідження зазвичай тривалі, трудомісткі і вимагають великих матеріальних витрат.

Ефект впливу механічного напруження на швидкість корозії металів, за свідченням Г.В. Акімова [2], був відкритий ще наприкінці XIX ст. і в даний час є загальновідомим [3, 4]. Різні види кінетичних рівнянь накопичення геометричних пошкоджень при корозійному зносі, що мають вид звичайних диференціальних рівнянь першого порядку, приведені, наприклад, у [4]. Істотний вплив напруження обумовлює появу зворотного зв'язку в математичних

моделях розрахунку і призводить до того, що кількість параметрів, які визначають у довільний момент геометричні характеристики конструкції, необмежено зростає.

У більшості відомих робіт для розв'язання систем диференціальних рівнянь використовуються однокрокові чисельні методи [4], зокрема – і при використанні для розв'язку задачі напружено-деформованого стану (НДС) методу скінченних елементів (МСЕ) [5].

У останньому випадку розмірність системи диференціальних рівнянь (СДР) дорівнює (або перевершує) число скінченних елементів у скінченно-елементній моделі конструкції. У загальному випадку вона має вид

$$\frac{dA}{dt} [A], \quad (1)$$

де  $A$  – матриця параметрів конструкції розмірності, що змінюються,  $n \times N$ ; – матриця відомих функцій тієї ж розмірності; – напруження;  $t$  – час;  $n$  – число параметрів скінченного елемента, що змінюються;  $N$  – кількість елементів у скінченно-елементній моделі конструкції.

Використовуючи для розв'язку (1) будь-який чисельний метод, наприклад, метод Ейлера, можна визначити будь-який параметр СЕ у довільний момент часу:

$$A_{ij}^s = A_{ij}^{s-1} + t^s \cdot f_{ij}[A^s]; i \in \overline{1, N}; j \in \overline{1, n}, \quad (2)$$

де  $s$  – номер кроку за часом.

Таким чином, значення матриці  $A$  на даному кроці визначається за її значенням на попередньому. При цьому в кожному вузлі часової сітки розв'язується задача МСЕ. Для забезпечення отримання результату з прийнятною точністю крок за часом  $t$  доводиться приймати достатньо малим. Це призводить до того, що число ітерацій (отже і число звернень до процедури МСЕ) при розв'язанні задачі довговічності може досягати декількох десятків, а в деяких випадках і сотень. Застосування ефективніших чисельних методів розв'язку задачі Коші для системи (1), таких, наприклад, як метод прогно-

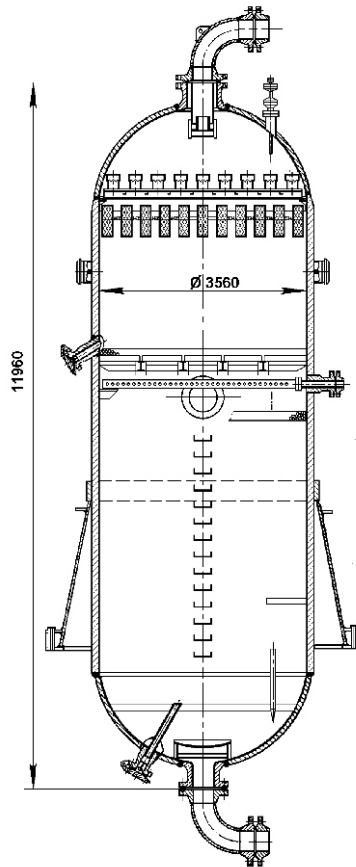


Рис. 1. Реактор гідроочищення дизельного палива

зу і корекції, дозволяє скоротити число ітерацій, але в цілому ситуація не змінюється. Ефективність традиційного алгоритму, очевидно, виявляється невисокою.

Ще більш незручним викладений алгоритм стає при розв'язанні оптимізаційних задач. Дійсно, задача довговічності розв'язується на кожному кроці пошуку оптимального проекту при перевірці обмежень. Число ж кроків ітераційного процесу при розв'язку задачі нелінійного математичного програмування (НЛП) обчислюється десятками тисяч. Витрата машинного часу у разі достатньо складних задач може виявитися дуже великою. До цього слід додати, що параметри чисельної процедури при обчисленні функцій обмежень у процесі розв'язку задачі НЛП є незмінними. В цьому випадку дуже актуальною виявляється проблема стійкості за входними даними і надійності застосованих алгоритмів.

У [5], очевидно вперше, приведені результати дослідження похибки розв'язку задач довговічності кородуючих конструкцій, викликаних використанням відомих чисельних методів розв'язання СДР спільно з чисельними методами розв'язку систем лінійних алгебраїчних рівнянь при реалізації МСЕ. Там же був зроблений висновок про необхідність пошуку нових підходів до розв'язання задачі довговічності, що дозволяють скоротити розмірність задачі МСЕ і, в першу чергу, кількість ітерацій при чисельному розв'язанні СДР.

У роботі [6] запропонований новий алгоритм розв'язання СДР у рамках загальної задачі довговічності кородуючих ферм із використанням отриманих автором аналітичних формул довговічності кородуючих стержнів довільного перерізу при одноосному навантаженні. Він був заснований на тому, що вплив зміни площі перерізів стержнів значно більше впливає на зростання напруження в них, ніж зміна внутрішніх зусиль. Пізніше цей підхід отримав розвиток [7]. Використання аналітичних формул дозволило підвищити ефективність і в деякій мірі надійність обчислювальної процедури.

У даній статті пропонується узагальнення нових алгоритмів, що використовують аналітичні формули, на випадок плосконапружених кородуючих конструкцій.

При побудові напіваналітичного алгоритму приймаються наступні гіпотези: механізм корозії однаковий для всіх точок конструкції і нерівномірність корозії викликається тільки нерівномірністю поля напруження, і існує еквівалентне напруження, при якому процес корозії при складному напруженому стані відбувається з тією ж швидкістю, що і при простому.

Для визначеності при математичному описі процесу корозії використовується модель накопичення пошкоджень виду [8]

$$\frac{d}{dt} v_0(1 - k_{eq}), \quad (3)$$

де  $v_0$  – глибина корозійного ураження (параметр пошкодження);  $v_0$  – швидкість корозії за відсутності напруження;  $k_{eq}$  – деяке еквівалентне напруження;  $k$  – коефіцієнт, що визначає вплив напруження на швидкість корозії.

Система диференціальних рівнянь, що описує корозійний знос в елементах конструкції,

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} v_0[1 - k_1(1, 2, 3, \dots, N)] \\ \frac{d}{dt} v_0[1 - k_2(1, 2, 3, \dots, N)] \\ \dots \\ \frac{d}{dt} v_0[1 - k_N(1, 2, 3, \dots, N)] \end{aligned} \quad (4)$$

є зв'язаною і може бути розв'язана тільки чисельно. Про недоліки подібного підходу зазначено вище.

Запропонований алгоритм заснований на припущенні, що протягом деякого періоду часу зміни внутрішніх зусиль в елементах достатньо малі. В цьому випадку зміна НДС протягом цього проміжку обумовлена лише зміною геометричних розмірів СЕ. Тоді процес корозії в даному елементі залежатиме від геометричних розмірів даного елемента і всі рівняння системи (4) можуть розглядатися як незалежні:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} v_0[1 - k_1(1)] \\ \frac{d}{dt} v_0[1 - k_2(2)] \\ \dots \\ \frac{d}{dt} v_0[1 - k_N(N)] \end{aligned} \quad (5)$$

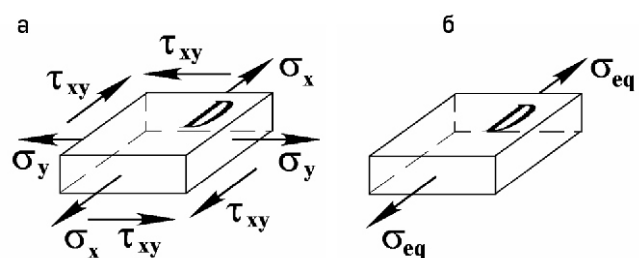


Рис. 2. Корозійний знос в умовах складного (а) і простого (б) напруженого стану

Розглянемо деяку точку  $D$  і припустимо, що в її околиці напруження постійні (рис. 2, а). На підставі гіпотези про еквівалентне напруження можна допустити, що корозійний знос в околиці цієї точки відбуватиметься з тією ж швидкістю, що і в околиці точки в умовах простого напруженого стану при  $k_{eq}$  (рис. 2, б).

Для простого напруженого стану в елементі товщиною  $h(t)$  напруження в області  $D$  визначаються таким чином:

$$k_{eq}(t) = \frac{q}{h(t)}, \quad (6)$$

де  $q$  – інтенсивність навантаження в площині елемента.

Диференціюючи (6) за часом, після нескладних перетворень для моделі накопичення пошкоджень (3) отримаємо диференціальне рівняння, що визначає зв'язок між початковим і кінцевим еквівалентними напруженнями, початковою товщиною елемента, параметрами агресивного середовища і часом,

$$\frac{d}{dt} k_{eq} = \frac{2}{k_{eq}} \frac{v_0}{h_0} (1 - k_{eq}). \quad (7)$$

Інтегруючи (7), отримаємо остаточно

$$t = \frac{h_0}{v_0} k_{eq0} \ln \frac{k_{eq0}(1 - k_{eq})}{k_{eq}(1 - k_{eq0})} \frac{k_{eq} - k_{eq0}}{k_{eq} k_{eq0}}. \quad (8)$$

Формула (8) дозволяє при побудові обчислювального алгоритму здійснити зміну параметра інтегрування системи (5): замість кроку за часом  $t$  використовувати крок за напруженням, а величину кроку за часом перераховувати за (8). Це дає можливість застосувати в (2) раціональніший крок за часом. Тоді при використанні методу Ейлера алгоритм розв'язку стає ефективнішим і стійкішим за вхідними даними.



Таблиця 1

[ ] 0	Напруження при t = 4,0 роки (похибка, %)			Довговічність при [ ]=240 МПа (похибка, %)	
	число ітерацій				
	40	20	16	20	10
2	239,2 (0,3)	238,4 (0,7)	238,0 (0,8)	3,993 (0,17)	3,989 (0,3)
4	235,8 (1,7)	232,1 (3,3)	230,4 (4,0)	3,979 (0,5)	3,958 (1,0)
6	231,9 (3,3)	225,4 (6,1)	222,4 (7,3)	3,970 (0,7)	3,940 (1,5)
10	224,5 (6,5)	231,3 (11,1)	208,7 (13,0)	3,959 (1,0)	3,918 (2,0)

Це ілюструють дані, приведені в табл. 1. Тут зазначені результати аналітичного і чисельних розв’язків задачі довговічності для кородуючої статично визначеної плосконапруженої пластини. Геометричні розміри пластини і величина розподіленого навантаження вибиралися так, щоб забезпечити при різних значеннях запасу міцності одну і ту ж довговічність t = 4,0 роки. Спочатку задача розв’язувалась при постійному кроці за часом, потім – при постійному кроці за напруженням. У першому випадку похибка визначалася розбіжністю значень напруження при чисельному і аналітичному розв’язках, в другому – розбіжністю за часом.

Якщо конструкція статично визначена, то внутрішні зусилля в ній не змінюються, і її довговічність визначається аналітично за допомогою (8). У статично невизначеній конструкції зміни внутрішніх зусиль можуть бути дуже істотними. Саме це викликає необхідність використання ітераційного алгоритму розв’язання задачі довговічності. Розв’язок задачі МСЕ в початковий момент часу дозволяє визначити номер SE, в якому напруження найбільше. Можна припустити, що при однакових параметрах корозійного зносу довговічність такого SE буде найменшою. Надалі такий елемент називатимемо провідним. Алгоритм розв’язання задачі може бути представлений таким чином.

1. Задається кількість ітерацій K і визначається крок за напруженням

$$s = \frac{[\sigma]_{r0}}{K}, \quad s = \overline{1, K}, \quad (9)$$

де r – номер провідного елемента.

2. За формулою (8) визначається значення, яке відповідає  $t^s$ .

3. Якщо  $s \leq K$ , то виконується операція 4, інакше – операція 7.

4. Для провідного елемента перераховується значення товщини за формулою

$$h_r^{s+1} = h_r^s \frac{r}{s} \frac{s}{r}. \quad (10)$$

5. Для решти елементів визначається напруження, яке відповідає проміжку часу  $t^s$  з чисельного розв’язку (8), а потім – товщина з (6).

6. Розв’язується задача МСЕ (при цьому відбувається деяке коректування значень напруження внаслідок зміни внутрішніх зусиль в елементах конструкції і, отже, кроку за напруженням  $t^s$ ) і відбувається перехід до операції 2.

7. Обчислюється значення довговічності конструкції  $t^* = t^s$ .

При реалізації однокрокових чисельних методів можливе аварійне завершення комп’ютерної програми, особливо у разі, коли розв’язок стає нестійким. Запропонований напіваналітичний алгоритм завершує роботу в той момент часу, коли еквівалентне напруження в провідному елементі гарантовано не досягає свого граничного значення, що істотно підвищує його надійність.

Важливою перевагою напіваналітичного алгоритму є те, що в провідному елементі геометричні характеристики обчислюються точно, в інших – приблизно, але з контрольованою похибкою.

Напіваналітичний алгоритм на відміну від відомих не потребує процедури уточнення розв’язку задачі. При використанні однокрокових чисельних методів для визначення моменту часу, коли напруження в провідному елементі досягне граничного значення, потрібне залучення додаткових уточнювальних алгоритмів, наприклад, методу парабол. Припустимо, що

має місце ситуація, коли  $t^s$  [ ];  $t^{s-1}$  [ ];  $t^s$  [ ], тоді фрагмент кривої  $(t)$  апроксимується параболою і довговічність конструкції визначається як

$$t^* = t^i + R t^s, \quad (11)$$

де  $R$  знаходиться з розв'язку квадратного рівняння, коефіцієнти якого можуть бути отримані за координатами трьох точок:  $(t^{s-2}; t^{s-1})$ ,  $(t^{s-1}; t^s)$  і  $(t^s; t^{s+1})$ .

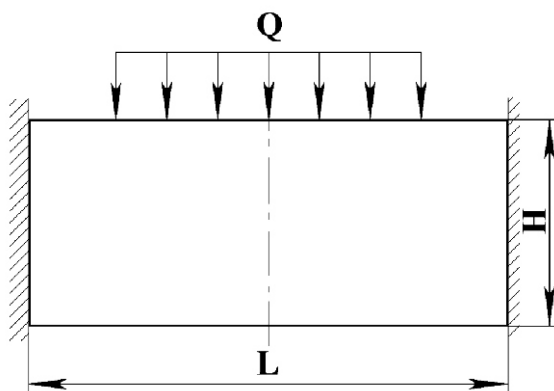


Рис. 3. Розрахункова схема пластини

Для чисельної ілюстрації була розв'язана задача довговічності кородуючої пластини (рис. 3). Її геометричні параметри, характеристики металу і параметри корозійного зносу:  $L = 200$  см;  $H = 50$  см;  $h = 2,0$  см;  $E = 2,1105$  МПа;  $\nu = 0,3$ ;  $[ \sigma ] = 240$  МПа;  $\nu_0 = 0,1$  см/рік;  $k = 0,005$  МПа<sup>-1</sup>. Розподілене навантаження  $Q = 800$  кг/см прикладене на довжині 150 см. З урахуванням симетрії розглядалася половина

області і апроксимувалася 128 скінченними елементами.

Асимптотично точний розв'язок задачі довговічності  $t^* = 8,126$  років визначався шляхом послідовного зменшення довжини кроку за часом  $t$  (для цього було потрібно 131 ітерація) при використанні виправленого методу Ейлера. Потім цей розв'язок порівнювався з розв'язком, отриманим за допомогою алгоритму методу Ейлера і напіваналітичного алгоритму.

У табл. 2 дається порівняння результатів розв'язків задачі довговічності, отримані за допомогою різних обчислювальних алгоритмів.

Таблиця 2

Довговічність, роки (похибка %)			
Кількість ітерацій	Чисельний розв'язок	Кількість ітерацій	Напіваналітичний розв'язок
9	8,984 (10,6)	1	8,507 (4,7)
17	8,847 (8,9)	4	8,380 (3,1)
33	8,658 (6,5)	8	8,224 (0,1)
66	8,412 (3,5)	16	8,132 (<0,1)

Дані, наведені в таблиці, свідчать, що запропонований авторами напіваналітичний алгоритм розв'язання систем диференціальних рівнянь, що описують корозійний процес в елементах пластини, є значно ефективнішим, ніж відомі алгоритми, які традиційно використовуються для розв'язку задач довговічності кородуючих конструкцій.

[1] Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 КПа // Відомчі будівельні норми України ВБН 2.2-58.2 – 94. – К., 1994. – 98 с.  
 [2] Акимов Г.В. Теория и методы исследования коррозии металлов. – Изд-во АН СССР, 1946. – 213 с.  
 [3] Замирякин Л.К., Перевалов С.П. Кинетические закономерности процесса коррозии металла под напряжением // Материалы IX Пермской конференции. – 1976. – С. 42 – 43.  
 [4] Петров В.В., Овчинников И.Г., Шихов Ю.М. Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой. – Саратов: СГУ, 1987. – 288 с.  
 [5] Колесник І.А., Зеленцов Д.Г., Храпач Ю.О. Про похибку скінченно-елементних процедур в задачах довговічності багатоеlementних конструкцій, які підлягають корозійному зносу // Опір матеріалів та теорія споруд. – 2002. – вип. 70. – С. 176 – 181.

[6] Зеленцов Д.Г. Об одном алгоритме численного решения некоторых классов систем дифференциальных уравнений // Придніпровський науковий вісник. Фізико-математичні науки. – 1998. – № 112(179). – С. 31 – 37.  
 [7] Зеленцов Д.Г. Расчет конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы. – Днепропетровск: УГХТУ, 2002. – 168 с.  
 [8] Долинский В.М. Расчет элементов конструкций, подверженных равномерной коррозии // Исследования по теории оболочек. – Казань, 1976. – Вып. 7. – С. 37–42.

Надійшла 25.09.2007 р.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ BricsCAD BonusTools ДЛЯ ОФОРМЛЕНИЯ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ КМ И КМД

**К**абинетом Министров Украины в мае 2002 г. была утверждена Концепция легализации программного обеспечения и борьбы с его нелегальным использованием. На основании этого документа 3 октября 2002 г. научно-техническим советом Госстроя Украины был утвержден План перехода на лицензионное программное обеспечение организаций строительной отрасли. Этот план в числе прочих мероприятий, обеспечивающих постепенный переход на использование легальных программных продуктов, предусматривал поиск оптимальных вариантов программного обеспечения с учетом возможного применения альтернативных решений.

До недавнего времени большинство организаций строительной отрасли, занимающихся разработкой проектно-технической документации, в качестве базовой графической системы для создания чертежей использовали AutoCAD от компании Autodesk – безусловного лидера на современном рынке CAD-систем. Для этой платформы было разработано большое число дополнительных приложений и целых программных комплексов, позволяющих значительно повысить производительность труда инженеров-проектировщиков и качество выпускаемой графической продукции. При этом такой важный фактор, как стоимость используемого программного обеспечения в расчет фактически не принимался, так как на рабочих местах устанавливались, как правило, нелегальные копии AutoCAD. Однако в связи с осуществляемым в настоящее время планомерным переходом организаций строительной отрасли на использование лицензионного программного обеспечения цена приобретаемых программ часто имеет определяющее значение. В итоге значительная стоимость того же AutoCAD делает его практически недоступным для целого ряда проектных организаций, не имеющих достаточных финансовых средств для обеспечения компьютеризированных рабочих мест этой программой.

Одним из путей решения этой проблемы является поиск альтернативных менее дорогостоящих программных продуктов, способных заменить AutoCAD и обеспечить высокое качество графической продукции при минимальных



**Е.И. Сосновский**

заместитель главного инженера  
Мариупольского комплексного  
отделения ОАО  
«УкрНИИпроектстальконструкция  
им. В.Н. Шимановского»

потерях производительности. На сегодняшний день на рынке CAD-систем предлагается целый ряд таких программ, среди которых лидирующее положение занимает BricsCAD от бельгийской компании Bricsys, официальным дистрибьютором которой на территории СНГ является фирма «САБИТ» (г. Харьков). Именно эта компьютерная программа и была приобретена Мариупольским комплексным отделением ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» в качестве базовой графической системы для изготовления проектной документации.

Не останавливаясь подробно на всех достоинствах и недостатках BricsCAD, отметим одно из важных преимуществ этой платформы – широкие возможности программирования с использованием языка LISP, который уже стал стандартом при разработке дополнительных приложений, работающих в среде графического процессора AutoCAD. Этот язык, являясь достаточно простым в изучении и освоении, позволяет значительно расширить возможности базовой платформы. Именно вследствие этого в свое время AutoCAD имел феноменальный успех среди инженеров-проектировщиков. Как справедливо отмечал в своей книге «САПР на базе AutoCAD» ее автор Николай Полещук, «голая» система AutoCAD – это система не столько для пользователей, сколько для разработчиков. Последнее в равной степени относится и к BricsCAD, хотя сами разработчики прикладных программ до недавнего времени не уделяли должного внимания этой платформе. Но с выходом BricscadV8 интерес к продукции компании Bricsys заметно возрос. Это связано как со значительным расширением возможностей программирования на языке LISP, так и с появлением поддержки технологии ObjectARX, широко используемой для создания программ, функционирующих в среде AutoCAD.

Если появление прикладных программ для Bricscad, разработанных с помощью ObjectARX, дело ближайшего будущего, то использование несложных LISP-приложений уже сегодня предоставляет возможность пользователям BricsCad автоматизировать целый ряд рутинных операций в процессе создания графической документации и тем самым заметно повысить производительность труда инженеров-проектировщиков. В качестве примера рассмотрим приложение BricsCAD BonusTools, разработанное в Мариупольском комплексном отделении ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского».

С учетом специализации нашего института это приложение в первую очередь ориентировано на пользователей, разрабатывающих рабочие чертежи стадий КМ и КМД, и содержит набор дополнительных инструментов, сгруппированных в зависимости от своего назначения в несколько панелей инструментов, которые добавляются к базовым панелям инструментов BricsCAD после установки BricsCAD BonusTools.

Рассмотрим основные функциональные возможности приложения BricsCAD BonusTools.

**Панель инструментов «BT-Условные обозначения»** (рис. 1) – инструменты панели предназначены для вычерчивания следующих элементов чертежей КМ и КМД: линия разрыва, позиция, различные варианты узловых и текстовых выносок, маркировка координатных осей, обозначение простого и сложного разрезов, отметка уровня, маркировка элементов (с автоматическим определением угла поворота текста маркировки) и треугольник геометрии.

**Панель инструментов «BT-Сортамент»** (рис. 2) – используется для вставки в чертеж изображений прокатных профилей и других элементов сортамента.

**Панель инструментов «BT-Элементы соединений»** (рис. 3) – применяются для вычерчивания условных обозначений сварных швов и элементов болтовых соединений.

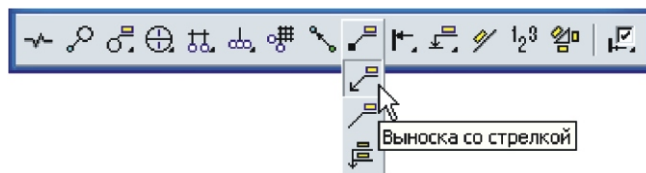


Рис. 1. Общий вид панели инструментов «BT-Условные обозначения»

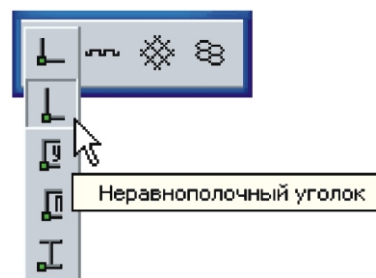


Рис. 2. Общий вид панели инструментов «BT-Сортамент»

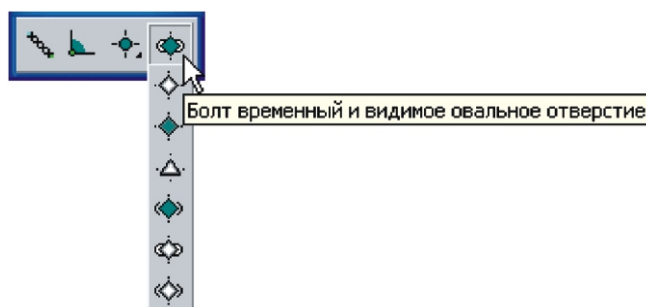


Рис. 3. Общий вид панели инструментов «BT-Элементы соединений»



Рис. 4. Общий вид панели инструментов «BT-Таблицы»

**Панель инструментов «BT-Таблицы»** (рис. 4) – инструменты панели предназначены для построения и заполнения различных таблиц с использованием библиотеки готовых шаблонов (раздел меню «Шаблоны»), создания спецификации КМД и выполнения вспомогательных вычислений (рис. 5).

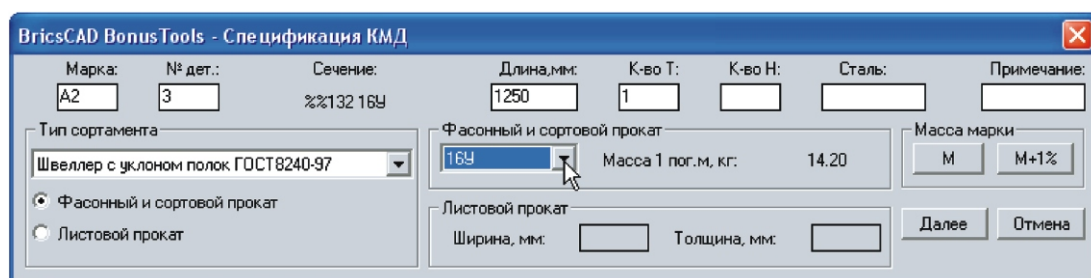


Рис. 5. Общий вид панели инструментов для создания спецификации КМД

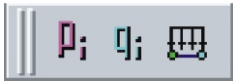


Рис. 6. Общий вид панели инструментов «BT-Расчеты»



Рис. 8. Общий вид панели инструментов «BT-Блоки»



Рис. 7. Общий вид панели инструментов «BT-Текст»



Рис. 9. Общий вид панели инструментов «BT-2D Черчение»

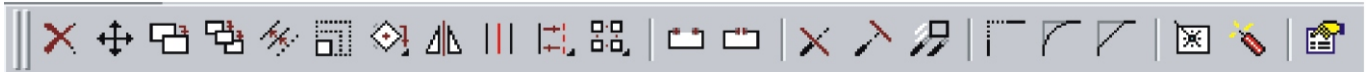


Рис. 10. Общий вид панели инструментов «BT-Редактирование объектов»



Рис. 11. Общий вид панели инструментов «BT-Запрос»



Рис. 12. Общий вид панели инструментов «BT- Размеры»

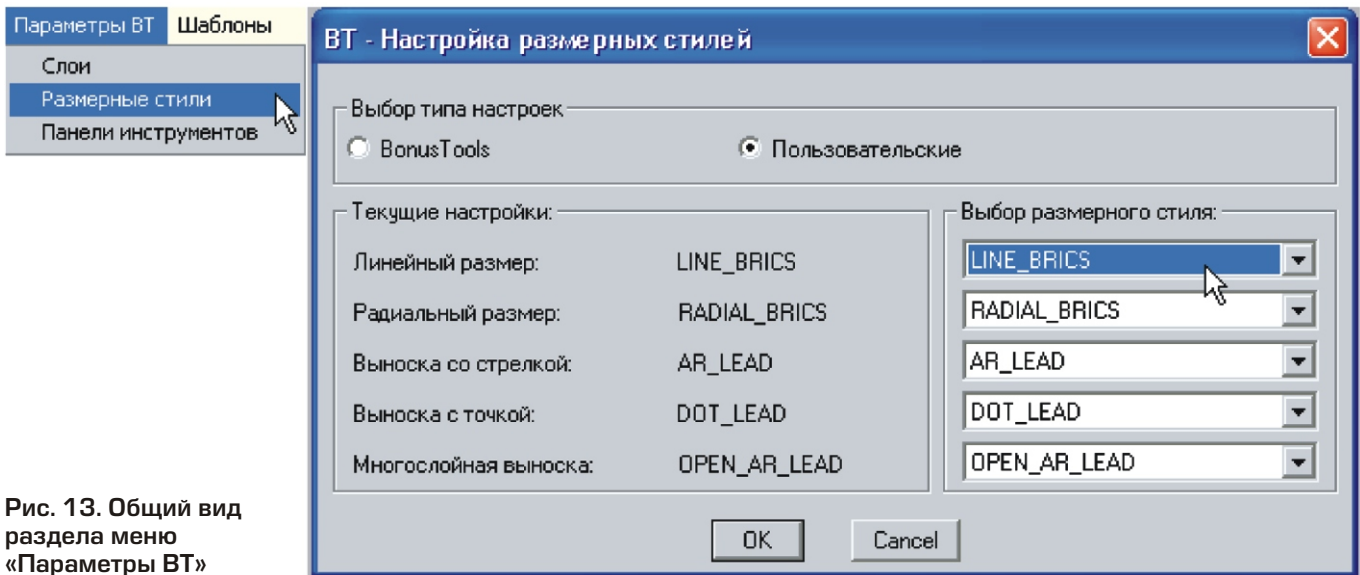


Рис. 13. Общий вид раздела меню «Параметры BT»

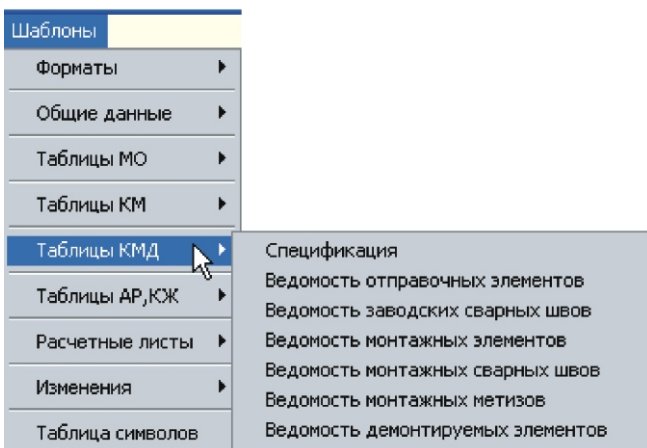


Рис. 14. Общий вид раздела меню «Шаблоны»

**Панель инструментов «BT-Расчеты»** (рис. 6) – содержит инструменты вставки символов и

условных обозначений, используемых при создании расчетных схем конструкций.

**Панель инструментов «BT-Текст»** (рис. 7) – кроме стандартных функций BricsCAD в ее состав входит набор дополнительных инструментов для создания и редактирования текстовых объектов.

**Панель инструментов «BT-Блоки»** (рис. 8) – включает инструменты создания и редактирования блоков и атрибутов.

Кроме того, взамен некоторых существующих базовых панелей инструментов BricsCAD предлагается использование их аналогов из BricsCAD BonusTools, содержащих ряд дополнительных инструментов, с одновременным исключением из состава этих панелей редко используемых функций.

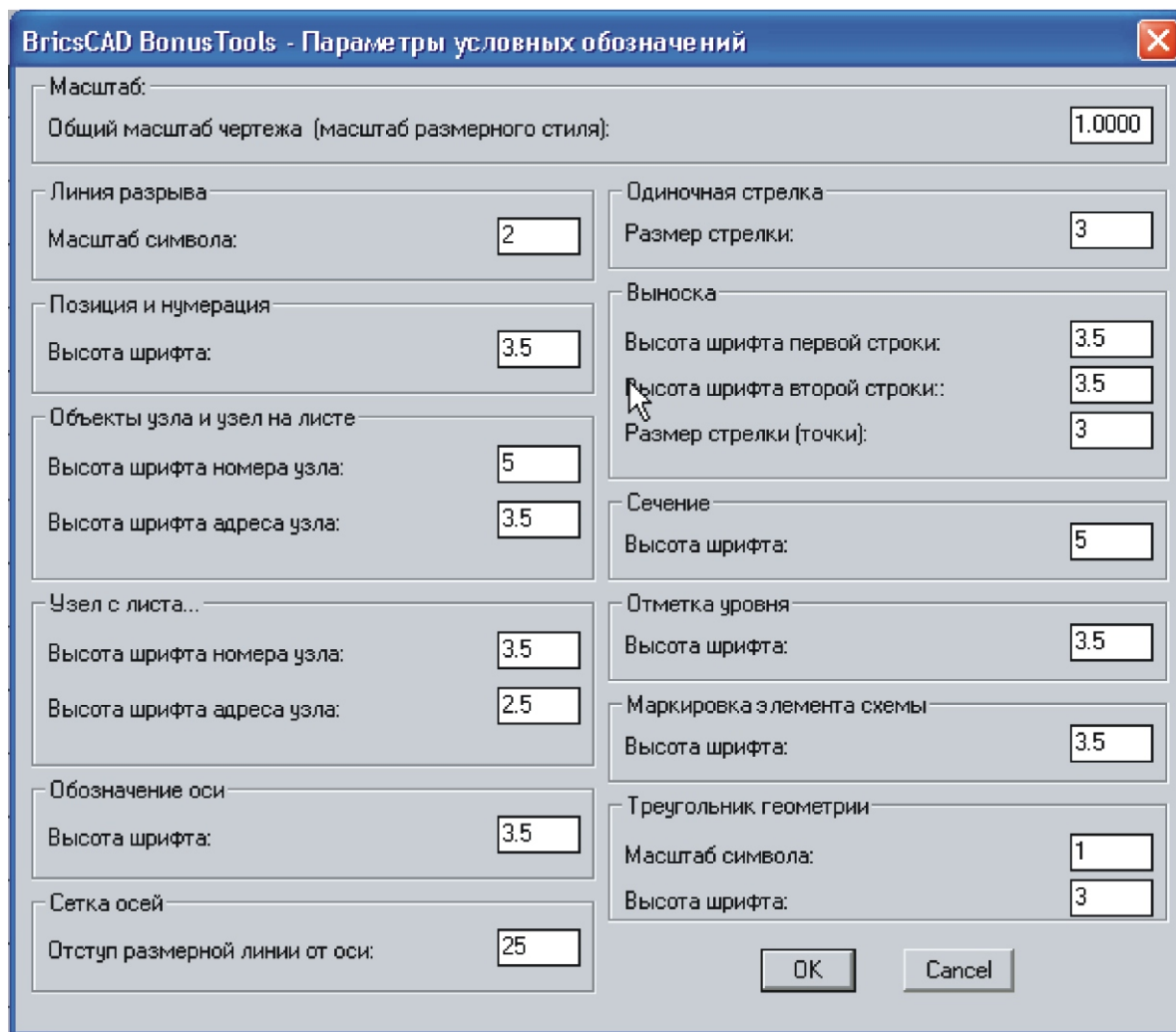
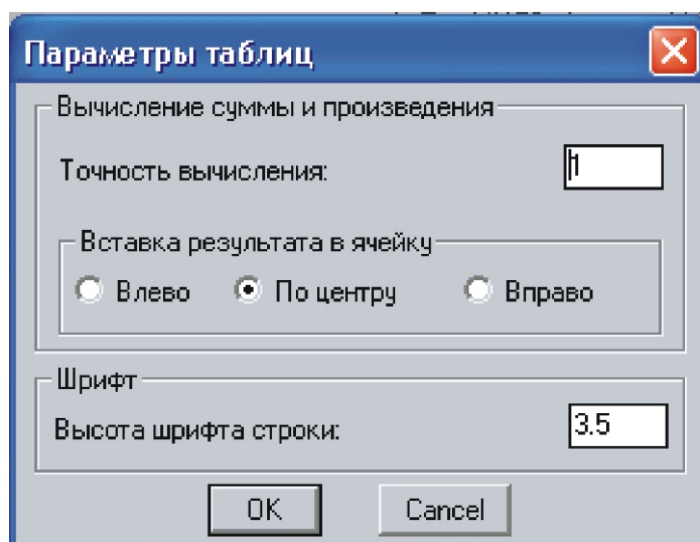
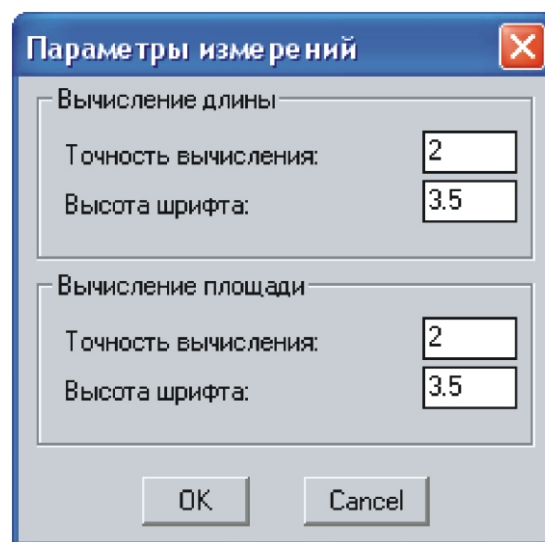


Рис. 15. Общий вид раздела меню «Параметры условных обозначений»



а



б

Рис. 16. Общий вид разделов меню настройки параметров таблиц (а) и измерений (б)

**Панель інструментів «ВТ-2D Черчение»** (рис. 9) – доповнена інструментами «Отрезок с отступом» (вычерчивание отрезка с указанием отступа его начала от заданной точки) и «Прямоугольник под углом» (вычерчивание прямоугольника с указанием его ширины, длины и угла поворота относительно заданной базовой точки).

**Панель інструментів «ВТ-Редактирование объектов»** (рис. 10) – ее інструменти включають наступні додаткові функції і макроси: мультикопіювання, побудова бісектриси і середньої лінії, перетворення сплошної лінії в пунктирну і пунктирної в сплошну, створення прямокутних і полярних масивів з використанням діалогового вікна, створення горизонтальних і вертикальних масивів, поворот об'єкта по куту, заданому положенням вказанного на чертежі об'єкта і др.

**Панель інструментів «ВТ-Запрос»** (рис. 11) – доповнена інструментами «Сумма расстояний» и «Площадь помещения».

**Панель інструментів «ВТ-Размеры»** (рис. 12) – при простановці розмірів з використанням її інструментів розмірний стиль визначається автоматично в залежності від вибраного типу розміра.

BricsCAD BonusTools також додають в строку розділов меню **«Параметры ВТ»** (рис. 13) и **«Шаблоны»** (рис. 14).

Розділ меню «Параметры ВТ» забезпечує доступ до загальних налаштувань програми (вибір шрифтів, розмірних стилів, варіантів зображення панелей інструментів), а розділ меню «Шаблоны» в свою чергу забезпечує доступ до бібліотеки шаблонів таблиць, використовуваних при створенні проектною документації.

Пункт «Форматы» розділу меню «Шаблоны» містить функції автоматичного створення стандартних форматів А0–А4 і вставки шаблону основної надписи і бокового штампа чертежа.

В BricsCAD BonusTools також передбачена можливість попередньої налаштування основних параметрів створюваних об'єктів (рис. 15, 16).

В склад пакету BricsCAD BonusTools також входить шрифт UPSK\_GOST.SHX, що містить набір спеціальних символів, використовуваних при створенні проектною документації.

Графічна система для створення чертежів BricsCAD в комплекті з додатковим додатком BricsCAD BonusTools була використана при розробці проектів реконструкції доменного і копрового цехів ОАО «Маріупольський металургічний комбінат ім. Ільича», мартеновського цеха ОАО «Металургічний комбінат «Азовсталь», спортивного комплексу «Металлург» в г. Артемовське, збудованого локомотивно-вагонного депо Стойленського ГОКа (Росія), при проектуванні нової шахтної печі для виробництва вапна ОАО «Магнітогорський металургічний комбінат» (Росія) і багатьох інших об'єктів.

Опыт использования BricsCAD в комплекте с дополнительным приложением BricsCAD BonusTools в Мариупольском комплексном отделении ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» показал, что этот программный продукт обладает достаточной адаптационной гибкостью и дает возможность при относительно невысоких финансовых затратах организовать качественное компьютеризированное рабочее место инженера-проектировщика. Использование дополнительных приложений, работающих на платформе BricsCAD, позволяет не только заметно повысить производительность труда, но и обеспечивает высокое качество выпускаемой проектной документации. Кроме того, при условии появления широкого спектра приложений и программных комплексов, использующих BricsCAD в качестве базовой платформы, эта графическая система сможет твердо занять позиции реальной альтернативы более дорогостоящим программам, применяемым сегодня в строительной отрасли для подготовки проектной документации.

---

*За роз'ясненнями, консультаціями, по питаннях виконання проектних і розрахункових робіт звертатися в Маріупольське комплексне відділення ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция ім. В.Н. Шимановського» (Україна, 87547, Донецька область, г. Маріуполь, ул. К. Либкнехта, 177; тел.: (0629) 53-68-54, факс: (0629) 51-14-25, ел. пошта: mkopsk@itcom.net.ua*

Надійшла 10.10.2007 р. 

## ЗАСТОСУВАННЯ МОНОЛІТНОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ НАКЛАДНОЇ ПЛИТИ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ БАЛКОВИХ АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ

**С**еред відомих базових способів розширення балкових прогонових будов одним із найбільш ефективних вважається застосування залізобетонної накладної плити з консолями, яку влаштовують зверху існуючих балок без розширення і реконструкції опор [1, 2, 4]. Розширення накладною плитою і включення її в сумісну роботу з існуючими балками в комплексі вирішує основні завдання реконструкції моста: забезпечення необхідної ширини проїжджої частини і тротуарів, збільшення загальної поперечної жорсткості прогонової будови і поліпшення її просторової роботи, підсилення існуючих балок до необхідної несучої здатності і жорсткості, покращення динамічних характеристик, заміна елементів мостового полотна з відмовою від, як правило, дефектних деформаційних швів, поліпшення умов і комфортності руху, надання споруді сучасного архітектурного вигляду та ін. Застосування плоскої монолітної накладної плити дозволяє надійно забезпечити її сумісну роботу з існуючими балками, що особливо важливо для збірних елементів із порушеними поперечними зв'язками, і максимально спростити технологію влаштування.

Метою даної роботи є спроба узагальнити досвід галузевої науково-дослідної лабораторії (ГНДЛ-88) НУ «Львівська політехніка» з проектування і виконання експериментальної реконструкції системи розширення прогонових будов плоскою монолітною залізобетонною накладною плитою при забезпеченні їх габаритів і вантажопідйомності згідно з вимогами чинних норм проектування нових мостів. Нижче наведені характерні приклади конструктивних рішень розширення декількох типів монолітних і збірних прогонових будов із балок без попереднього напруження і попередньо напружених, основою реконструкції яких було розширення габариту плоскою монолітною залізобетонною накладною плитою. Проектна документація на реконструкцію всіх описаних нижче мостів розроблена в ГНДЛ-88 Національного університету «Львівська політехніка».

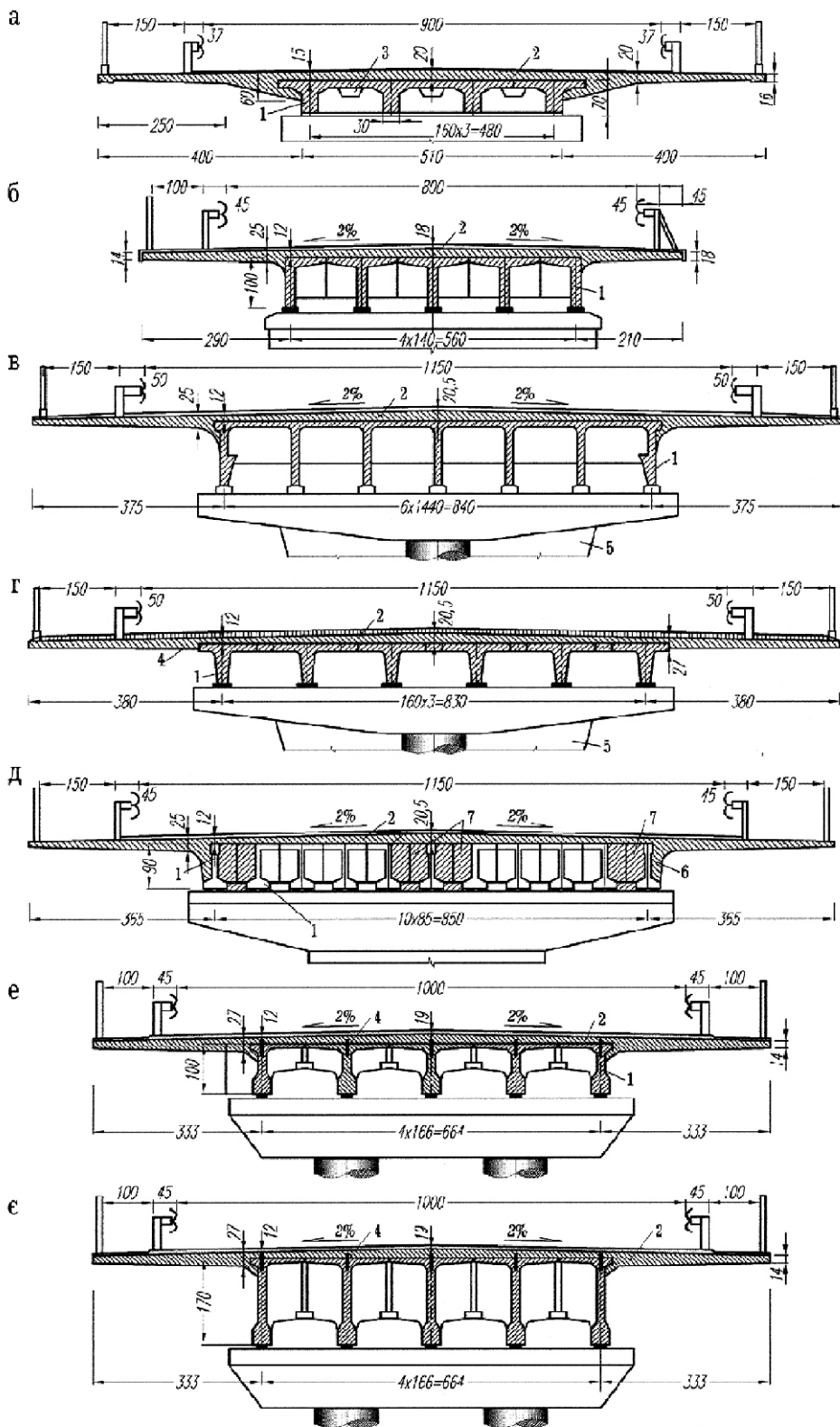
**Конструктивні рішення розширення прогонових будов.** У групу експериментальної реконструкції увійшли збудовані у великій кількості



**В.Г. Кваша**  
завідувач кафедри мостів  
та будівельної механіки  
Національного університету  
«Львівська політехніка»,  
д.т.н., професор

(до 80 %) і найбільш розповсюджені на дорогах України типи залізобетонних прогонових будов малих і середніх прогонів (до 25...33 м) масового будівництва (рис. 1), а саме: будови довоєнної і першого десятиріччя повоєнної побудови (рис. 1, а) [3, 4, 6]; збірні залізобетонні діафрагмові (рис. 1, б, в) і бездіафрагмові (рис. 1, г) прогонові будови з багаторядковою каркасною арматурою без попереднього напруження, збудовані в 50–60-ті роки минулого сторіччя за першими розробленими ПП «Союздорпроект» типовими проектами вип. 56 і 56д та його пізнішими модифікаціями [3, 4, 5, 8, 10]; збірні перехресно-ребристі прогонові будови з попередньо напружених балок за типовими проектами 50–60-х років, серед яких найбільшого розповсюдження набули розроблені в УкртрансдорНДІ (тепер ДерждорНДІ) струнобетонні балки завдовжки 11,36, 16,76 та 22,16 м (ВТП-16, рис. 1, д) [3, 4, 7], армовані пакетом струн із високоміцного дроту 3–5 мм, а також збірні залізобетонні балки довжиною до 33 м, армовані пучками з високоміцного дроту 5 мм із натягом арматури на упори і на бетон (рис. 1, е, є) [9]. Переважна більшість прогонових будов із попередньо напружених балок мають задовільний технічний стан і достатню вантажопідйомність, але не задовольняють нормовані вимоги за габаритом проїжджої частини і потребують розширення, а у разі виявлення дефектів у балках – і їхнього підсилення. Крім того, результати випробувань показали також їх незадовільні динамічні характеристики. При швидкостях руху транспортних засобів у діапазоні 20–40 км/год, що є характерним для вузьких мостів, має місце збіжність частот власних і вимушених коливань, тобто робота балок у найбільш не вигідному резонансному режимі [3]. Тому для їхнього виведення з резонансної зони частот і амплітуд коливань





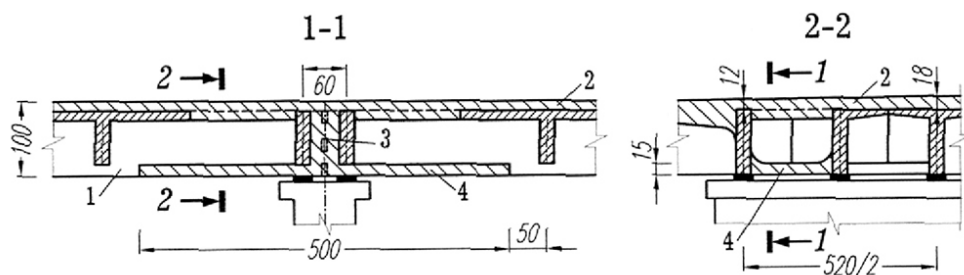
**Рис. 1. Схеми розширення прогонових будов різних типів монолітною залізобетонною накладною плитою:**

1 – існуючі будови; 2 – монолітна залізобетонна накладна плита з консолями; 3 – шпонкове з'єднання накладної плити з існуючими балками; 4 – замонолічений клеєстрижневий анкер; 5 – залізобетонні стіни підсилення ригеля опори; 6 – обетонування фасадної поверхні крайньої балки; 7 – монолітні вставки підсилення балок

необхідне збільшення експлуатаційної швидкості транспортних засобів і маси прогонових будов, що забезпечується розширенням останніх накладною плитою.

Прогонові будови всіх перерахованих типів розширені за однією конструктивною схемою плоскою монолітною залізобетонною плитою з консолями завдовжки до 3–4 м у залежності від ширини існуючої будови і необхідного габариту розширення.

Застосування монолітної накладної плити особливо ефективно в комбінації з перетворенням розрізної системи прогонової будови в нерозрізну, що дозволяє зміною її статичної схеми суттєво розвантажити існуючі балки в прогонах, а також уникнути влаштування деформаційних швів. Цей варіант розширення реалізований при реконструкції моста, поперечний переріз якого показаний на рис. 1, б [8]. Існуючий залізобетонний міст мав конструктивну схему 4 16,8 м, загальною довжиною 73,04 м із габаритом Г-6 + 2 0,75 м. Нерозрізність над проміжними опорами (рис. 2) створювали бетонуванням у проміжках між опорними діафрагмами існуючих балок потужних армованих опорних ребер, об'єднаних із накладною плитою, яку в надопорних ділянках для сприйняття опорного згинального моменту додатково армували сітками. З цією ж метою зварюванням арматурних коротунів об'єднували в надопорному перерізі верхні стрижні 2 32, розміщені в ребрах існуючих балок суміжних прогонів.



**Рис. 2.** Деталь надпорної ділянки прогонової будови при перетворенні її з розрізної в нерозрізну:

1 – існуючі балки; 2 – монолітна залізобетонна накладна плита; 3 – надпорне поперечне ребро; 4 – нижня плита стиску

Для сприйняття опорного моменту на приопорній ділянці між суміжними крайніми найбільше навантаженими балками влаштована нижня плита стиску. Таким чином ребра балок разом із нижньою і верхньою плитами утворюють на цій ділянці коробчастий переріз, що значно збільшує поперечну жорсткість прогонової будови. Для забезпечення вільного доступу в зону бетонування нижньої плити верхню полицю існуючих балок на відповідних ділянках видаляли.

Результати перевірних розрахунків крайніх балок прогонових будов завдовжки 22–33 м після розширення і включення в роботу накладної плити показали недостатню несучу здатність на сприйняття згідно з новими нормами проектування мостів ДБН В.2.3-14:2006 тимчасових навантажень А15 і НК-100. Тому для її забезпечення при реконструкції ці балки підсилили за новітньою технологією фірми Sika наклеюванням у нижній розтягнутій зоні стрічок із вуглецевих композитів CFRP як додаткового зовнішнього армування. Детально особливості даної системи підсилення описані в [4, 5, 9, 11].

**Об'єднання накладної плити з існуючими балками.** Сумісну роботу накладної плити з існуючими балками і передачу зсувних сил у горизонтальних швах сполучення, яка забезпечує напружено-деформований стан складеного перерізу, близький до відповідного стану суцільного, забезпечують об'єднанням спеціальними анкерними елементами, які сприймають зсувні і відривні зусилля, а також динамічні впливи. В залежності від типу розширюваної прогонової будови застосовували різні типи дискретних елементів.

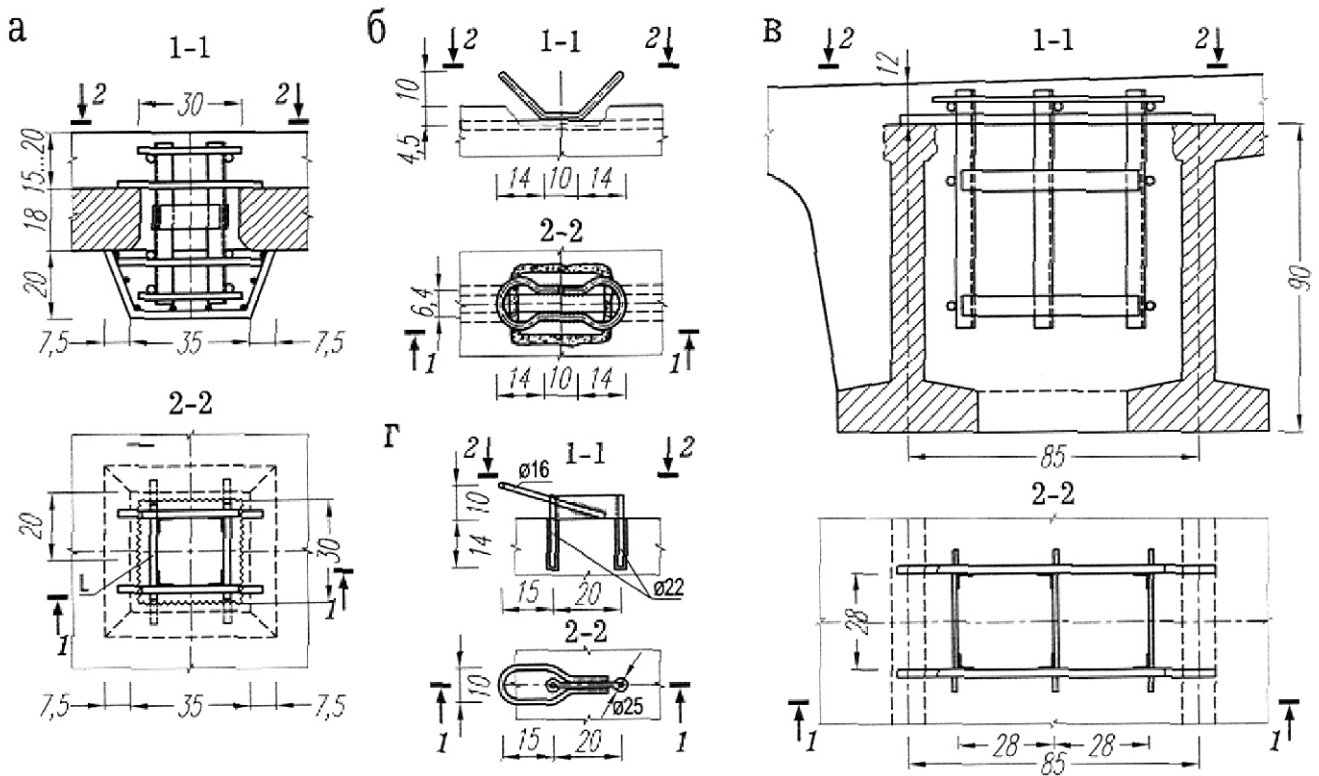
При розширенні монолітної прогонової будови (рис. 1, а) накладну плиту об'єднували з існуючими поздовжніми і поперечними балками через плиту проїжджої частини шпонковими з'єднаннями з жорсткою арматурою (рис. 3, а). Шпонки розміщували вздовж і поперек прогону

між ребрами балок у вирізаних в існуючій плиті вікнах розмірами 30 × 30 см, в які вертикально до площини зрізу між старим і новим бетоном заводили жорстку арматуру з кутиків. Для забезпечення надійної роботи шпонок на відрив і закриття відколів на нижній поверхні плити при вирізанні в ній вікон зі сторони нижньої поверхні влаштовані армовані анкерні потовщення. Шпонки і накладні плити бетонували одночасно.

У прогонових будовах за ТП вип. 56 і 56д (рис. 1, б, в, г) сумісну роботу накладної плити з існуючими балками забезпечували їхнім об'єднанням за допомогою гнучких петльових анкерів, приварених до місцево оголеної верхньої поздовжньої арматури 2 × 32 мм у кожному ребрі (рис. 3, б), у будові із струнбетонних балок (рис. 1, д) накладну плиту об'єднували з існуючими балками за допомогою жорстких анкерів із кутиків, замонолічених у поздовжніх монолітних вставках підсилення балок при їх бетонуванні (рис. 3, в).

У прогонових будовах із попередньо напружених балок (рис. 1, е, є), армованих пучковою арматурою, накладну плиту об'єднували для сумісної роботи з існуючими балками петльовими анкерами, привареними до жорстких клеєштирьових упорів, кожен із яких закріплений до ребра балок двома стрижнями 22 мм, вклеєними цементно-епоксидним розчином SikaGroud 311 у заздалегідь висвердлені канали 25 мм на глибину 140 мм (рис. 3, г).

**Виконання робіт із підсилення балок і влаштування накладної плити.** Стрічки CFRP наклеювали після видалення всіх елементів мостового полотна при мінімальній навантаженні балок тільки їхньою власною вагою згідно з вимогами технології Sika [5, 9, 11]. Перед наклеюванням стрічок була виконана репрофіляція і вирівнювання бетонної основи в межах наклеювання комплексною системою матеріалів Sika Monotop, а також її очищення і знежирення спеціальним



**Рис. 3. Деталі об'єднання монолітної залізобетонної накладної плити з існуючими балками:**

**а** – шпункове з'єднання з жорсткою арматурою і нижнім анкерним потовщенням; **б** – гнучкі петльові анкери, приварені до місцево оголеної арматури 2 З2; **в** – замоноличені жорсткі анкери з кутиків; **г** – петльові анкери, закріплені до клеєштирьових упорів

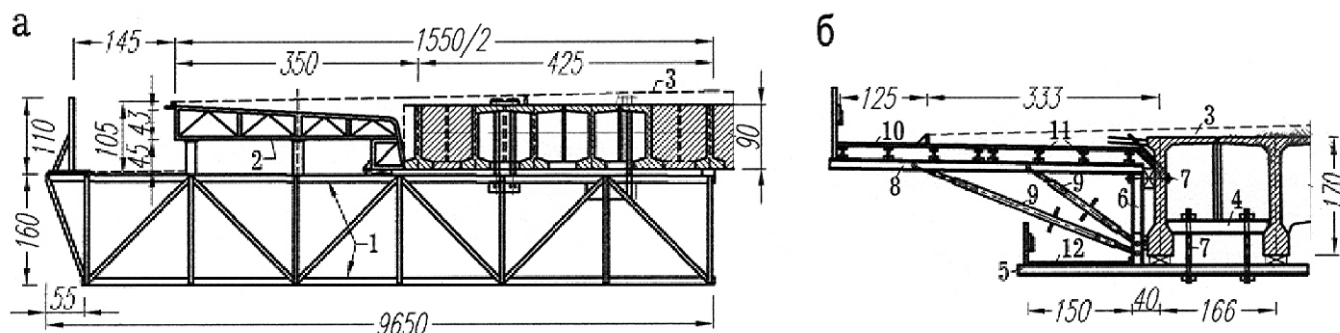
розчином. Роботи виконували з підвісних риштувань. Час наклеювання стрічок на одну балку з технологічними перервами складав 4–6 годин. Після наклеювання на поверхню стрічок наносили захисний шар із епоксидно-цементного розчину.

Для бетонування консолей накладної плити при розширенні монолітної прогонової будови за схемою на рис. 1, а влаштовували дерев'яну опалубку, яку збирали на місці з окремих брусків і дошок, укладених на дерев'яні риштування, стояки яких обпирали на дерев'яні лежневі опори, укладені на ущільнену ґрунтово-щебеневу основу. Незважаючи на ретельну підготовку і закріплення елементів опалубки, дощатий настил був виконаний без щільного підганання дошок, які на окремих ділянках прогинались під вагою укладеного бетону, а в непідігнані шви між дошками запливало цементне тісто. Тому нижня поверхня консольної ділянки накладної плити мала нерівності, напливи бетону, численні раковини, які погіршили її естетичний вигляд. У цілому використання дерев'яної опалубки для бетонування консолей не забезпечує

належної якості відкритих поверхонь і їх естетичний вигляд.

Тому для бетонування консолей накладної плити на наступних об'єктах за схемами на рис. 1, б, в, г, д та ін. у ГНДЛ-88 розроблена інвентарна підвісна металева опалубка, принципова схема якої показана на рис. 4, а. Опалубка складається з підвісної несучої системи у вигляді металевих спарених ферм, підвішених до балок прогонової будови через 2,7 м уздовж прогону (в створі діафрагм) і для забезпечення жорсткості об'єднаних між собою зв'язними фермами. На несучій системі були змонтовані металеві блоки опалубки з просторових ферм, покритих по контактній з бетоном поверхні металевим листом завтовшки 3 мм. Просторове положення блоків опалубки регулювалось болтовими і клиновими пристроями, розташованими між спареними фермами.

Інший варіант опалубки використали для бетонування консольних ділянок накладної плити при розширенні прогонових будов за схемами на рис. 1, е, є (рис. 4, б) Опалубку зібрали з стандартних елементів несучої опалубки TOP 50



**Рис. 4. Схеми підвісної опалубки ГНДЛ-88 (а) і фірми Дока (б) для бетонування консолей накладної плити:**

1 – підвісні металеві ферми; 2 – блоки опалубки; 3 – контур накладної плити; 4 – опорні попереччини; 5, 8 – нижній і верхній ригелі; 6 – стійка; 7 – стяжні болти; 9 – шпindelьні розкоси; 10 – деревофанерні плити; 11 – балки Н20Р; 12 – нижній робочий настил

фірми Дока: сталевих ригелів WS10 і шпindelьних розкосів різної довжини, з яких змонтували підвісну несучу систему опалубки, основним несучим елементом якої є опорні попереччини, обперті на консольні звіси нижньої полиці балок. До них болтами притягували нижній ригель із стандартних елементів WS10. Стійки впирали в ригель і притягували болтами через дерев'яні прокладки до ребра крайньої балки. Верхній ригель обпирали на стійку і підтримували шпindelьними розкосами Т6 і Т7, якими регулювали проектне положення верхнього ригеля. Обшивка опалубки виконана з тришарових деревофанерних плит 3-SO 21 мм, обпертих і закріплених цвяхами до стандартних балок Н20Р. Комплект об'єднуючих і кріпильних елементів опалубки підібраний із номенклатури виробів фірми Дока.

Бетонування накладної плити на розглянутих об'єктах реконструкції виконували за різною технологією. Так, на мостах за схемами на рис. 1, а, д (монолітна і струнобетонна прогонові будови) через неможливість закриття руху накладну плиту бетонували по чергові на обох половинах моста, використовуючи вільну смугу існуючої або нововлаштованої на забетонованій ділянці плити проїжджої частини для одностороннього пропуску автотранспорту при забезпеченні його регулювання з заданою швидкістю, інтервалом і в межах допустимої ваги транспортних засобів.

На інших об'єктах (рис. 1, б, в, г, е, є) плиту бетонували при закритому русі одночасно на всю ширину моста, при використанні опалубки за схемою на рис. 4, а – захватками на наявний її комплект довжиною до 24,0 м. Показовим і тех-

нологічно найбільш сучасним було бетонування плити на мосту за схемою на рис. 1, е, є. Двосторонню підвісну опалубку (рис. 4, б) з елементів фірми Дока встановлювали відразу на всю довжину моста, а також на всі балки прогонових будов, замонолічували клеєштирьові анкери об'єднання з накладною плитою і виконували її армування. Після закінчення цих робіт бетонування накладної плити було безперервним на всю її площу розмірами 13,3 × 84 м. Бетонну суміш подавали бетононасосами, а її консистенцію з осадкою конуса 18–20 см забезпечували пластифікуючими домішками за рекомендаціями ДерждорНДІ. Склад бетонної суміші був прийнятий Ц : П : Щ = 1 : 1,56 : 2,38 при В/Ц = 0,39...0,41.

Після виконання основних робіт на останньому етапі реконструкції виконували комплекс ремонтних і відновлювальних робіт із ліквідації пошкоджень і дефектів прогонових будов і опор, а також їхнього захисту від агресивних впливів зовнішнього середовища та можливої корозії в процесі майбутньої експлуатації. Як експеримент застосовували ремонтно-відновлювальні системи з високоякісних і довговічних матеріалів відомих фірм Sika, Gemite Produkt inc. та ін. Загальний вигляд реконструйованого шляхопроводу (рис. 1, в, г) після виконання такого ремонту показаний на рис. 5. Аналогічні ремонти виконані і на інших описаних об'єктах реконструкції.

Основні види ремонтних робіт: видалення зруйнованих і прокородованих шарів бетону; відкриття арматури, піскоструменева її очищення від корозії та нанесення антикорозійного покриття; піскоструменева обробка відновлю-



Рис. 5. Загальний вигляд шляхопроводу після реконструкції

ваних поверхонь бетону; нанесення ремонтних матеріалів мокрим торкретуванням або оштукатурюванням; фарбування відкритих поверхонь захисними фарбами. Основні групи ремонтних матеріалів: бетони і розчини для торкретування, заповнення раковин, репрофіляції поверхонь, ін'єктування тріщин; покриття з інгібіторами корозії для антикорозійного захисту арматури; фарби і покриття для захисту відремонтованих і існуючих бетонних поверхонь від карбонізації та агресивних впливів зовнішнього середовища; ізоляційні матеріали для якісної ізоляції проїжджої частини і тротуарів.

В основу вибору ремонтних матеріалів був покладений принцип об'єктивних економічних розрахунків за основним принципом господарювання в умовах ринкової економіки – ціна ремонтних систем (ціна + технологія) віднесена до гарантованого міжремонтного періоду експлуатації. Досвід застосування якісних ремонтних систем відомих міжнародних фірм свідчить, що здебільшого дороги, але високоякісні матеріали є більш рентабельними, ніж дешеві матеріали і технології, оскільки незначний термін виконання робіт і тривалий післяремонтний період безвитратної експлуатації є найважливішими економічними чинниками.

Проведена апробація фірмових матеріалів і технологій ремонту показала, що вони є ефективними, доступними за вартістю і можуть знайти широке застосування в Україні, враховуючи простоту виконання робіт, а також велику кількість об'єктів, які потребують ремонту.

**Випробування прогонових будов на різних етапах реконструкції.** Найбільші сумніви виникають щодо можливості розширення монолітною накладною плитою будов за ТП вип. 56 (рис. 1, б, в), а також попередньо напружених завдовжки 33,0 м (рис. 1, є). Тому в процесі реконструкції був виконаний комплекс порівняльних випробувань до та після підсилення крайніх балок, а також після влаштування накладної плити перед здачею моста в експлуатацію [5, 8, 9]. До розширення випробування проводили після видалення всіх елементів існуючого мостового полотна, тобто при мінімальному постійному навантаженні тільки від власної ваги балок.

Прийняті етапи випробувань дали можливість безпосереднім порівнянням прогинів балок при однакових схемах випробувального навантаження оцінити вплив включення в роботу з існуючими балками стрічок підсилення як наклеєного додаткового зовнішнього армування і монолітної залізобетонної накладної плити на міцність, жорсткість і тріщиностійкість балок, тобто виявити ефект підсилення і розширення.

Усі прогонові будови випробовувалися за однаковими схемами статичним навантаженням із двох колон автомобілів КамАЗ (вагою 22,5 т), КрАЗ (24...25 т) і МАЗ (30 т). Уздовж і поперек прогону автомобілі встановлювали в найбільш не вигідне положення за відповідними лініями впливу для одержання максимальної навантаженості крайніх (лівої і правої) балок (рис. 6, а, б, в). До підсилення і розширення прогонові будови випробовували за схемою I із максимальним наближенням колон до осі крайньої балки. Після влаштування накладної плити випробування повторювали за цією ж схемою, що дало можливість безпосереднім порівнянням прогинів виявити ефект включення в роботу накладної плити, а також здійснювали нову схему II з максимальним наближенням колон автомобілів до бар'єра безпеки з виходом крайніх коліс навантаження на консольну ділянку накладної плити, що відповідало максимальній навантаженості як крайніх балок, так і консолі. Прийняті схеми охопили найбільш не вигідні випадки навантаження будов у режимі експлуатації, тобто дали можливість перевірити їхню несучу здатність, жорсткість і тріщиностійкість. Результати випробувань представлені епюрами

експериментальних прогинів, величини і характер розподілу яких між балками дає уяву про просторову роботу прогонових будов та жорсткість і ступінь навантаженості окремих балок.

При випробуваннях за схемою на рис. 1, в [5] прогин крайньої балки до підсилення становив 25,83 мм (1/836 прогону), після підсилення при такій же схемі навантаження зменшився до 17,64 мм (1/1224 прогону), тобто на 34,7 %, а після включення в роботу накладної плити ще зменшився до 8,9 мм, тобто в 1,98 раза порівняно з прогином цієї ж балки після її підсилення. При максимальній навантаженості прогонової балки за схемою II її прогин збільшився до 12,04 мм, але все ж був в 1,46 раза менший ніж до включення в роботу накладної плити.

Прогин крайньої балки за рис 1, б [8] до розширення при навантаженні за схемою I становив 8,0 мм (середній з лівої і правої схем навантаження), після розширення і створення нерозрізності при навантаженні за схемою II (ліва і права) він зменшився до 4,35 мм, тобто в 1,84 ра-

за, що свідчить про значний ефект включення в роботу накладної плити і зміни статичної схеми прогонової будови у напрямку збільшення її жорсткості і вантажопідйомності. Випробування також підтвердили, що після реконструкції будови працювали за нерозрізною статичною схемою, оскільки в суміжних прогонах зафіксовані як прогини, так і вигини балок.

До підсилення середній прогин балок 1 і 5 на рис. 1, є [9] при навантаженні за схемою I складав 22,18 мм, після підсилення при такій же схемі навантаження зменшився до 17,85 мм (на 19,5 %). Після включення в роботу накладної плити прогин цих же балок зменшився до 12,0 мм (на 45,9 %). При максимальній навантаженості крайніх балок (схема II) їхній середній прогин становив 15,92 мм, що на 23,2 % менше прогину цих же балок до підсилення і розширення прогонової будови, і складав 1/2033 прогону при допустимому короткочасному прогині від тимчасових навантажень 1/400 прогону.

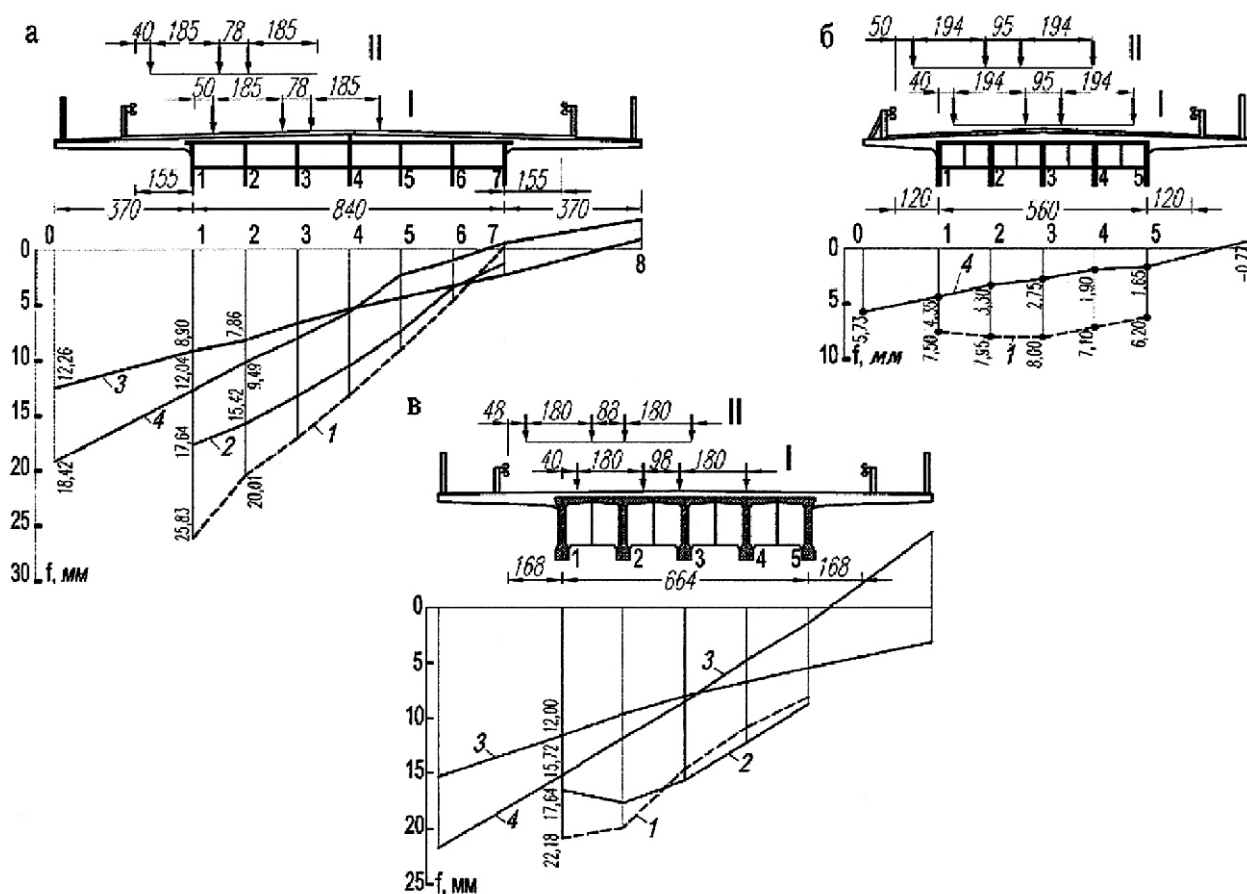


Рис. 6. Схеми випробування прогонових будов статичним навантаженням та епюри прогинів балок до (1) та після (2) підсилення і розширення (3, 4)

Слід також зазначити, що у всіх випробовуваних будовах після включення в роботу накладної плити має місце майже лінійний розподіл прогинів між балками, що є свідченням значного збільшення їхньої поперечної жорсткості.

У цілому наведені експериментальні дані переконливо свідчать про суттєвий вплив накладної плити на збільшення вертикальної жорсткості балок, а абсолютні величини прогинів – про наявність значного резерву вантажопідйомності і можливість експлуатації реконструйованих прогонових будов на нормовані тимчасові навантаження згідно з чинними нормами проектування нових мостів.

#### Висновки.

- Виконана експериментальна реконструкція мостових об'єктів довела реальну можливість застосування монолітної залізобетонної накладної плити для розширення найбільш розповсюджених типів прогонових будов малих і середніх прогонів за нормативами габаритів для доріг II та III технічних категорій при забезпеченні їхньої вантажопідйомності на нормовані тимчасові навантаження за чинними нормами проектування нових мостів із необхідним в окремих випадках підсиленням крайніх балок зовнішнім армуванням із наклеєних композитних стрічок CFRP.
- Особливо ефективним є розширення багатопрогонних мостів із одночасною зміною розрізної статичної схеми на нерозрізну. Розроблені конструктивні рішення технологічні, забезпечують необхідну надійність і вантажопідйомність, а також можливість продовження терміну експлуатації збірних залізобетонних прогонових будов до співпадаючого з новозбудованими мостами.
- Випробування прогонових будов підтвердили, що їхня несуча здатність і деформативність достатні для прийняття нормованих тимчасових навантажень А15 і НК-100, на які була запроектована реконструкція.

- 
- [1] Кваша В.Г. Уширение железобетонных балочных автодорожных мостов накладной плитой // Новые материалы и технологии в промышленном и дорожном строительстве. – К.: Высш. шк., 1990. – С. 109–166.
- [2] Кваша В.Г. Розширення прольотних будов автодорожніх мостів монолітною залізобетонною накладною плитою // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Вип. 3. – Рівне: УДУВГП, 1999. – С. 140–145.
- [3] Кваша В.Г. Обстеження та випробування автодорожніх мостів. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2002. – 102 с.
- [4] Кваша В.Г. Досвід ремонту та реконструкції мостів України // Теорія і практика будівництва. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2006. – № 562. – С. 38–49.
- [5] Кваша В.Г., Мельник І.В., Климпуш М.Д., Рачкевич В.С., Панченко О.В. Підсилення при реконструкції залізобетонної прольотної будови автодорожнього моста приклеєними вуглепластиками // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59. – Книга 2. – С. 164–171.
- [6] Кваша В.Г., Салійчук Л.В. Розширення прольотної будови автодорожнього моста монолітною залізобетонною накладною плитою // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ, 2001. – Вип. 63. – С. 271–275.
- [7] Кваша В.Г., Салійчук Л.В. Розширення струнобетонної прольотної будови монолітною залізобетонною накладною плитою з підсиленням балок і аварійних опор // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ, 2006. – Вип. 73. – С. 116–120.
- [8] Кваша В.Г., Салійчук Л.В., Мельниченко В.В., Лапініна З.Т. Реконструкція автодорожнього моста з прольотними будовами за ТП вип. 56 // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ, 2004. – Вип. 69. – С. 74–81.
- [9] Кваша В.Г., Салійчук Л.В., Собко Ю.М., Мельниченко В.В., Панченко О.В. Реконструкція автодорожнього моста з підсиленням балок  $L = 33$  м наклеєними вуглепластиками та контрольні випробування // Дороги і мости. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – Вип. 7. – С. 203–213.
- [10] Матаров І.А., Смирнова Л.С., Шилина А.П. Сборные железобетонные мосты с многорядной сварной арматурой. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 186 с.
- [11] Lagoda M. Zalecenia dotyczace wzmacniania konstrukcji mostowych przez przklejanie zbrojenia zewnetrznego. – Warszawa, 2002. – 62 s.

Надійшла 10.10.2007 р.

## ПРОФИЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ ТРУБЫ КВАДРАТНОГО И ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

Приводится краткий анализ существующих на данный момент сортиментов профильных труб квадратного и прямоугольного поперечного сечения. Предлагается расширенный сортамент, который по сравнению с ДСТУ Б В.2.6-8-95 во многом сопоставим с европейским стандартом EN 10219-2\*. Излагаются новые разделы ТУ, реализующие основные положения Технического регламента строительных изделий, зданий и сооружений, утвержденного постановлением Кабмина Украины от 20 декабря 2006 года № 1764. ТУ включены в Перечень регламентных технических условий и строительных норм, как учитывающие требования действующего в Украине Технического регламента и Европейского законодательства в сфере действия Директивы Совета Европы 89/106/ЕЭС.

**В** индустриально развитых странах профильные трубы широко используются в промышленном и гражданском строительстве как элементы несущих конструкций зданий и сооружений, а также в машиностроении – для изготовления подъемно-транспортных механизмов, несущих рам транспортных средств, сельхозмашин и др.

Форма полого (замкнутого) сечения имеет ряд преимуществ перед традиционными профилями проката (незамкнутыми), прежде всего с точки зрения устойчивости сжатых стержней и, в результате, – по соотношению «вес/прочность». Поэтому в строительстве и особенно в краностроении широкое применение получили трубчатые конструкции. Однако, крупногабаритные профили прямоугольного и квадратного сечений, будь они освоены нашей промышленностью в массовом порядке, были бы более предпочтительны, чем трубы круглого сечения из-за удобства примыканий плоскими гранями в сопрягаемых элементах металлоконструкций, что упрощает их изготовление и монтаж, снижает трудоемкость. Кроме того, прямоугольное сечение эффективно работает на изгиб, воспринимает местные поперечные нагрузки в плоскости большей жесткости.

Профильные трубы, в т.ч. и для металлостроительства, изготавливались по ГОСТ 8639-82 (квадратного поперечного сечения) и ГОСТ 8645-68 (прямоугольного). Сортаменты по этим ГОСТ распространялись на стальные бесшовные горячекатаные, холоднотянутые и электросварные трубы. В сельскохозяйственном машиностроении, тракторостроении и других отраслях применяются гнутые замкнутые сварные профили, изготавливаемые по ГОСТ 25577-83.



**В.И. Большаков**  
ректор  
Приднепровской государственной  
академии строительства  
и архитектуры, д.т.н., профессор



**О.П. Носенко**  
доцент кафедры материаловедения  
и обработки материалов  
Приднепровской государственной  
академии строительства  
и архитектуры, к.т.н.



**С.В. Сильвестров**  
специалист кафедры материаловедения  
и обработки материалов  
Приднепровской государственной  
академии строительства и архитектуры



**М.Л. Гринберг**  
главный инженер государственного  
предприятия Орган по сертификации  
строительной продукции  
«Центр СЕПРОбудметал», аудитор  
Системы сертификации УкрСЕПРО, к.т.н.



**А.Ю. Тимофеев**  
директор ООО «Югтрансстройкомплект»



**В.И. Синаговский**  
заместитель директора  
ООО «Югтрансстройкомплект»

\* Одним из основоположников разработок по производству профильных труб расширенного сортамента является Яловый А.И. (ООО «ЮТСК»).



Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве разработала ДСТУ Б В.2.6-8-95 (ГОСТ 30245-94) «Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций. Технические условия». Указанный ДСТУ был введен впервые в апреле 1996 г.

Краткая характеристика трубчатых профилей, приведенных в отечественных стандартах, представлена в табл. 1.

Поскольку мы рассматриваем сортамент трубчатых профилей применительно к изготовлению металлоконструкций, то сопоставим отечественные сортаменты и европейский EN 10219-2:1997 с ДСТУ Б В.2.6-8-95 (ГОСТ 30245-94). Проведен-

Таблица 1

Обозначение стандарта	Поперечное сечение	Кол-во профилей	Размеры профиля, мм		Шаг профилей (в диапазоне), мм
			минимальный	максимальный	
ГОСТ 8639-82	Квадратное	19 10	10 10 1,0	180 180 8,0... 14,0	5 (вкл. 50 50 3,0... 8,0)
					10 (от 50 50 3,0... 8,0; вкл. 120 120 6,0... 9,0)
					10 (от 140 140; вкл. 150 150 7,0... 10,0)
					20 (от 120 120 6,0... 9,0; вкл. 140 140 6,0... 9,0)
					30 (от 150 150 7,0... 10,0; вкл. 180 180 8,0... 14,0)
ГОСТ 8645-68	Прямоугольное	18 (49) 10 (26)	15 10 1,0... 2,0	180 150 8,0... 12,0	5 (вкл. 50 40 2,0... 4,0)
					10 (от 50 40 2,0... 4,0; вкл. 120 80 5,0... 8,0)
					10 (от 140 120 5,0... 9,0; вкл. 150 100 6,0... 10,0)
					20 (от 120 80 5,0... 8,0; вкл. 140 120 6,0... 9,0)
					30 (от 150 80 6,0... 10,0; вкл. 180 100 8,0... 12,0)
ГОСТ 25577-83	Квадратное	10	80 80 4,0	150 150 8,0	80 80 4,0;
					100 100 4,0... 5,0;
					110 110 6,0;
					140 140 5,0... 8,0;
					150 150 8,0
	Прямоугольное	3	150 100 8,0	230 100 8,0	150 100 8,0;
					160 130 7,0;
230 100 5,0... 8,0					
ДСТУ Б В.2.6-8-95 (ГОСТ 30245-94)	Квадратное	10	50 50 2,0... 5,0	300 300 8,0... 14,0	20 (от 80 80 2,5... 6,0; вкл. 200 200 5,0... 14,0)
					50 (от 200 200 5,0... 14,0; вкл. 300 300 8,0... 14,0)
	Прямоугольное	12 (18)	60 40 2,0... 5,0	400 200 10,0... 14,0	20 (от 100 60 3,0... 6,0; вкл. 200 160 8,0... 14,0)
					20 (от 300 200 8,0... 14,0; вкл. 340 260 10,0... 14,0)
					20 (от 380 220 10,0... 14,0; вкл. 400 200 10,0... 14,0)
					100 (от 200 160 5,0... 10,0; вкл. 300 200 8,0... 14,0)

**Примечание.** Числитель – количество профилей, в скобках – профилеразмеров.  
Знаменатель – количество профилей (профилеразмеров), применяемых для изготовления металлоконструкций.

ний аналіз показує, що, во-первых, при практично однаковому кількості профілів в українських сортаментах (ГОСТ 8639 і ГОСТ 8645) кількість крупногабаритних профілів всього обмежено – 10 квадратного і 12 прямокутного поперечного сечення. При цьому максимальний розмір профілів по одній із сторін в українських сортаментах не перевищує 180 мм, а в європейському – 220 мм для квадратного поперечного сечення. ДСТУ Б В.2.6-8-95 в цьому сенсі більш актуальний, т.к. в ньому передбачені профілі квадратного поперечного сечення зі сторонами 250 і 300 мм; во-вторых, трубчасті профілі прямокутного поперечного сечення із сортаменту по EN 10219-2:1997 як по кількості профілів і профілерозмірів, так і по розмірам крупногабаритних профілів перевищують українські сортаменти; в т.ч. згідно ДСТУ Б В.2.6-8-95 (ГОСТ 30245-94); в-третьєх, EN 10219-2:1997 перевищує всі українські стандарти по ширині діапазону застосовуваних товщин стінок як в сторону мінімальних, так і в сторону максимальних. Наприклад, діапазон товщин стінок для профіля 400 300 по EN 10219-2:1997 – від 8 до 16 мм, для профіля 400 200 по ДСТУ Б В.2.6-8-95 – від 10 до 14 мм.

Коротка характеристика трубчастих профілів в відповідності з EN 10219-2:1997 приведена в табл. 2.

По порівнянню з зарубіжними виробниками профільні труби в Україні випускаються в відносно вузькому діапазоні по розмірній частині (10 профілерозмірів квадратного і 16 – прямокутного сечення), товщинам стінок і сортаменту сталей. Так, промислово освоєними зараз є профілі з максимальними розмірами 140 140, 140 80, 140 60 мм і товщиною стінки 6 мм (в деяких випадках до 7–8 мм). З розвитком ринку і новими потребами в профільних трубах виникає необхідність розширення сортаменту і спостерігається подальше сегментування учасників ринку.

Всі профільні труби виготовляються в основному на неперервних станах із труб круглого сечення як гарячекатаних безшовних, так і електросварних із штрипсів. При цьому, при наявності замовлень на виробництво профільних труб квадратного або прямокутного сечення, обладнання трубопрокатних і трубоелектросварочних станів, призначене для випуску труб круглого сечення, переобладнається. Формозміна круглих труб на профільні здійснюється в калібрувальній групі неперервного стану (використовуваної звичайно для калібрування діаметра круглих труб) з розміщенням сусідніх клітьок під кутом 90°.

В зв'язі з викладеним замовлення на виробництво профільних труб приймаються об'ємом

Таблиця 2

Поперечне сечення	К-во профілів	Розміри профіля, мм		Шаг профілів, мм
		мінімальний	максимальний	
Квадратне	17 12	20 20 2,0	220 220 5,0... 12,5	5 (вкл. 30 30 2,0... 3,0)
				10 (от 30 30 2,0... 3,0; вкл. 100 100 3,0... 12,5)
				10 (от 140 140 4,0... 12,5; вкл. 160 160 4,0... 16,0)
				20 (от 100 100 12,5; вкл. 220 220 5,0... 12,5)
Прямокутне	18 (27) 16 (25)	40 20 2,0... 3,0	400 300 8,0... 16,0	10 (вкл. 100 80 25... 6,3)
				10 (от 250 150 5,0... 16,0; вкл. 260 180 5,0... 16,0)
				20 (от 100 80 2,5... 6,3; вкл. 200 120 4,0... 12,5)
				40 (от 260 180 16,0; вкл. 300 200 6,0... 16,0)
				50 (от 200 120 12,5; вкл. 400 300 8,0... 16,0)

**Примечание.** Числитель – количество профилей, в скобках – профилеразмеров.  
Знаменатель – количество профилей (профилеразмеров), применяемых для изготовления металлоконструкций.

не менее монтажной партии (непрерывной работы оборудования в течение смены) или, как минимум, не менее вагонной нормы. При этом производятся только определенные профилирумеры, как правило, с градацией всего по одной-двум толщинам стенки. Такое положение не устраивает заказчиков, которые желают получать профильные трубы в объеме значительно меньшем, чем монтажная партия или вагонная норма и обязательно с минимальной толщиной стенки в соответствии с прочностными расчетами конструкций.

С целью решения этой проблемы днепропетровской компанией ООО «Югтрансстрой-комплект» (ЮТСК) был построен и введен в эксплуатацию специализированный цех по производству только профильных труб, включая крупногабаритные сечения. За счет увеличения мощности приводов и прочностных характеристик рабочих клетей стало возможным расширение сортамента в сторону увеличения профилирумеров, включая толщину стенки. На установленном уникальном оборудовании возможно производство профильных труб из низколегированных сталей повышенной прочности, более того возможно осуществление формоизменения труб за счет «теплой» прокатки. Для обеспечения технологического процесса по производству профильных труб предусмотрено возведение комплекса в составе производственного цеха, административно-бытового корпуса, площадки трансформаторной подстанции и компрессорной.

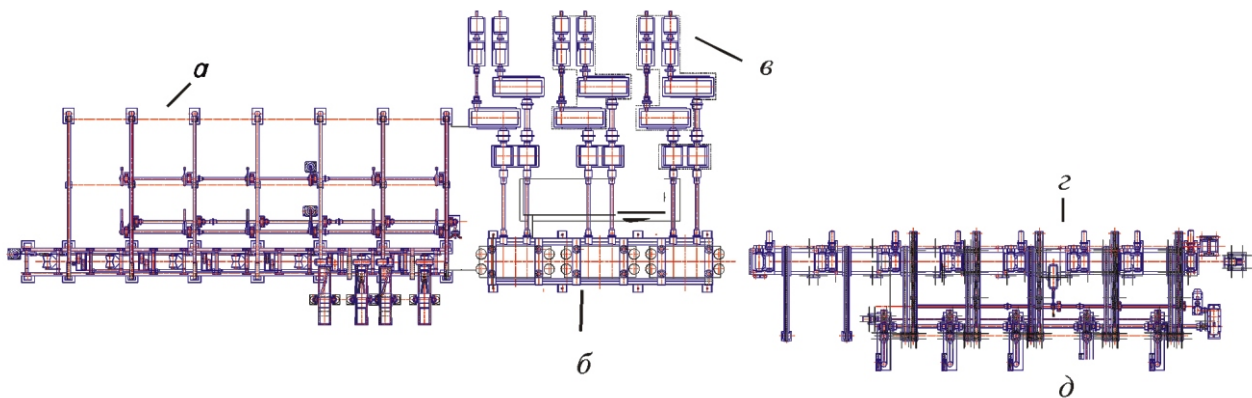
Таким образом решаются вопросы поставки заказчику мало- и среднетоннажных партий, а также мелких партий (до 5–10 т) вплоть до отдельной трубы, с заданными заказчиком толщинами стенки.

Технология производства профильных труб принята нетрадиционной и предусматривает холодное (теплое) профилирование круглых труб-заготовок на квадратные и прямоугольные сечения в последовательно размещенных клетевых блоках. Годовой объем – 50000 т в диапазоне размеров 40 40–300 300 мм и 60 40–400 200 мм с толщиной стенки 3–12 мм и длиной 6–12 м. Трубы будут выпускаться в соответствии с требованиями EN 10219-2:2006.

Разработанный и изготовленный универсальный стан УПС 50-300 предназначен для изготовления только профильных труб расширенного сортамента, в т.ч. и крупногабаритных. Стан состоит из входной, формирующей и выходной частей (рис. 1).

Подача заготовки в формирующую часть стана осуществляется со строгой ориентацией сварного шва. Формоизменение круглой заготовки на профильную трубу выполняется в четырехвалковых калибрах с горизонтальными приводными и вертикальными холостыми валками (рис. 2).

Четырехвалковые калибры собраны попарно в три клетевых блока. Каждая пара валков приводится от одного главного электропривода, снабженного помимо редуктора ступенчатой коробкой скоростей, что упрощает настройку скоростных режимов прокатки в каждом калибре с помощью частотных преобразователей. Каждый клетевой блок собран предварительно напряженными стяжками. Тонкая настройка скоростных режимов прокатки совместно с жесткими клетевыми блоками обеспечивает высокое качество профильных труб. С учетом оснащения стана устройствами для теплой прокатки возможно получение профилей из малопластичных материалов. На выходной стороне стана



**Рис. 1. Схема расположения оборудования универсального стана УПС 50-300:**

а – входная часть; б – формирующая клеть; в – приводы валков; г – выходная часть; д – приемный карман.

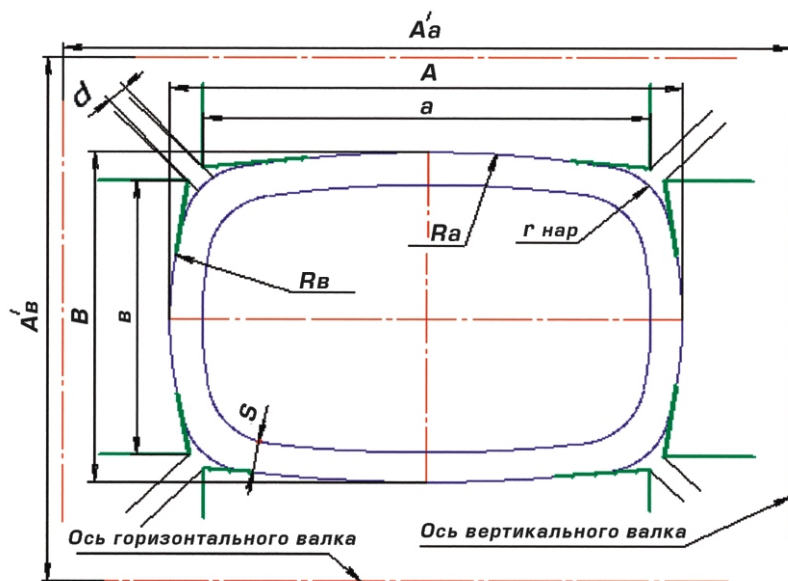


Рис. 2. Четырехвалковый калибр и профиль полый трубы

профильные трубы собираются в однослойные и многослойные пакеты с последующей обвязкой и передачей на склад готовой продукции или по пакетно на ленточнопильные станки для концевой обрезки на заданную длину. Профили, изготовленные из неоцинкованного металла, по желанию заказчика могут быть покрыты консервантом.

Для обеспечения производства профильных труб были разработаны технические условия ТУ У В.2.7-27.2-24238290-001:2007 «Трубы стальные квадратные и прямоугольные, бесшовные и сварные для металлоконструкций», которые введены в действие с 09.08.07 г. В отличие от существовавших ранее НД, в этих ТУ предложен значительно расширенный сортамент труб квадратного и прямоугольного сечения. В таблицах сортамента наряду с традиционными геометрическими характеристиками приведены значения момента пластического сопротивления, а также другие величины.

В соответствии с требованиями ДСТУ 1.3:2004 «Правила побудови, викладення, оформлення, погодження, прийняття та позначання технічних умов» и ДСТУ 1.5:2003 «Правила побудови, викладення, оформлення та вимоги до змісту нормативних документів» рассматриваемые ТУ декларируют характеристики изделий, необходимые с точки зрения безопасности на всех стадиях не только изготовления, но и применения труб. При этом согласно положениям действующего в Украине Технического регла-

мента строительных изделий, зданий и сооружений, а также Европейского законодательства в сфере действия Директивы Совета Европы 89/106/ЕЭС относительно строительных изделий учтены шесть основных требований к зданиям и сооружениям: механическая, противопожарная, гигиеническая, эксплуатационная, шумовая и тепловая безопасность.

На примере первого из основных требований можно уяснить некоторые аспекты распределения ответственности при изготовлении и применении профильных труб. Механическая безопасность, т.е. прочность и устойчивость на протяжении приемлемого срока службы (долговечность) обеспечивается показателями исходной заготовки (пределного сопротивления стали

нагрузке, параметров электросварки и противокоррозионных свойств) и геометрическими характеристиками конструктивной формы профилей. Предполагается, что продукция должна соответствовать заявленным в ТУ и сопроводительной документации параметрам. При этом предприятие (ЮТСК) несет непосредственную ответственность за свои операции, как минимум – за собственно профилирование, а также за указанные в сопроводительной документации характеристики, например марку стали.

Концепция Технического регламента и особенно Директивы 89/106/ЕЭС заключается в том, что необходимо подтверждать соответствие строительных изделий задекларированным характеристикам с целью допуска изделий на рынок и применения в сооружениях, которые при условии надлежащего проектирования и возведения смогут отвечать основным требованиям безопасности в течение экономически обоснованного срока службы. Разработанные ТУ пригодны для целей подтверждения соответствия, поскольку в них предложены детальные системы внутриводской проверки показателей, связанных с основными требованиями безопасности, и набор процедур декларирования или сертификации соответствия.

Система внутренней проверки включает так называемые «испытания типа», проверку соблюдения требований технологических инструкций при изготовлении труб на предприятии

(входной контроль заготовок – круглых труб или листов/штрипсов, которые подлежат формованию на круговое сечение и сварке продольным швом по сопроводительным документам, и пооперационный контроль по принятой технологии) и контрольные испытания. Их программа включает поточные (приемо-сдаточные) и периодические проверки. Перечень характеристик, которые подлежат рассмотрению на различных этапах, учитывает возможность развития производства, например, в части сварочных работ и противокоррозионной защиты.

Набор процедур оценки и подтверждения соответствия, заложенных в ТУ, базируется на типовых модулях, предусмотренных техническими регламентами, действующими в Украине на основании постановлений Кабинета Министров.

Основным вариантом подтверждения соответствия принято декларирование на базе модуля А (внутренний контроль производства) с применением таких процедур:

- испытание типа, проведенное органом оценки (испытательные лаборатории и органы по сертификации, аккредитованные в установленном порядке);
- испытание типа, проведенное изготовителем;
- осуществление внутреннего контроля за производством на предприятии.

По желанию производителя оценка соответствия профильных труб может осуществляться путем проведения органом оценки их сертификации по согласованному перечню показателей изделия, включая минимальный (обязательный) перечень требований. Этот последний состоит из таких позиций:

- отклонения от номинальных размеров сечения, от формы и дефекты поверхности, размещение сварного шва;
- противокоррозионная стойкость покрытия на внешней поверхности труб (при наличии).

В случае сертификации Технический регламент строительных изделий, зданий и сооружений предусматривает использование модуля В (проверка изделия определенного типа) в ком-


бинации с модулем D (обеспечение надлежащего качества производства) или модулем F (проверка продукции) с применением таких процедур:

- 1) контроль производства на предприятии;
- 2) проведение органом оценки испытания типа;
- 3) дальнейшее испытание производителем образцов изделия, отобранных на предприятии согласно предписанной программе испытаний;
- 4) проверка органом оценки системы управления качеством на производстве;
- 5) проведение органом оценки постоянного надзора, анализа и оценки указанной системы;
- 6) испытание органом оценки образцов изделия, отобранных на предприятии, рынке или строительной площадке согласно программе аудита.

Выбор модуля и комплекта процедур осуществляет орган оценки по согласованию с производителем или уполномоченным им лицом.

После регистрации в органе оценки декларации о соответствии изделия или выдачи сертификата, производитель получает право применить национальный знак соответствия. Его наносят на изделие или на этикетку, упаковку и сопроводительную документацию согласно правилам применения национального знака соответствия, утвержденным постановлением Кабинета Министров Украины от 29.11.01 № 1599.

По мере освоения предельных (в меньшую и большую стороны) профилирумеров, как по габаритам, так и по толщине стенок, предприятие планирует рассмотреть вопрос расширения сортамента и корректировки ТУ. При этом можно исходить из европейского опыта, учитывая в частности сортамент по EN 10219-2 версии 2006 г., в котором предусмотрены габариты профильных труб квадратных – до 500 500 мм, прямоугольных – до 500 300 мм, а толщина стенки – до 16 мм.

Надійшла 01.04 2008 р. 

## КОНСТРУКТИВНІ КРИТЕРІЇ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КУПОЛА КОЖУХА ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

**О**сновний об'єкт доменного комплексу – доменна піч – являє собою споруду шахтного типу, що є не тільки технологічним агрегатом, призначеним для виплавки чавуну, але і будівельною конструкцією, яка забезпечує загальну стійкість комплексу і є опорою, що використовується для різного виду устаткування. Головна конструктивна частина печі – сталевий кожух – виконується у вигляді ряду зв'язаних співвісних циліндричних і конічних оболонок різної товщини і різної геометричної форми, послаблених великою кількістю отворів різного розміру і конфігурації. Серед багатьох функцій кожуха печі головними є забезпечення газоцільності печі, утримання футерівки і кріплення устаткування.

Проектування кожуха доменної печі виконується з урахуванням особливостей технологічного процесу, призначення устаткування, взаємного впливу всіх будівельних і технологічних чинників, що визначають характер і величину прийнятих навантажень і дій.

До найвідповідальніших складових частин кожуха печі відноситься купол, який в сучасних доменних печах є багатофункціональним елементом, що виконує одночасно функції несучої конструкції. На купол спираються завантажувальний пристрій і витяжні газоходи, а в печах старої конструкції, які ще знаходяться в експлуатації, елементи колошникової площадки. Витяжні газоходи брудного газу в місцях спирання передають на кожух купола різні види навантажень – як силові, так і моментні. Крім того, на оболонку купола в процесі експлуатації впливає досить висока температура. Сукупність перерахованих навантажень і впливів призводить до складного напружено-деформованого стану купола, який посилюється близькістю зон краевого ефекту в місцях вирізів і отворів, а також у місцях зміни геометрії кожуха при переході від циліндричної оболонки верху шахти і колошника до конічної оболонки купола.



**О.С. Іосилевич**  
головний інженер проекту  
Дніпропетровського  
ПІ «Промспецпроект»

Традиційна компоновка купола доменної печі склалася ще під час будівництва печей відносно невеликих об'ємів із низькими технологічними параметрами роботи і для застосування в сучасних доменних печах вимагає вдосконалення. Останнім часом широкого розповсюдження набули доменні печі з безконусними завантажувальними пристроями фірми PAUL WURTH (Люксембург), які не потребують несучого колошникового копра і спираються безпосередньо на кожух купола печі через устя газоходів брудного газу і через спеціально передбачені листові кронштейни для спирання стійок накопичувальних бункерів завантажувального пристрою (рис. 1). У зв'язку з відсутністю копра монтажну балку спирають на газоходи брудного газу, передаючи навантаження безпосередньо на купол печі, що, у свою чергу, ще збільшує зусилля в ньому.

Таким чином, за останній час конструкція купола зазнала ряд змін, серед яких можна виділити такі:

- збільшення діаметрів витяжних газоходів брудного газу і розмірів вирізів для них у куполі печі;
- збільшення кількості витяжних газоходів брудного газу для печей великих об'ємів (наприклад, на доменних печах об'ємом 5000 і 5580 м<sup>3</sup> передбачено вісім витяжних газоходів замість чотирьох, що використовуються на печах меншого об'єму);
- необхідність виконання в куполі прямокутного отвору значної площі, призначеного для зміни лотка безконусного засипного апарата (рис. 2);

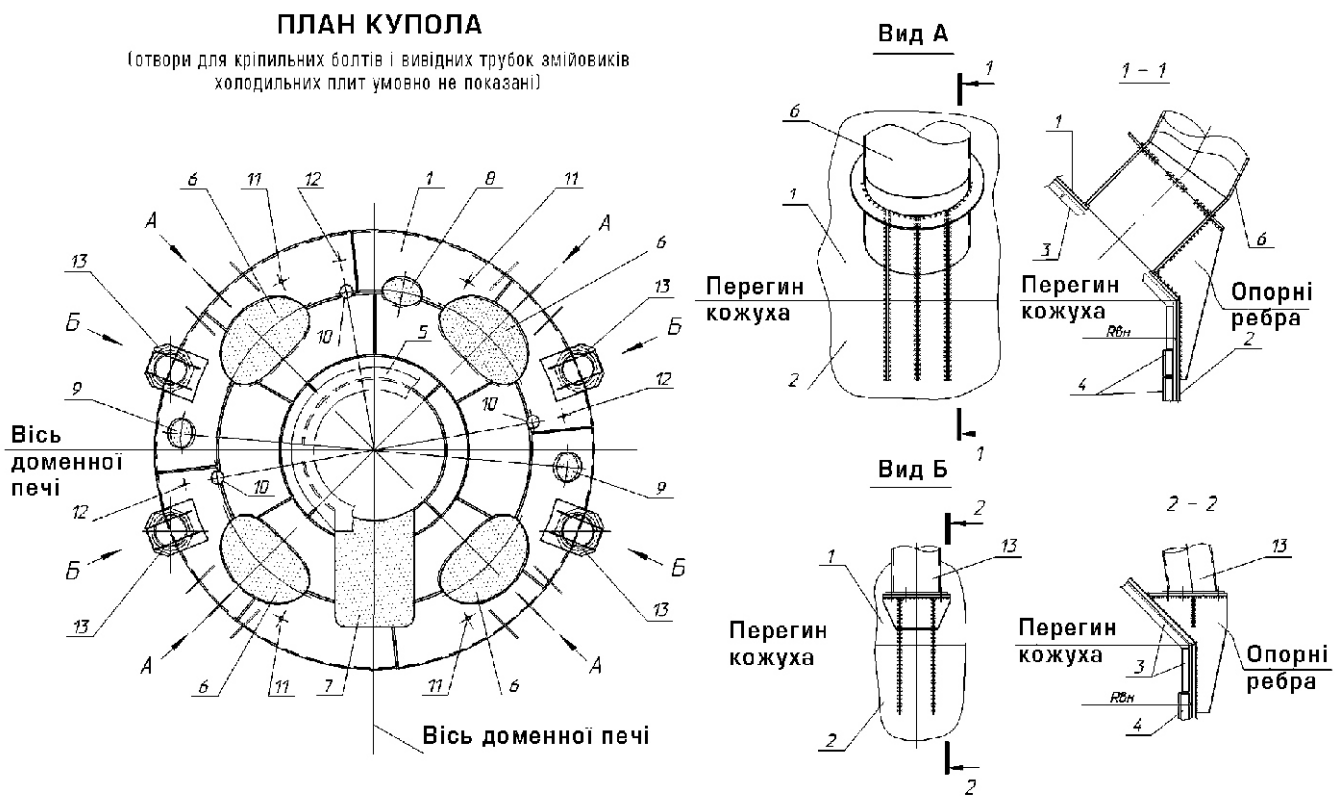


а



б

**Рис. 1. Деформації несучих конструкцій печі від перекосу ділянки кожуха купола внаслідок перегрівання:**  
а – хвилеподібна деформація кожуха колошника в зоні перегріву; б – деформація опорних стільчиків газоходів брудного газу



**Рис. 2. Купол доменної печі з безконусним завантажувальним пристроєм фірми PAUL WURTH (Люксембург):**  
1 – кожух купола доменної печі; 2 – кожух колошника; 3 – холодильні плити (при охолодженні купола); 4 – захисні плити колошника; 5 – колошниковий фланець; 6 – газоходи брудного газу; 7–12 – отвори для люка, лазу, стаціонарної балки, зонда, форсунки, термометри відповідно; 13 – стійки для спирання накопичувальних бункерів безконусного завантажувального пристрою

- збільшення зусиль на купол від температурного розширення системи «пиловловлювач – доменна піч», пов'язане з підвищенням технологічної температури і компонованням споруд центрального вузла;
- збільшення вертикальних навантажень на купол печі від витяжних газоходів брудного газу, а також навантажень від їх горизонтального розпору, пов'язаного з «арочним» ефектом, особливо за умов відсутності колошникового копра і спирання на газоходи завантажувального пристрою і монтажної балки;
- наявність отворів для люків, призначених для проведення різних досліджень.

Тому особливо небезпечним є перегрівання кожухів купола і колошникової зони, що призводить до деформації всіх розташованих на куполі конструкцій і устаткування та загрожує загальній міцності споруди (див. рис. 1).

Найважливішим чинником підвищення надійності і продовження компанії доменної печі в цілому є розробка таких конструктивних рішень металоконструкцій купола печі, які підвищують його міцність і надійність як у період нормальної експлуатації, так і при виникненні нештатних ситуацій.

Збільшення товщини кожуха купола (наприклад, для доменних печей великого об'єму до 50-60 мм) і посилення локальних місць ослаблення оболонки не вирішує ці проблеми, оскільки при підвищеній складності виготовлення таких конструкцій концентрація напружень в окремих зонах, як і параметри напружено-деформованого стану, залишається достатньо високою. Зберігається і небезпека втрати міцності купола при можливих порушеннях технологічного процесу.

З урахуванням вказаних особливостей ефективним заходом підвищення надійності металоконструкцій купола може бути зниження і оптимальний перерозподіл діючих на нього навантажень.

Оскільки найбільший вплив на рівень напружено-деформованого стану купола мають навантаження від газоходів брудного газу, що діють у зонах його ослаблення вирізами перпендикулярно до площини кожуха, то, зменшуючи ці навантаження, можна певною мірою розвантажити купол і зменшити діючі в ньому напруження.

Достатньо ефективним рішенням є також установа на вертикальних газоходах брудного газу компенсаторів. Печі такої конструкції успішно експлуатуються зарубіжними підприємствами. Проте процес установа компенсаторів пов'язаний із необхідністю виготовлення додаткових конструкцій значного габариту для сприйняття зусиль від ваги газоходів, зусиль внутрішнього тиску і температурних переміщень власне газоходів і системи «пиловловлювач – доменна піч». На вітчизняних доменних печах така конструкція не знайшла поки що свого застосування.

Зменшити вертикальне навантаження на купол можна також шляхом його перерозподілу: частину навантаження передати на циліндричний кожух колошникової зони печі по його створюючій. Для цього в місцях примикання до кожуха купола газоходів брудного газу встановлюються опорні елементи у вигляді вертикальних листових ребер, які сприймають як вертикальні зусилля, так і згинальні моменти в затисканні газоходів в оболонці кожуха (рис. 2).

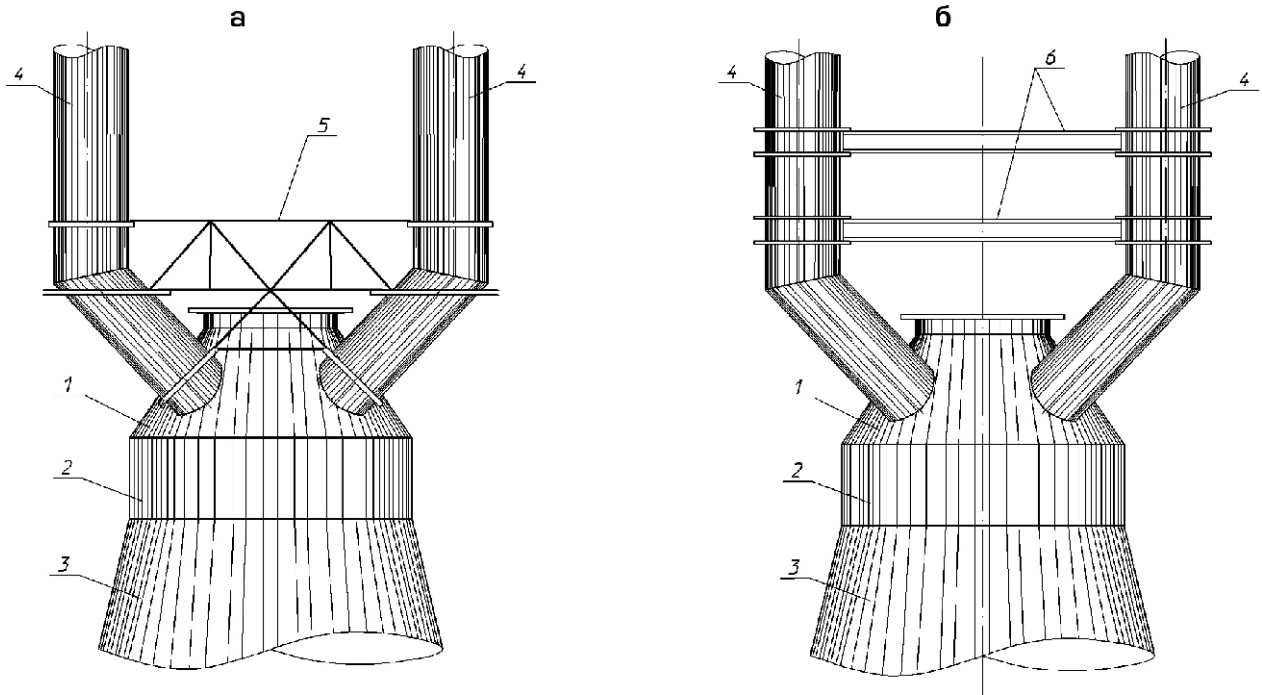
Для зменшення моментів і зусиль від розпору газоходів брудного газу вони з'єднуються системою в'язів у місці входу в купол печі (рис. 3, а). З цією ж метою можливе використання балок площадок колошникового пристрою, що спираються на газоходи брудного газу, як затяжок, що знижують зусилля розпору і моменти у вузлах сполучення газоходів із кожухом купола (рис. 3, б).

До інших конструктивних заходів, направлених на підвищення міцності кожуха купола доменної печі, можна віднести наступні:

- підсилення місць примикання до кожуха газоходів брудного газу листовими накладками завтовшки до 30 мм;
- зміна геометрії купола шляхом виконання додаткового зламу в створюючій конуса (рис. 4).

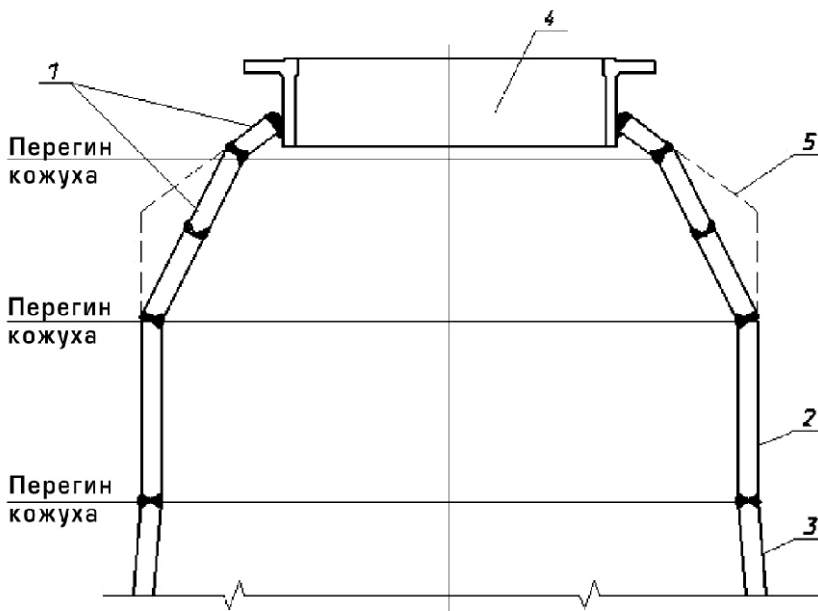
Для забезпечення більшої надійності доменних печей, особливо оснащених безконусним завантажувальним пристроєм системи PAUL WURTH, доцільно на куполі доменної печі встановлювати систему охолодження, що дозволяє поліпшити умови роботи металоконструкцій кожуха цієї ділянки печі, у тому числі і у випадках можливих перегрівів.





**Рис. 3. Конструкції для зменшення моментів і зусиль від розпору газоходів брудного газу:**

1 – кожух купола доменної печі; 2 – кожух колошника; 3 – кожух шахти; 4 – газоходи брудного газу; 5 – система в'язів, що з'єднують газоходи брудного газу при вході в купол печі; 6 – балки-затяжки, що з'єднують газоходи брудного газу в рівнях площадок завантажувального пристрою



**Рис. 4. Додатковий злам оболонки купола доменної печі для зменшення крайового ефекту:**

1 – кожух купола доменної печі;  
2 – кожух колошника;  
3 – кожух шахти;  
4 – колошниковий фланець;  
5 – лінія сполучення оболонок купола і колошника за відсутності додаткового зламу

Використання при проектуванні кожухів доменних печей запропонованих конструктивних рішень значною мірою знижує рівень напружено-деформованого стану металоконструк-

цій кожуха купола і одночасно підвищує промислову безпеку доменної печі в цілому.

Надійшла 20.07.2007 р.

## ІХ УКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ: СЬОГОДЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ»



**О.І. Голоднов**  
учений секретар  
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція  
ім.В.М. Шимановського»,  
д.т.н.



**А.А. Гром**  
завідувач науково-дослідного відділу  
технічного розвитку  
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція  
ім.В.М. Шимановського», к.т.н.



м. Києві 9–11 вересня 2008 р. відбулася ІХ Українська науково-технічна конференція «Металеві конструкції: сьогодення та перспективи розвитку», організована ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» за підтримки Мінрегіонбуду України, Національної академії наук України, Міжнародної асоціації з оболонки та просторових конструкцій (IASS, Іспанія), Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київської міської державної адміністрації, Академії будівництва України, корпорації «Укрмонтажспецбуд» та інших державних і громадських організацій.



Учасників конференції вітає голова Програмного комітету, голова правління ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» О.В. Шимановський

На засіданнях конференції було розглянуто 55 доповідей, підготовлених 62 вченими і фахівцями з 6 країн – України, Росії, Німеччини, Польщі, Люксембургу, Франції.

Робота конференції проводилась у п'яти секціях.

У роботі першої секції «Розроблення раціональних типів будівельних металевих конструкцій, експериментально-теоретичні дослідження роботи елементів та з'єднань» взяли участь провідні фахівці з України (В.М. Гордєєв, О.І. Голоднов, О.А. Зубенко, В.Л. Пасечнюк, С.Ф. Пічугін, І.Д. Пелешко, О.В. Шимановський, І.З. Шульман, В.В. Юрченко та інші), Польщі (Є. Зюлко, З. Писарек, А. Козловські), Німеччини (О.П. Кудряшов) та інші.

Актуальною темою конференції було обговорення проблеми, викладеної у доповіді Є. Зюлко, Т. Мікульські та Є. Супернак (Гданська Політехніка, Польща), щодо визначення розподілення значень напруження в описуваній зоні резервуара. Проаналізовано стан напружень матеріалу в районі придонного очисного люка в корпусі і днищі сталевих вертикальних циліндрових резервуарів ємністю  $V=75000 \text{ м}^3$ . Проведений аналіз стану напружень у корпусі, днищі і фундаменті резервуара показав, що необхідна корекція використовуваної до цього часу конструкції придонного очисного люка (приведена в API 650 і PN-B-03210:1997) у зонах концентрацій напружень.

Під час роботи секції розглядалися питання експериментальних досліджень, розрахунку та проектування будівельних металевих конструкцій із урахуванням залишкового напруженого стану (О.М. Козлова, О.І. Голоднов – ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського», м. Київ, Т.В. Антошина, А.П. Іванов – Донбаський державний технічний університет, м. Алчевськ) та інші. У доповідях відзначалася актуальність розглянутих питань, необхідність проведення експериментальних досліджень елементів і конструкцій різного профілю поперечного перерізу з метою визначення залишкового напруженого стану і його впливу на несучу здатність і деформативність, а також розроблення методик розрахунку із урахуванням впливу цього чинника. Дослідження за цією тематикою продовжуються понад 15 років, на їх основі захищено три кандидатських і одну докторську дисертації. Незважаючи на це, залишилося ще багато проблем стосовно елементів із труб та швелерів.

Особливості визначення навантажень на металеві конструкції буксирувальних канатних доріг розглянуті в доповіді С.Ф. Пічугіна і С.О. Склярєнка (Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка). На основі аналізу існуючих методик проектування, вивчення вітчизняного та закордонного досвіду організації гірськолижних центрів розроблено класифікацію всіх навантажень, що діють на елементи канатних доріг, враховуючи різні режими роботи підйомника. Створено методику та проведені натурний та лабораторний експерименти для підтвердження методики розрахунку.

В інших доповідях розглядалися питання оптимізації топології металевих стержневих конструкцій із використанням гібридного генетичного алгоритму (І.Д. Пелешко, В.В. Юрченко, ), еластичного рішення проблеми кранових шляхів (О.П. Кудряшов), застосування нових конструкцій сталезалізобетонних балок для промислового та цивільного будівництва (Л.І. Стороженко, О.В. Нижник, О.А. Купченко) та інші.

У роботі другої секції «Розвиток методів розрахунку та проектування будівельних металевих конструкцій та споруд» взяли участь Ю.П. Барвінко, О.І. Голоднов, І.М. Лебедич, Ю.Г. Перетятко, С.Ф. Пічугін, С.І. Скребцов, С.Г. Кузнецов, Н.В. Тищенко, Р. Масловські та інші.

Доповідь О.І. Голоднова, О.Я. Червінського і І.М. Лебедича (ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського», м. Київ) присвячена розрахунковому обґрунтуванню за допомогою проведених варіантних розрахунків комп'ютерних моделей можливості будівництва сталевих каркаса будівлі «Комплекс із надання послуг населенню на перетині Столичного шосе та пр. Академіка Заболотного у Голосіївському районі м. Києва», на ригелі якого вільно опираються нерозрізні монолітні залізобетонні плити перекриттів, за проектом, розробленим ТОВ «Сучасні технології будівництва». Проведення досліджень було обумовлене тим, що в нормативній літературі розглядається варіант роботи залізобетонної плити разом із металевими балками за рахунок постановки відповідних анкерів або упорів.

Можливість роботи залізобетонної плити, яка просто спирається на металеві балки (які, по суті, будуть пружними опорами для плити), не розглядається. Для визначення прогинів конструкцій перекриття була розроблена скінченно-елементна модель плити з використанням об'ємних СЕ з нелінійною залежністю деформування бетону і моделюванням його руйнації в розтягнутих перенапружених місцях, тобто утворення тріщин у розтягнутій зоні, що є припустимим відповідно до СНиП 2.03.01-84\*. Нелінійна робота залізобетону враховувалась за допомогою експериментально отриманих у НДІБК залежностей « $\sigma - \epsilon$ » для бетону класу за міцністю В30. Армування змодельована стержневими СЕ приведеної площі для прийнятого кроку дискретизації СЕ. Виконаний ряд розрахунків для визначення оптимального кроку дискретизації досліджуваної області плити перекриття на СЕ. В обох моделях балки і колони змодельовані плоскими СЕ типу оболонки.

У доповіді О.І. Голоднова (ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського», м. Київ) і В.В. Риблова (Луганський національний аграрний університет, м. Луганськ) наведена методика розрахунку пластинчастих залізобетонних конструкцій, які опираються на деформований контур. Ці дослідження виконані з метою обґрунтування можливості подальшої експлуатації шатрових панелей перекриття, які широко використовувались при будівництві великопанельних житлових будинків в Україні в цілому і в Луганській області зокрема, і які мають підвищену деформативність. Наведена методика розрахунку таких конструкцій із урахуванням нелінійної роботи залізобетону.

В інших доповідях розглянуті нові пропозиції щодо підвищення надійності основної стінки двостінних резервуарів типу «стакан у стакані» (А.Ю. Барвінко, Ю.П. Барвінко, А.В. Артюшенко, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона), результати досліджень поздовжньо-поперечного згину та стійкості двошарових складених стержнів (Ю.Г. Перетятко, Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури, м. Харків) тощо.

У роботі третьої секції «Удосконалення технологій виготовлення і монтажу металевих конструкцій» взяли участь В.І. Москаленко, О.М. Гібаленко, Г.Г. Зубко, І.Ю. Перетятко, О.В. Шимановський, О.А. Риженков та інші.

У доповіді В.І.Москаленка (ТОВ «Фірма «Промбудремонт», м. Донецьк), О.М. Гібаленка і В.В. Губанова (Донбаський центр технологічної безпеки ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського», Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Макіївка) розглянуті питання технологічного забезпечення будівельно-монтажних робіт при будівництві димової труби заввишки 75 м.

Доповідь Г.Г. Зубка (ВАТ «Житомирський завод огороджувальних конструкцій», м. Житомир) присвячена використанню прогресивних технологій виготовлення, монтажу і наступної експлуатації будинків і споруд із металевим каркасом. Як один із ефективних засобів зниження ваги металоконструкцій розглядається застосування різних типів вузлових з'єднань – фланцевих на високоміцних болтах із попереднім фрезеруванням поверхонь, колон із консолями тощо. Виконаний аналіз досліджень використання запропонованої технології і спеціального стенда для складання і зварювання колон дозволив дійти висновку про можливість підвищення якості і точності виготовлення конструкцій.

В інших доповідях розглянуті питання щодо переходу на перервні зварні шви при підсиленні двотаврових балок (І.Ю. Перетятко, Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури, м. Харків, О.В. Шимановський, ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського»), висвітлені результати досліджень у межах системи контролю напружень у мостах, розглянута методика розрахунково-експериментальної оцінки коефіцієнта готовності сталевих конструкцій (О.А. Риженков, ВАТ «Конструкція», Н.Г. Магунова, Донбаський центр технологічної безпеки ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М.Шимановського») тощо.

У роботі четвертої секції «Проблеми технічної експлуатації, методи оцінювання технічного стану та визначення залишкового ресурсу металоконструкцій» взяли участь О.М. Гібаленко, А.А. Гром, Н.Т. Доан, С.В. Козлов, С.В. Колесніченко, В.І. Москаленко, С.Ф. Пічугін, О.В. Шимановський та інші.

У доповіді С.Ф. Пічугіна, О.В. Семка, В.О. Семка (Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, м. Полтава) розглянута проблема оцінки технічного стану сталевих балок із дефектами на основі теорії ризиків. Для вирішення цієї проблеми використано запропонований А.В. Перельмутером параметр економічних витрат, який залежить від вартості конструкції та суми можливих збитків. Така методика аналізу ризиків розвиває вказаний метод та дозволяє дати кількісну розрахункову оцінку не лише надійності, а й стану конструкції з дефектами.

У доповіді О.Ю. Любіна (корпорація «Промстальконструкція», м. Дніпропетровськ) і О.С. Юсевич (ПІ «Промспецпроект», м. Дніпропетровськ) наведені результати натурних обстежень доменної печі № 3 об'ємом 1033 м<sup>3</sup> із метою визначення технічного стану металоконструкцій. За результатами проведених досліджень і виконаних контрольних вимірювань визначені характерні дефекти та пошкодження, які суттєво впливають на несучу здатність і надійність конструкцій при експлуатації.



Робочі засідання конференції



В інших доповідях розглянуті питання управління залишковими напруженнями в сталевих конструкціях із використанням плазмового зварювання (С.В. Козлов, ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського»), наведена методика визначення технологічної безпеки прогонних будівель транспортних галерей (С.В. Колесніченко, Ю.Г. Сулима, Донбаський центр технологічної безпеки ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського»), методологічні основи створення інформаційних систем обліку дійсного (реального) стану будівельних конструкцій, що експлуатуються (О.В. Шимановський, С.В. Колесніченко, ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського») тощо.

У роботі п'ятої секції «Розвиток і удосконалення нормативної бази в галузі металобудування» взяли участь співробітники ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» В.М. Гордєєв, А.А. Гром, М.О. Микитаренко, Г.В. Ленда, Т.І. Матченко та інші.

У своїх доповідях вони зазначили, що фахівці інституту активно працюють над розробленням близько 20 нормативних документів у галузі будівництва, гармонізованих із Європейськими стандартами.

За матеріалами конференції опубліковані тези доповідей.

Конференція сприяла вирішенню багатьох актуальних проблем металобудування і пройшла як школа передового досвіду, творчих дискусій, апробації нових ідей і прогнозування перспективних напрямів розвитку.

За результатами роботи учасники конференції прийняли наступні рішення:

- відзначити успішну роботу ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» у галузі розроблення державних будівельних норм, гармонізованих із Європейськими стандартами, та рекомендувати продовжувати цю діяльність;
- схвалити тенденції конструювання металевих конструкцій із урахуванням їх архітектурної виразності, технологічності на стадіях виготовлення та монтажу, захисту від механічних пошкоджень та хімічної корозії;
- рекомендувати металеві конструкції і їх елементи проектувати з застосуванням сучасних вископродуктивних обчислювальних комплексів;
- рекомендувати для металевих конструкцій використання сталі підвищеної міцності;
- звернути особливу увагу на контроль стану існуючих мостів, висотних споруд, нафтових, паливних і технологічних ємностей для попередження їхнього критичного зносу і спонтанних руйнувань з метою виконання екологічних природоохоронних вимог;
- продовжити процес удосконалення матеріалів, технологій виготовлення і монтажу металевих конструкцій, ремонту і реконструкції будівель і споруд;
- продовжити вивчення проблем технічної експлуатації, методів оцінки технічного стану і визначення залишкового ресурсу металоконструкцій, заходів щодо підвищення несучої здатності;
- вважати недоцільним введення необґрунтованої вимоги врахування чинника прогресуючого руйнування висотних будинків у нормативну базу України;
- рекомендувати розширити співробітництво з міжнародними організаціями і установами в галузі металобудування шляхом укладання угод про взаємний обмін досвідом, науковцями і спеціалістами, а також проведення спільних науково-технічних конференцій;
- продовжити удосконалення конструктивних рішень будівель і споруд із застосуванням різних матеріалів: металу, залізобетону, сталезалізобетону, пластмаси, дерева;
- удосконалювати методи розрахунку металевих конструкцій із урахуванням впливу технологічних чинників та регулювання залишкового напруженого стану з метою підвищення несучої здатності конструкцій;
- вважати за доцільне розширення практики навчання спеціалістів служб експлуатації будівель і споруд на семінарах, які проводять ДЦТБ ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського».

---

*Наступну науково-технічну конференцію з цієї тематики запропоновано провести у вересні 2010 року в м. Київ, Україна.*

Надійшла 03.11.2008 р.

## СИМПОЗИУМ МІЖНАРОДНОЇ АСОЦІАЦІЇ З ОБОЛОНКОВИХ ТА ПРОСТОРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ (IASS) 2008 РОКУ

**У** місті Акапулько (Мексика) 27–31 жовтня 2008 року відбувся симпозиум Міжнародної асоціації з оболонкових та просторових конструкцій (IASS), який проходив під гаслом: «Оболонкові і просторові конструкції: нові матеріали і технології, нові проекти та інновації – Екологічний підхід до архітектурного та будівельного проектування» (Shell and Spatial Structures: New Materials and Technologies, New Designs and Innovations – A Sustainable Approach to Architectural and Structural Design). Симпозиум був організований Мексиканським національним університетом (UNAM), Мексиканською спілкою інженерів-будівельників, Монтерейським технологічним інститутом із залученням інших організацій. Головуючим симпозиуму був член Виконавчого комітету IASS, професор UNAM Хуан Жерардо Оліва Салінас.



Головуючий симпозиуму  
Хуан Жерардо Оліва Салінас

На симпозиумі обговорювались проблеми архітектури, теорії та історії розвитку оболонкових та просторових конструкцій, концептуального проектування, а також нові процеси у проектуванні, нові матеріали та технології, інженерія, екологічність, новозбудовані конструкції.

У роботі симпозиуму взяли участь близько двохсот архітекторів, інженерів, професорів та студентів із багатьох країн світу. Найбільш широко були представлені спеціалісти з країн Латинської Америки. Україну представляли О.В. Шимановський – голова правління ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського», заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор та В.М. Гордєєв – перший заступник голови правління ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського», заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор.

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



**В.М. Гордєєв**  
перший заступник голови правління  
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція  
ім. В.М. Шимановського»,  
заслужений діяч науки і техніки  
України, д.т.н., професор



Секційні засідання

Було заслухано 148 доповідей, присвячених різним аспектам дослідження, проектування та будівництва оболонкових та просторових конструкцій. Симпозіум надав унікальну можливість обговорити найновіші теми стосовно таких конструкцій з позицій їх високоякісного виконання та раціонального архітектурного та будівельного проектування з урахуванням екологічних наслідків.

Слід зазначити, що в англійській назві симпозіуму присутнє слово «Sustainable», яке важко адекватно перекласти українською чи російською мовами, оскільки подібна термінологія на вказаних мовах ще не усталена. Це слово тут було перекладене як «Екологічний», хоча насправді «Sustainability» – поняття більш широке, ніж «Екологічність». Воно означає стабільний у часі непогіршувальний процес, який передбачає задоволення нинішніх потреб людини шляхом економного використання природних ресурсів без нанесення шкоди та завдання зайвого клопоту іншим людям або наступним поколінням. У галузі архітектури і будівництва це поняття охоплює використання матеріалів, які можна потім утилізувати, надання переваги роз'ємним з'єднанням, збірно-розбірним конструкціям із можливістю повторного використання, водопостачання з використанням замкнутого циклу, енергозабезпечення з максимальним використанням відновлюваних джерел енергії, вентиляцію, коли заміна повітря не призводить до втрат теплової енергії тощо.

Ця проблема була винесена в назву симпозіуму і обговорювалася в багатьох доповідях щодо концептуального проектування.

Багато уваги було приділено питанням архітектури, формоутворенню конструкцій, їх розрахунку, експериментальним дослідженням. Широко були представлені роботи, присвячені гнучким нелінійно деформованим системам із використанням вантових та тканинних елементів. Декілька доповідей було присвячено тонкостінним залізобетонним оболонкам. Традиційно обговорювалася тематика «Tensegrity» стержневих конструкцій, що складаються з жорстких стиснутих елементів і гнучких розтягнутих елементів.



Пленарне засідання



Закриття симпозіуму та вручення почесних дипломів і нагород Президентом IASS Джоном Абелем

На заключному засіданні відбулося вручення почесних дипломів студентам, які взяли участь у роботі симпозіуму, а також щорічних нагород IASS. Ці нагороди носять імена видатних діячів IASS – Йошікацу Цубоя та Ясухіко Хангая.

*Було повідомлено, що наступний щорічний симпозіум, присвячений 50-річчю IASS, відбудеться у м. Валенсія (Іспанія) з 28 вересня по 2 жовтня 2009 року.*

Надійшла 28.11.2008 р.

**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 Corel DRAW, Adobe Photoshop або Microsoft Word, Excel чи на паперових носіях для сканування. Формат надання – bmp, tif, eps, jpg – 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 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 № 9 від 27.11.2008 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 08.12.2008 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



# ВИДАТНОМУ ВЧЕНОМУ ХХ ст. БОРИСУ ЄВГЕНОВИЧУ ПАТОНУ – 90

Б.Є. Патон – відомий вчений із світовим іменем у галузі зварювання, металургії та технології матеріалів, матеріалознавства, визначний громадський діяч і талановитий організатор науки, академік Національної академії наук України, Академії наук СРСР, Російської академії наук, професор, заслужений діяч науки і техніки УРСР, лауреат Ленінської премії та Державних премій СРСР та України, учасник Великої Вітчизняної війни, ліквідатор аварії на Чорнобильській атомній електростанції.

Протягом майже 75 років Борис Євгенович очолює Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона. Він наполегливо втілює у життя і розвиває основні принципи, закладені Є.О. Патonom, здійснюючи цілеспрямовані фундаментальні

дослідження у тісному зв'язку з виробництвом. Під його керівництвом створені унікальні конструкції, обладнання, матеріали, технології.

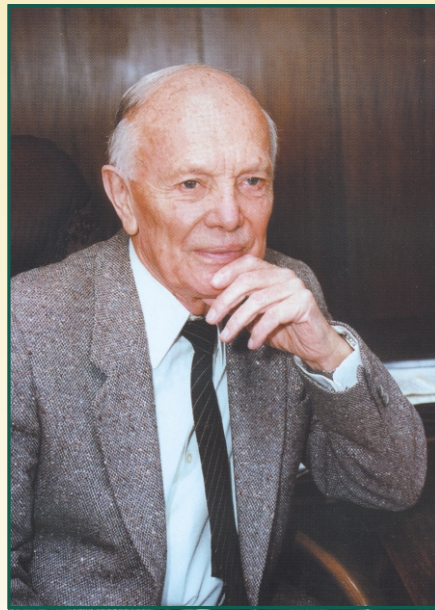
Б.Є. Патон був ініціатором створення нових способів механізованого зварювання конструкцій у польових умовах, на монтажі, стапелях, під водою і запропонував для цього самозахисні і газозахисні порошкові дроти. Цей напрям є одним із провідних у світовій зварювальній науці та техніці.

Спосіб напівавтоматичного зварювання під водою відкрив нові можливості у будівництві й ремонті портових споруд, трубопроводних переходів через річки та інших об'єктів.

Під керівництвом Б.Є. Патона та за його безпосередньої участі вперше у світовій практиці були створені системи багатофакторного керування процесом контактного зварювання опаленням, розроблена електро-променева технологія нанесення покриттів, що значно підвищує експлуатаційний ресурс багатьох виробів, вперше здійснено зварювання у навколосемному просторі. Способом дугового зварювання під флюсом швів створено ряд надзвичайних споруд, серед яких суцільнозварний міст ім. Є.О. Патона через р. Дніпро, який став визначною зварною конструкцією ХХ ст. Розроблені проекти та технології будівництва унікальних телевізійних веж у різних містах СРСР.

Вперше в Україні патонівці створили системи неперервного моніторингу зварних конструкцій із підвищеними вимогами безпеки експлуатації.

Б.Є. Патон очолював дослідження з використання електрошлакового процесу для покращення якості металів і сплавів. Електрошлакова переплавка отримала світове визнання. Під його керівництвом створені унікальні оригінальні технології та обладнання для контактного зварювання неповоротних стиків труб – комплекс «Север». За цією технологією було зварено близько 6 тис. км газопроводів великого діаметра в умовах Крайньої Півночі. За технологією автоматичного зварювання



самозахисним порошковим дротом із примусовим формуванням шва побудовано понад 10 тис. км магістральних газо- та нафтопроводів: «Дружба», «Середня Азія – Центр», «Уренгой – Помари – Ужгород», «Хіва – Бейнеу» та ін.

Під керівництвом Б.Є. Патона видаються і перекладаються англійською мовою журнали «Автоматичне зварювання», «Сучасна електрометалургія», «Технічна діагностика і неруйнівний контроль».

У 1962 р. Б.Є. Патона обрали президентом Академії наук УРСР – нині Національної академії наук України. Відтоді він протягом 46 років очолює цю провідну наукову організацію України. За його ініціативи в системі Академії були створені десятки нових інститутів

та організацій, які поглиблюють дослідження з найважливіших наукових напрямів.

Б.Є. Патон – один із ініціаторів створення і збереження наукового простору в рамках Співдружності Незалежних Держав. У 1993 р. була створена Міжнародна асоціація академії наук (МАН), яка об'єднала академії 15-ти країн Європи і Азії, президентом якої є Борис Євгенович. Під його керівництвом працює Наукова рада МАН із нових матеріалів.

Академік Б.Є. Патон – почесний президент Міжнародної інженерної академії, член Академії Європи, почесний член Римського клубу, Міжнародної академії технологічних наук, почесний член Міжнародної академії наук, освіти та мистецтв, Міжнародної астронавтичної академії, іноземний член академії та науково-технічних товариств багатьох країн, почесний доктор багатьох вітчизняних і зарубіжних університетів.

За величезні заслуги перед наукою і державою Б.Є. Патон удостоєний високих звань двічі Героя Соціалістичної Праці. Він – кавалер чотирьох орденів Леніна, орденів Жовтневої революції, Трудового Червоного Прапора, Дружби народів, орденів Держави, князя Ярослава Мудрого IV і V ступенів, орденів Російської Федерації «За заслуги перед Вітчизною» II ступеня і Пошани, ордена Франциска Скорини Республіки Білорусь, «Ордена Честі» Грузії, ордена «Достик» Республіки Казахстан і багатьох інших нагород країн США, нагороджений Золотими медалями ім. М.В. Ломоносова, С.І. Вавілова, С.П. Корольова, Срібною медаллю ім. А. Ейнштейна ЮНЕСКО та багатьма іншими нагородами й відзнаками.

Б.Є. Патону першому в державі присвоєно звання Героя України.

Сьогодні Борис Євгенович сповнений творчими задумами, бажанням працювати задля процвітання нашої Вітчизни.



Щиро зичимо Борису Євгеновичу нових успіхів, наснаги і доброго здоров'я.

# ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ Structure CAD Office

SCAD Office – система нового поколения, разработанная инженерами для инженеров и реализованная коллективом опытных программистов. В состав системы входит высокопроизводительный вычислительный комплекс SCAD версия 11.1, ряд проектирующих и вспомогательных программ, которые позволяют комплексно решать вопросы расчета и проектирования стальных и железобетонных конструкций. Система постоянно развивается. На сайте [www.scadsoft.com](http://www.scadsoft.com) вы найдете описание программ системы.

ООО «СКАД Софт», (044) 249-71-91, [scad@scadsoft.com](mailto:scad@scadsoft.com)  
[www.scadsoft.com](http://www.scadsoft.com)

