

**ДЕРЖАВНА КОРПОРАЦІЯ  
«УКРМОНТАЖСПЕЦБУД»**

**ТОВ «УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СТАПЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ  
ІМ. В.М. ШИМАНОВСЬКОГО»**

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

**ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР**  
Адрианов В.П.

**ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР**  
Лукашевич Т.І.

#### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

#### МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА на 2012 — 2013 роки

Абель Д., д.т.н., проф. (США)  
Агош 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)  
Кавачі 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)  
Розерт Х., д.т.н., проф. (Німеччина)  
Сидорович Є.М.,  
д.т.н., проф. (Білорусь)  
Спарлінг Б., д.т.н., проф. (Канада)  
Трощенко В.Т.,  
академік НАНУ, д.т.н., проф. (Україна)  
Тулєбаєв К.Р., д.т.н. (Казахстан)  
Шугаєв В.В., д.т.н., проф. (Росія)  
Янковяк Р., д.т.н., проф. (Польща)



**3'2013**

Виходить 4 рази на рік

# ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Заснований у листопаді 2007 року

## ЗМІСТ

### ВИСОТНІ СПОРУДИ ДО 40-РІЧЧЯ КИЇВСЬКОЇ ТЕЛЕВЕЖІ

- В.П. Адрианов**  
КИЕВСКАЯ ТЕЛЕБАШНЯ – ГОРДОСТЬ УКРАИНСКИХ  
ПРОЕКТИРОВЩИКОВ И СТРОИТЕЛЕЙ . . . . . 2
- А.В. Перельмутер**  
О ПРОЕКТИРОВАНИИ  
КИЕВСКОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ БАШНИ . . . . . 6
- Л.О. Кагановский**  
ОСОБЕННОСТИ СООРУЖЕНИЯ  
КИЕВСКОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ БАШНИ . . . . . 11
- Л.М. Лобанов, Э.Ф. Гарф, Л.Н. Копылов, А.Г. Синеок**  
СВАРКА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ  
БАШНИ КИЕВСКОГО ТЕЛЕЦЕНТРА . . . . . 16
- Н.П. Сытник**  
МЕТОД ПОДРАЩИВАНИЯ ПРИ МОНТАЖЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ  
КИЕВСКОЙ ТЕЛЕБАШНИ . . . . . 21

### НАУКА – ВИРОБНИЦТВО

- О.В. Шимановський**  
СТАТИКА ГНУЧКИХ НИТОК ЗА МЕЖЕЮ ПРУЖНОСТІ.  
ПОВІДОМЛЕННЯ З ОЦІНКА ВПЛИВУ ПЛАСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ  
РОБОТИ МАТЕРІАЛУ НА ПОВЕДІНКУ ГНУЧКИХ НИТОК . . . . . 28

### ПРОСТОРОВІ КОНСТРУКЦІЇ

- А.Е. Любин**  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОЖУХА  
ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ И ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЕ  
УПРАВЛЕНИЕМ ПРОЦЕССА РАЗОГРЕВА . . . . . 33

### НОРМАТИВНА БАЗА

- В.З. Кліменко**  
РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ КЛЕСНОЇ ДЕРЕВИНИ  
НА ПОЗДОВЖНЬО-ПОПЕРЕЧНИЙ ЗГІН . . . . . 39

### ЮВІЛЕЙНІ ДАТУ

- КАФЕДРИ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН КНУБА  
60 РОКІВ . . . . . 46

Постановою президії ВАК України від 18.11.2009 р. № 1-05/5 журнал внесено  
до переліку наукових фахових видань із технічних наук


**ДО 40-РІЧЧЯ КИЇВСЬКОЇ ТЕЛЕВЕЖІ**

## КИЕВСКАЯ ТЕЛЕБАШНЯ – ГОРДОСТЬ УКРАИНСКИХ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ И СТРОИТЕЛЕЙ

**Н**а холмах древнего города Киева не одно десятилетие возвышается оригинальное сооружение – бело-красная ажурная стальная конструкция телевизионной башни, устремленная ввысь.

В июле 2013 г. строительная общественность вместе со специалистами теле- и радиовещания Украины отпраздновала 40-летие ввода в эксплуатацию Киевской телебашни – главной составляющей запроектированного и построенного в 1973 г. комплекса новой Республиканской передающей радиотелевизионной станции (РПТС) – одного из крупнейших в бывшем СССР сооружений такого назначения.

В комплекс РПТС, кроме непосредственно телебашни с антенными устройствами высотой



**В.П. Адрианов**  
вице-президент  
Академии строительства Украины

380 м, вошли также техническое здание передающих станций, в котором размещены телевизионные передатчики типа «Ураган» и «Лен», УКВ-4М вещательная станция типа «Мед», электрическое и вентиляционное оборудование, а также ряд объектов энергетического хозяйства и подсобного обеспечения.

Строительство в столице Украины современной новой передающей радиотелевизионной станции было обусловлено стремительным развитием в конце 60-х начале 70-х годов прошлого столетия многопрограммного черно-белого и цветного телевизионного вещания с одновременным решением задач по увеличению зоны уверенного приема сигнала и общего повышения качества телевизионных передач.

Все работы по подготовке, проектированию, строительству объекта выполнялись под особым контролем директивных и руководящих органов Украины в соответствии с принятыми Постановлениями ЦК Компартии Украины и Совета Министров Украины и трех Постановлений Правительства.

Станция была запроектирована и построена по техническому заданию и по заказу Министерства связи УССР. К возведению телевизионной башни на всех стадиях привлекались ведущие научные, проектные и строительно-монтажные организации: Институт электросварки им. Е.О. Патона АН УССР, Министерство монтажных и специальных строительных работ УССР, главк «Главкиевгорстрой», институты «Гипросвязь-3» и «Укрпроектстальконструкция», трест «Радиострой», Республиканская производственно-техническая дирекция радио и телевидения Минсвязи УССР и ряд других.



Киевская телевизионная башня

Одним из важнейших вопросов при разработке проектных решений являлся выбор высоты и типа антенной опоры, а также мощности передатчиков, т.к. площадь зоны покрытия новой станции должна была быть больше существующей почти в три раза, что позволило бы ликвидировать в центральной части Республики все существующие в то время зоны некачественного приема телевидения, а также покрыть те зоны, где такой прием раньше был невозможен вообще. Выполненные при разработке технического задания расчеты показали, что оптимальным вариантом является антенная опора высотой 350–380 м и передающие устройства с мощностью излучения примерно 23–26 дБ (по отношению к 1 кВт).

При выборе типа опоры отечественные ученые и проектировщики провели серьезную работу по изучению и обобщению имеющегося передового опыта в сооружении аналогичных объектов.

В 60–70-е годы прошлого столетия в СССР и за рубежом было построено значительное количество радио- и телевизионных башен высотой 200–250 м. Более высокие башенные опоры, насыщенные большим количеством технологического оборудования, представляли собой сложные инженерные сооружения и их количество было невелико. Наиболее значительными башенными сооружениями того времени являлись:

- Телевизионная башня в Ленинграде высотой 316 м, построенная по проекту Укрпроект-стальконструкции в 1962 г. Это был первый отечественный опыт внедрения конструкции цельносварной башни, разработанной в сотрудничестве с Институтом электросварки им. Е.О. Патона. Здесь впервые применены стыки поясов без фланцев с помощью ручной сварки, элементы решетки приваривались к поясам посредством узловых и концевых фасонки. Ствол башни выполнен в виде шестигранной решетчатой пирамиды. На высоте 200 м обустроено техническое здание. Выше расположена четырехгранная решетчатая призма переменного сечения высотой 116 м, на которой установлены панельные телевизионные антенны.
- Телевизионная башня в Токио высотой 333 м, построенная в 1963 г. Ствол выполнен в виде решетчатых конструкций из трубчатых профилей. Конструкции клепаные. На высоте 120 м и 225 м расположены технические помещения.
- Останкинская телевизионная башня в Москве высотой 533,3 м, построенная в 1967 г. Ствол башни выполнен в виде железобетонной предварительно напряженной технической оболочки, переходящей на отметке 385,5 м в конструкцию телевизионных антенн в виде стальных цилиндрических оболочек различного диаметра. Между отметками 325 м и 360 м расположены ресторан,



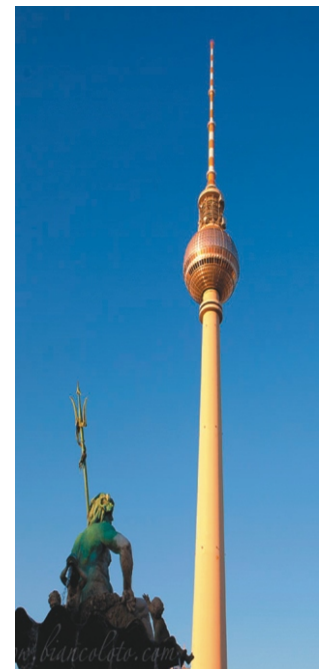
г. Ленинград, 1962 г. (316 м)



г. Токио, 1963 г. (333 м)



г. Москва, 1967 г. (533,3 м)



г. Берлин, 1969 г. (365 м)

смотровой балкон и технические сооружения. Еще два смотровых балкона располагаются на отметках 147 м и 269 м. На тот момент эта телевизионная опора являлась самым высоким в мире башенным сооружением.

- Телевизионная башня в Берлине высотой 365 м, построенная в 1969 г. Ствол башни выполнен в виде железобетонной конической оболочки высотой 250 м. Выше расположена стальная антенна высотой 115 м. Наверху железобетонного ствола находится здание в форме шара, в котором размещены технические помещения, ресторан и смотровые площадки.

Очевидно, что все перечисленные башни различаются как по инженерному решению, так и по архитектурному облику и одновременно являются, с одной стороны, отражением достижений строительной техники своей страны, а с другой – самым высоким и значительным сооружением города, в котором они возведены, его достопримечательностью.

Ведущей организацией по разработке и созданию конструкции новой телевизионной башни в г. Киеве являлся Государственный проектный институт «Укрпроектстальконструкция» Госстроя СССР (в настоящее время ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского»), который при тесном взаимодействии с Институтом электросварки им. Е.О. Патона выполнил большую поисковую, исследовательскую, расчетно-теоретическую и экспериментальную работу с одновременным осуществлением технико-экономического анализа, вариантного и оптимального проектирования, в результате чего была разработана новая прогрессивная конструктивная форма высотного сооружения.

При выборе непосредственно типа опоры предпочтение было отдано свободно стоящей опоре – башне – исходя из следующих основных факторов:

- башенная опора занимает в несколько раз меньшую территорию, чем мачтовая. Это тем более важно, т.к. площадка, выделенная для строительства комплекса нового телецентра, не превышала 7 га;
- башенная опора является более долговечным сооружением и проще в эксплуатации;
- из-за архитектурной выразительности она имеет неоспоримые преимущества перед мачтой.

В процессе создания прогрессивной конструктивной формы были проведены исследования и выполнены расчеты по определению оптимальных основных размеров башни – диаметра основания, диаметра ствола, высоты и конфигурации базы. Были определены и увязаны с технологическими возможностями оптимальное количество поясов, размеры панелей ствола, диаметр и толщины стенок поясов с учетом их работы на продольный изгиб, определены размеры элементов решетки с учетом обеспечения прочности узлов, а также исследованы динамические характеристики конструкции. С помощью ЭВМ Минск-22 рассчитаны системы башни как многократно статически неопределимой системы с неразрезными поясами и жесткими узлами. Выполнена серия конструктивных расчетов с обоснованием сварных соединений и узлов башни.

Пояса ствола башни и базы спроектированы из высокопрочных электросварных труб диаметром 550 мм с переменной толщиной стенки. Электросварные трубы были изготовлены Ждановским заводом тяжелого машиностроения по технологии, разработанной ЦНИИТС и ИЭС им. Е.О. Патона совместно с заводом-изготовителем.

Элементы решетки были произведены из прокатных труб из Ст.20. Для соединения решетки с поясами непосредственно сваркой на Днепропетровском заводе металлоконструкций им. Бабушкина была выполнена фигурная обработка концов труб. Этот же завод обеспечил изготовление и поставку всех металлических конструкций башни общим весом более 2,7 тыс. тонн.

Специалисты ИЭС им. Е.О. Патона провели большую исследовательскую работу по технологии сварки, разработке и изготовлению специального автомата, с помощью которого впервые в отечественной практике была выполнена высококачественная сварка высокопрочной стали в условиях монтажа в вертикальном положении неповоротных стыков.

Монтаж башни был осуществлен инженерно-техническими работниками и монтажниками СМУ-21 треста «Центростальконструкция» более эффективным по сравнению с традиционными технологиями методом подрачивания по проекту института «Укрмонтажоргстрой» на основе расчетных обоснований, разработанных Укрпроектстальконструкцией.

Как показал анализ проектных, технологических и конструкторских разработок и результатов реализации новаций при изготовлении и монтаже новой конструктивной формы цельносварной башни большой высоты, в итоге был достигнут большой экономический эффект. Получена экономия стали в объеме 1030 т за счет применения высокопрочной стали и сварных соединений элементов, снижена трудоемкость при изготовлении конструкций, сокращены сроки монтажа конструкций и, как следствие, сроки наладки технологического оборудования.

Современной конструкции Киевской телебашни соответствовало и установленное на ней техническое оснащение – комплекс антенн, фидеры, электросиловые кабели, кабели связи, лифты, механизмы обслуживания опоры.

Антенные системы установлены на цилиндрическом свободно стоящем шпилевидном основании высотой около 130 м, на котором размещены следующие антенные устройства:

- телевизионная антенна IV диапазона между отметками 350.0 и 375.0 м;
- телевизионная антенна III диапазона между отметками 335.0 и 350.0 м;
- телевизионная антенна II диапазона между отметками 312.0 и 335.0 м;
- антенна УКВ 4М радиовещания между отметками 280.0 и 312.0 м;
- телевизионная антенна I диапазона между отметками 244.8 и 280.0 м.

В отличие от традиционных панельных телевизионных антенн в Киеве были применены многоштыревые антенны с несимметричными цилиндрическими вибраторами, расположенные на стальных цилиндрических оболочках, которые являются одновременно и несущей конструкцией, и отражающим экраном. Такая конструкция антенны дала возможность значительно улучшить их эксплуатационные качества, т.к. все разводки системы питания антенны расположены внутри стальных цилиндров, надежно защищая их от атмосферных воздействий и имея при этом свободный доступ для обслуживания.

В конструкцию антенного комплекса Киевской телебашни, по сравнению с Останкинской башней, был внесен ряд усовершенствований. В частности применены более современные схемы питания излучателей и изменена простран-

венная схема их расположения на опоре, что позволило получить более высокую степень согласования каждой из антенн с главным фидером и улучшить диаграмму их направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Кроме того, рациональное размещение антенных сооружений обеспечило практически одинаковые зоны уверенного приема всех программ.


Для подъема на опору было предусмотрено устройство двух лифтов: грузоподъемностью 500 кг с высотой подъема 200 м (до верхнего двухэтажного здания) и грузоподъемностью 200 кг с высотой подъема 330 м (для обслуживания телевизионных антенн).

С целью проведения наблюдений за сооружением и метеообстановкой по высоте башни установлены приборы, регистрирующие в нескольких точках отклонение башни от вертикали, частоты и амплитуды колебаний, а также метеоприборы для замеров скорости и направления ветра, температуры воздуха и др.

Таким образом, цельносварная стальная Киевская телевизионная башня вместе с размещенным на ней оборудованием для теле- и радиовещания получила в начале 70-х годов прошлого столетия статус уникального инженерного сооружения многоцелевого назначения, а также самой высокой в мире металлической телебашни.

С вводом ее в действие в пять раз увеличилась площадь уверенного приема 1-й и 2-й телевизионных программ. Зона действия новой станции покрыла всю Киевскую область и на границе зоны обеспечивала перекрытие с ретрансляторами в городах Черкассы, Винница, Буки, Черняхов, Чернигов и Прилуки. При этом существенно улучшилось качество передач цветного телевидения и были созданы технические возможности для передачи стереофонического радиовещания. Более чем в два раза возросла зона обеспечения УКВ радиовещания.

И сегодня, по прошествии 40-летней безаварийной эксплуатации Киевской телевизионной башни, можно с уверенностью утверждать, что это уникальное сооружение и в настоящее время является гордостью украинских проектировщиков и строителей.

Надійшла 08.07.2013 р. 



## О ПРОЕКТИРОВАНИИ КИЕВСКОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ БАШНИ

**П**роjekt башни Киевского телецентра – самой высокой стальной башни, построенной в Советском Союзе, был выполнен институтом «Укрпроектстальконструкция». Ее проектирование имело свою предысторию.

В 50-е годы в отделе специальных конструкций № 2 (ОСК-2) проектной конторы «Проектстальконструкция» велись работы по проектированию башни высотой 330 м для Ленинградского телецентра. Эта работа, возглавляемая директором проектной конторы О.И. Шумицким, выполнялась тремя группами специалистов – группой конструкторских разработок во главе с И.А. Нечаевым, расчетчиков во главе с П.М. Соcисом и группой технологии монтажа во главе с Л.Г. Дмитриевым, в составе которой работал автор статьи.

Группа занималась разработкой проекта монтажа Ленинградской башни методом подращивания снизу. Это была идея Александра Ивановича Калиничева, который имел опыт подращивания крупного эллинга в Николаеве. Идея была с энтузиазмом подхвачена О.И. Шумицким, ставшим ее ярким приверженцем, пропагандистом и активным «проталкивателем». Олег Иванович и ведущие работники ИЭС им. Е.О. Патона считали возможным создание цельносварных высотных сооружений, которые должны заменить башни с фланцевыми соединениями поясов, поскольку сварку можно было организовать в полужавоцких условиях не на высоте, а вблизи от уровня земли.

Но проект монтажа способом подращивания не был принят техническим советом Главленинградстроя, и башню построили традиционным способом с помощью самоподъемных кранов. А метод подращивания был применен значительно позже при строительстве телевизионной башни в Киеве.

При проектировании Киевской телебашни сама конструктивная схема приспособлялась к методу подращивания. В частности, предусматривалось неизменное поперечное сечение ствола башни (в осях – восьмиугольник, вписанный в окружность диаметром 23 м), а также



**А.В. Перельмутер**  
д.т.н., академик РААСН

база, которая могла служить направляющей при подращивании ствола.

Но предложение о подращивании башни встретило резкое неприятие головного института «ЦНИИпроектстальконструкция», в решении технического совета которого указано, что монтаж «...обойдется дороже и потребует больших средств на возведение башни. Кроме того, в связи с новизной метода, можно ожидать возникновения различных затруднений, которые трудно, при отсутствии опыта, заранее предвидеть». И лишь благодаря Борису Евгеньевичу Патону этот метод был принят.

**Материал конструкций.** Еще при проектировании Ленинградской, Пекинской и Московской (Останкино) башен выяснилось, что классическая схема с шестью или восьмью поясами (рис. 1) требует использования сталей повышенной прочности. В Ленинграде были использованы максимально возможные прокатные трубы диаметром 426 мм из стали 15ХСНД. Киевская башня, превосходящая Ленинградскую по высоте и предназначенная для установки мощных антенн, требовала применения более мощных поясов. Было принято решение использовать высокопрочную сталь 138ИЗ, листы из которой мог поставить Ижорский завод. Эта сталь, имеющая предел текучести в границах 57...74 кг/мм<sup>2</sup>, использовалась в судостроении и при создании шаровых резервуаров, работающих под высоким давлением.

Трубы из нее могли быть изготовлены путем штамповки двух половинок трубы с последующей их сваркой. К сожалению, заводы металлоконструкций не располагали необходимым оборудованием для штамповки, поэтому

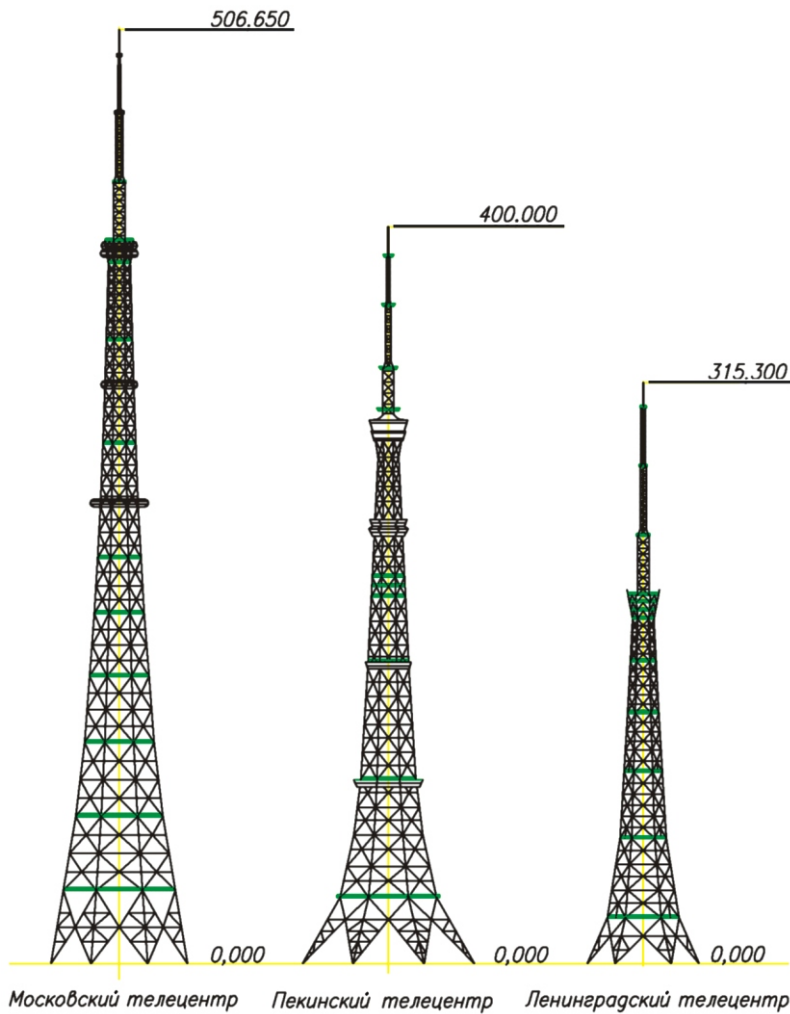


Рис. 1. Проработки телевизионных опор большой высоты

большим трудом удалось разместить заказ на Ждановском заводе тяжелого машиностроения, для чего потребовалось специальное Постановление Совета Министров УССР.

Специалисты головного института «ЦНИИ-проектстальконструкция» указывали на отсутствие достаточного опыта использования сталей столь высокой прочности в строительстве высотных сооружений и на значительный разброс предела текучести. Последнее было решено путем принятия при проектировании коэффициента надежности по материалу равным 0,75.

Позже, на стадии реализации проекта, было принято решение о полистовом контроле предела текучести и переносе данных этого контроля на каждую трубу. Сотрудники института «Укр-проектстальконструкция» и конструкторского бюро завода металлоконструкций им. Бабушкина предложили трубы с более высокими прочностными свойствами использовать для самых

нагруженных элементов башни, что создавало дополнительные запасы прочности.

**Несимметричная конструкция антенны.** В середине 1960-х годов институту «Укрпроектстальконструкция» было поручено проектирование башен для республиканских телецентров в Тбилиси и Ереване. К тому времени мы имели опыт проектирования телевизионных башен в Ленинграде и Москве, где были применены сквозные шести- и восьмигранные конструкции из прокатных труб наибольшего из выпускаемых промышленностью размеров (426 28). Увеличение мощности сечения требовало изменения подхода к выбору материала. Кроме того, в связи с тем, что шахта лифтов, расположенная в центре башни, практически не участвовала в работе на общий изгиб, была предпринята попытка включения ее в работу, что привело к несимметричной схеме с лифтом по одному из поясов. Такое решение получило решительный отказ разработчиков создать наклонный лифт. И тогда родилась идея перейти к несимметричной схеме с вертикальным поясом.

Но если конструкция несимметрична, то почему должны быть симметрично расположены антенны? Что если расположить их так, чтобы цилиндрические оболочки имели не общую ось, а общую образующую? Отказ от симметрии позволяет обойтись двумя лифтами вместо трех и образовать удобную схему движения самоподъемного монтажного крана.

Это решение требовало переделки некоторых чертежей антенной системы, которые разрабатывались в Ленинграде предприятием п/я 667, что было сделано лишь после того, как ГосПИ Министерства связи СССР приняло решение об использовании несимметричной компоновки антенн в качестве типовой.

Так у симметричной схемы Киевской башни появилась несимметричная антенная часть. Как показали дальнейшие проработки, это обстоятельство несколько не испортило внешний вид башни.

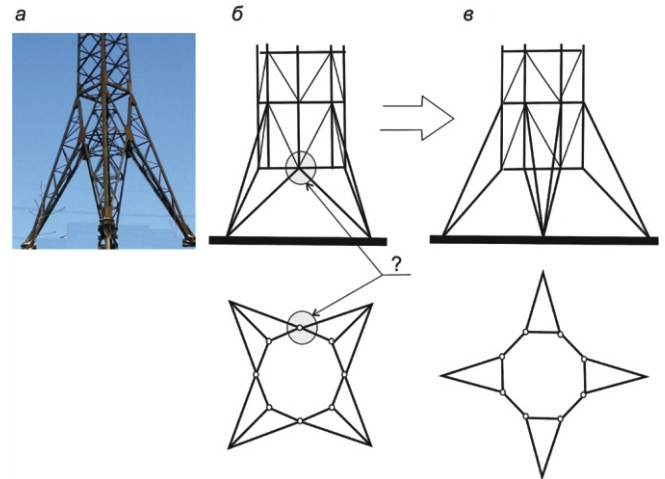
**Конструкция базы.** Проект подрачивания башни Ленинградского телецентра предусматривал систему передвижных подъемников, поскольку этого требовала конфигурация башни. Для Киевской телебашни ствол башни решено было выполнить в виде призматической конструкции постоянного поперечного сечения, а внизу создать базу, которая в процессе выдвигания ствола башни может использоваться как направляющая.

Первоначально базу конструировали по типу конструкций, применяющихся в опорах ЛЭП (рис. 2, а). Но, примененная к восьмигранной конструкции ствола, эта схема привела к появлению очень громоздких узлов, в которых соединялись семь мощных элементов базы и направляющей обоймы (рис. 2, б).

Мною было предложено изменить схему базы (рис. 2, в) таким образом, чтобы вообще избавиться от проблемного узла. Предложение было отклонено, поскольку казалось, что такая схема обладает недостаточной жесткостью. Но при проработке конструкции базы выяснилось, что для заземления ствола башни в базе требуется предусмотреть мощные горизонтальные диафрагмы, которые ужесточают конструкцию, и схема по рис. 2, в была одобрена проектировщиками. База башни представляет собой решетчатую восьмигранную обойму, к которой закреплены пространственные четырехгранные «ноги».

Еще одной проблемой была конструкция постоянного соединения ствола башни с базой. Это соединение должно было реализоваться после завершения подъема ствола, через который должна была передаваться значительная нагрузка. При обсуждении этого вопроса я предложил конструкцию перехода от базы башни к стволу в форме ввариваемых после завершения подрачивания листовых вставок, которые располагались между поясами башни и вертикальными стойками обоймы (рис. 3).

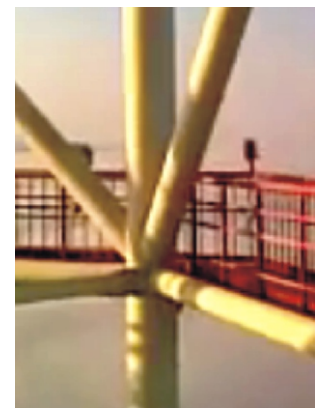
**Бесфасоночные узлы.** От традиционного решения узловых соединений башни институт «Укрпроектстальконструкция» начал отказываться еще при строительстве Ленинградской башни, на которой фланцевый стык поясов был заменен сварным, выполняемым автоматами, специально разработанными ИЭС им. Е.О. Патона. В Киеве был сделан следующий шаг – узлы сопряжения элементов ствола выполнялись



**Рис. 2.** Эволюция схемы базы



**Рис. 3.** Листовая вставка между стойкой обоймы и поясом ствола



**Рис. 4.** Бесфасоночный узел

бесфасоночными с непосредственным примыканием труб решетки к поясам башни (рис. 4).

Для этого ВНИИавтогенмашем было создано новое оборудование, установка которого УФЗТ-2 для фигурных резов концов труб была смонтирована на заводе металлоконструкций им. Бабушкина.

Высказывались сомнения и относительно надежности такого конструктивного решения. Но проведенные в ИЭС им. Е.О. Патона эксперименты показали, что при расцентровках элементов до 0,25 диаметра прочность гарантируется не меньше чем с двукратным запасом.

В наше время, когда узлы трубчатых конструкций с непосредственным примыканием применяются повсеместно, проблемы сорокалетней давности кажутся странными. Но следует отдать должное разработчикам Киевской телебашни, с легкой руки которых такие технические решения обрели жизнь.





Рис. 5. Общий вид башни

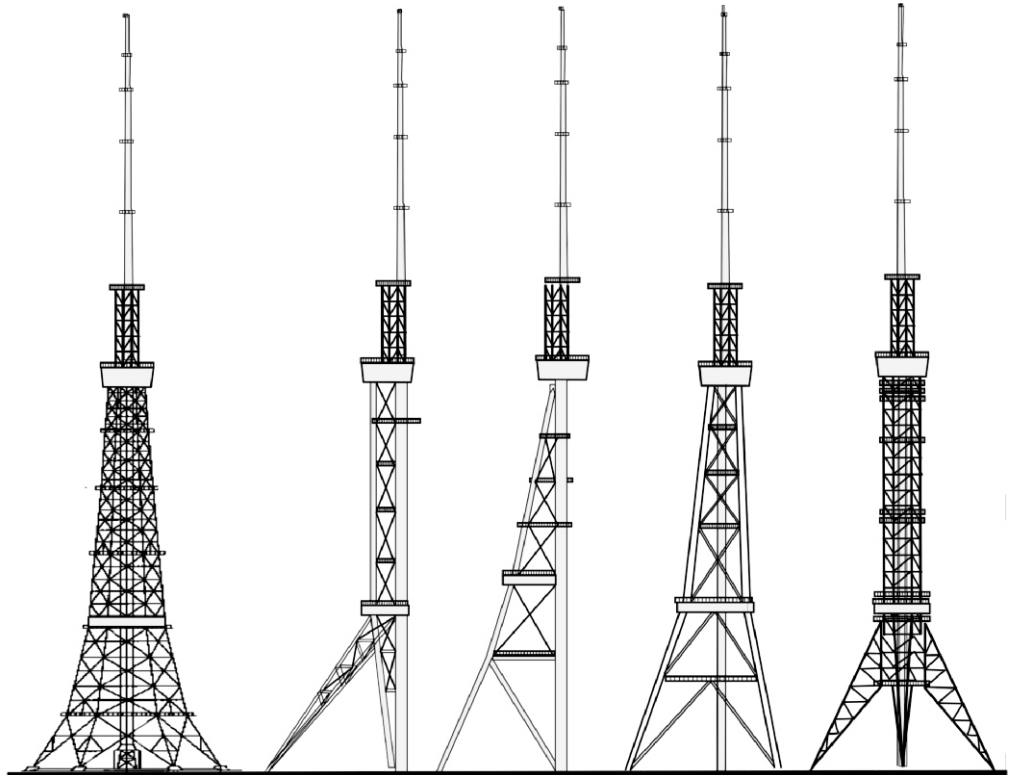


Рис. 6. Варианты для сравнения

**Вопросы расчета.** Основные расчеты конструкций башни первоначально велись по классической схеме с распределением нагрузки на отдельные плоские грани, пространственная система в целом не анализировалась. Позже проводились расчеты башни как единой пространственной многократно статически неопределимой системы. Эти расчеты выполнялись на ЭВМ Минск-22 вычислительного центра Укрпроектстальконструкции по программе ПАРАДОКС, разработанной Киевским научным отделом (КНИО) ЦНИИпроектстальконструкции под руководством Вадима Николаевича Гордеева. Все проверки прочности и устойчивости элементов башни выполнялись вручную с использованием результатов машинного счета. Эту работу выполняли В.А. Петранек и Э.Н. Состановская под руководством Марка Львовича Гринберга.

Расчеты прошли экспертизу в Институте механики АН УССР и в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и были признаны технически грамотными и выполненными на требуемом уровне.

Главным архитектором проекта был Виктор Алексеевич Пермяков, который до этого занимался архитектурным обликом проектируемых мостов. Киевская башня была его первым высотным сооружением и он понимал, что здесь,

как и в мостах, облик сооружения диктуется инженерным решением.

Но, с другой стороны, такой объект является архитектурной доминантой города и поэтому его нельзя отдать полностью на откуп инженерам. Поэтому многие вопросы, связанные с выбором схемы башни (например, высота ее базы) и со многими деталями внешнего облика, решались совместно с инженерами.

Очень скудными средствами, такими, например, как парящие в высоте кольцевые площадки (рис. 5), В.А. Пермякову удалось достичь выразительности башни, причем ее конструктивное решение оказалось не затушеванным, а подчеркнутым. Но все впечатление портили требования по защитной раскраске, превращавшие башню в красно-белый полосатый шлагбаум. Поэтому было решено изменить раскраску, оставив полосы только на антенной части, а ниже покрасить башню в белый цвет, а шахту лифтов – в красный (несколько позже перешли на серый цвет).

**Проектное задание** (сегодня эта стадия проектирования называется «проект») было выпущено институтом «Укрпроектстальконструкция» в ноябре 1966 года. Поскольку институт входил во Всесоюзное объединение «Союзметаллостройинипроект», результаты проектиро-

вания рассматривались его научно-техническим советом (практически советом головного института этого объединения – «ЦНИИпроектстальконструкция»).

Поданный на рассмотрение вариант было предложено сопоставить с другими вариантами конструктивного решения.

На второе рассмотрение были представлены варианты, аналогичные конструкциям башен в Ленинграде, Тбилиси, Ереване, а также дополнительные подварианты предлагаемой конструкции (например, с шестью поясами), но решение так и не было принято из-за недоказанности возможности поставки труб из стали 138ИЗ. Было предложено дополнить проект вариантами конструкции из высокопрочной строительной стали С-45.

На третьем заседании, наряду с предложениями Укрпроектстальконструкции, было рассмотрено еще пять вариантов башен (рис. 6) и два варианта мачт, разработанных в ЦНИИпроектстальконструкции с участием представителей Укрпроектстальконструкции. Совет рекомендовал для дальнейшей разработки мачту с малым количеством расчалок или шестигранную башню из стали типа 16Г2Ас.

А на четвертом расширенном заседании совета было принято решение, что «...конструкция восьмигранной башни, разработанной институтом «Укрпроектстальконструкция», с одиночными поясами из труб стали 138ИЗ, собираемой методом подрачивания, не может быть рекомендована...».

Консенсус был найден после проведения совещания в ИЭС им. Е.П. Патона, на которое были приглашены представители Укрпроектстальконструкции и директор ЦНИИпроектстальконструкции Н.П. Мельников.

Постановлением Совета Министров СССР № 342 от 27 мая 1967 года было утверждено проектное задание на строительство телевизионной башни в тех технических решениях, которые

предлагались институтом «Укрпроектстальконструкция» и ИЭС им. Е.О. Патона.

После этого началась разработка рабочих чертежей стадий КМ и КМД.

Теперь, по прошествии более сорока лет, очевидно, что технический спор между разработчиками башни (Укрпроектстальконструкция и ИЭС им. Е.О. Патона) и головным институтом объединения «Союзметаллостройниипроект» (ЦНИИпроектстальконструкция), по сути, отражал два подхода к проектированию.

Проектировщики ЦНИИпроектстальконструкции стремились создать легко реализуемый (и потому основанный только на проверенных решениях) и экономичный проект конкретного (хотя и уникального) объекта.

Киевская команда понимала, что реализовывать новые перспективные идеи лучше всего на уникальном объекте, к которому приковано внимание инженерной общественности и руководства. И что таким образом легче открывать путь новому.

Действительно, подрачивание породило много проблем, которые пришлось решать в процессе проектирования и строительства. И это удорожило Киевскую башню, но затем, когда подрачивать стали многочисленные башни-трубы, опыт первых неудач и удачных решений оказался весьма кстати. То же самое можно сказать и о конструкциях бесфасоночных узлов, которые стали теперь повсеместными. Прорывная стратегия оказалась оправданной, но предвидеть ее успех было невозможно.

За проектирование и строительство башни Киевского телецентра Государственными премиями СССР были награждены: О.И. Шумицкий, И.Г. Затуловский, А.И. Калиничев (Укрпроектстальконструкция), В.И. Новиков, В.Д. Ковтуненко (ИЭС им. Е.О. Патона), В.Ф. Павловский, А.Н. Соломенко, И.Н. Дзюба (Центростальконструкция), которых, к сожалению, уже нет среди нас, но созданная ими башня продолжает украшать г. Киев.

[1] Б.Е. Патон, А.А. Казимиров, В.И. Новиков, В.А. Ковтуненко, О.И. Шумицкий, И.Г. Затуловский, А.И. Калиничев, Я.С. Барык, В.А. Петранек, Г.Ф. Зайцев, Н.П. Сытник, А.И. Шнайдер и Э.Д. Береславский. А.с. № 497398. Решетчатая башня из трубчатых элементов.  
 [2] Г.Р. Багратуни, Я.С. Барык, Э.Д. Береславский, В.В. Брук, Г.Ф. Зайцев, И.Г. Затуловский, И.В. Иванов, А.И. Калиничев, В.А. Ковтуненко, В.И. Новиков, В.Ф. Павловский, А.Н. Соломенко, Н.П. Сытник, А.И. Шнайдер. А.с. № 447493. Способ монтажа высотных сооружений.

[3] И.Г. Затуловский, А.И. Калиничев, В.Д. Ковбаса, М.П. Кондра, В.Ф. Павловский, Н.М. Файницкий, А.И. Федоренко и П.П. Федоренко. А.с. № 617568. Решетчатая башня.  
 [4] Шумицкий О.И. Исследование и развитие конструктивной формы сварных стальных телевизионных башен большой высоты // Строительные конструкции. Вып. 27. – К.: Будивельник, 1976.



ДО 40-РІЧЧЯ КИЇВСЬКОЇ ТЕЛЕВЕЖІ

## ОСОБЕННОСТИ СООРУЖЕНИЯ КИЕВСКОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ БАШНИ

**В** 2013 г. исполняется 40 лет со дня создания Киевской телевизионной башни. Эта башня высотой 380 м является самой высокой стальной башней в Европе, а до 2009 г. была самой высокой стальной башней в мире (рис. 1). Киевская телевизионная башня представляет собой решетчатое пространственное свободностоящее сооружение, предназначенное для установки телевизионных и радиоантенн, антенн сотовой и радиорелейной связи, а также для размещения различной аппаратуры в двух технических зданиях, расположенных на ее стволе, и обеспечивает прием телевизионного вещания в радиусе 90 километров. Конструктивные части башни показаны на рис. 2.



**Л.О. Кагановский**  
инженер-конструктор  
(Израиль)

Схема башни и узловые монтажные соединения ее элементов были приняты в проекте под монтаж способом подрачивания (рис. 3). Ствол башни выполнен в виде восьмигранной призматической конструкции постоянного поперечного сечения. Четыре наклонные решетчатые ноги базы башни объединены в восьмигранную



Рис. 1. Общий вид Киевской телевизионной башни

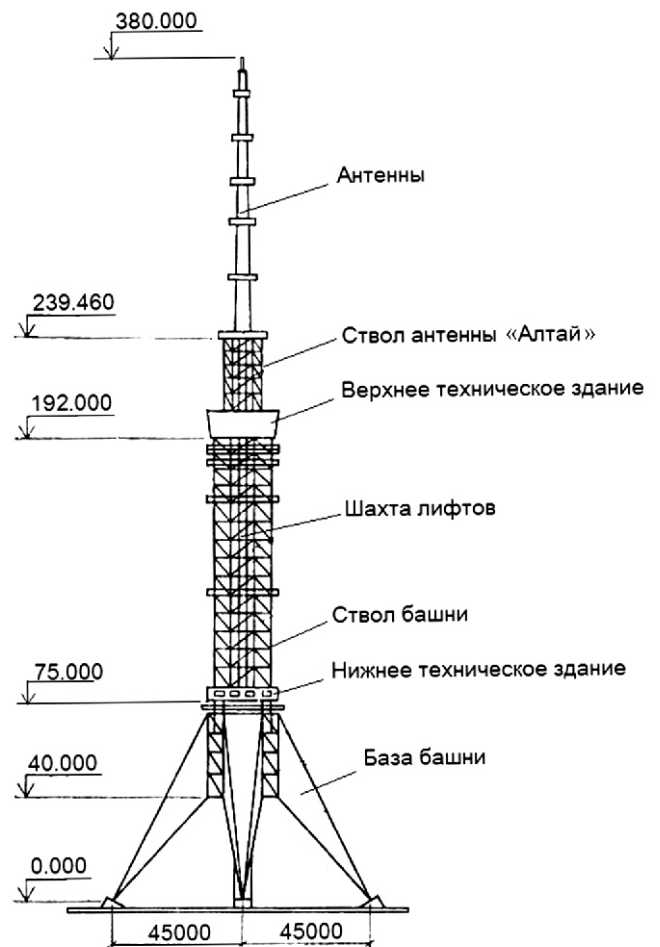
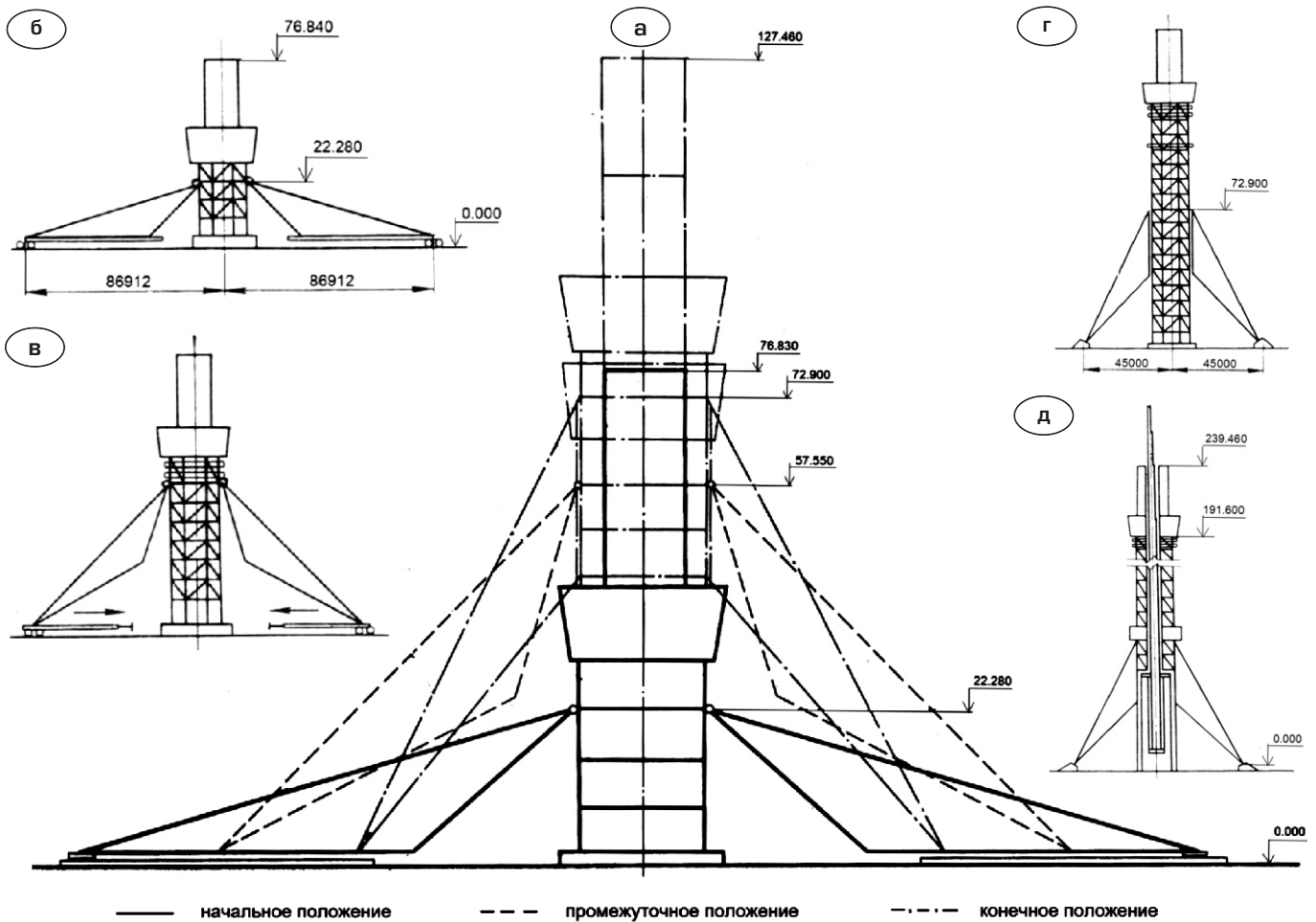


Рис. 2. Схема Киевской телевизионной башни


**Рис. 3. Монтаж башни способом подрачивания:**

а – монтаж базы башни; б – подготовительный этап; в – возведение базы «зонтиком»; г – монтаж ствола башни; д – монтаж антенны и шахты лифтов

обойму, которая в процессе выдвижения ствола башни являлась направляющей. Ствол башни зацеплен в ее базе двумя горизонтальными решетчатыми трубчатыми диафрагмами и вертикальными листовыми вставками на сварке (рис. 4). На отметке 190.200 ствол башни переходит в решетчатую восьмигранную призму ствола антенны «Алтай» (рис. 5). На башне размещаются два технических здания: нижнее одноэтажное между отметками 75.800 и 80.000 и верхнее двухэтажное между отметками 192.000 и 201.000. Нижнее техническое здание является цельносварной шестнадцатигранной призмой с диаметром описанной окружности 28,4 м, верхнее техническое здание – цельносварной усеченной опрокинутой шестнадцатигранной пирамидой с диаметром описанной окружности на уровне нижнего сечения 24,0 м и верхнего – 26,0 м. В центре башни находится шахта лифтов, выполненная из цельносварной трубы диаметром четыре метра, расположенной от фун-

дамента до отметки 240.000. Внутри шахты расположены два лифта (грузовой и пассажирский), лестницы с площадками, фидеры антенн и кабели электропитания. Грузовой лифт поднимается до отметки 329.000, а пассажирский – до верхнего технического здания (отметка 192.000). С отметки 240.000 шахта лифтов переходит в антенну, выполненную из цельносварных труб с уменьшающимися диаметрами по высоте (рис. 6). Между техническим зданием телецентра и стволом шахты лифтов расположен фидерный мост, состоящий из двух наклонных плоских решетчатых ферм, опирающихся на плоские опоры, состоящие из наклонных поясов и решетки. Масса башни – 2790 тонн.

Монтаж башни выполнялся способом подрачивания в четыре этапа. Вначале был смонтирован кондуктор, выполненный в виде восьмигранной призмы высотой 18,9 м, диаметр описанной окружности которой был меньше диаметра ствола башни. Кондуктор способствовал



Рис. 4. Нижнее техническое здание и соединение ствола с базой башни

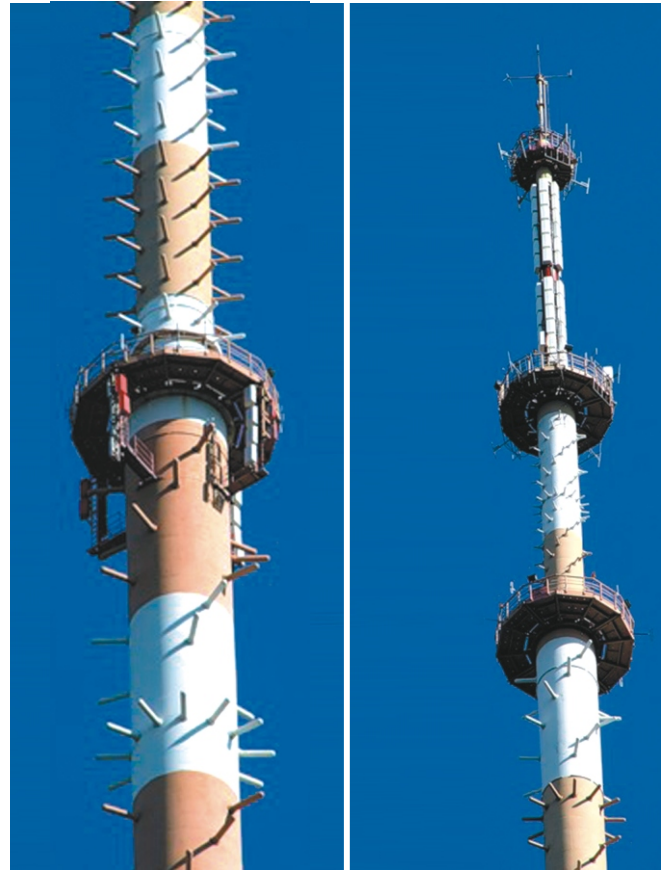


Рис. 6. Ствол антенны

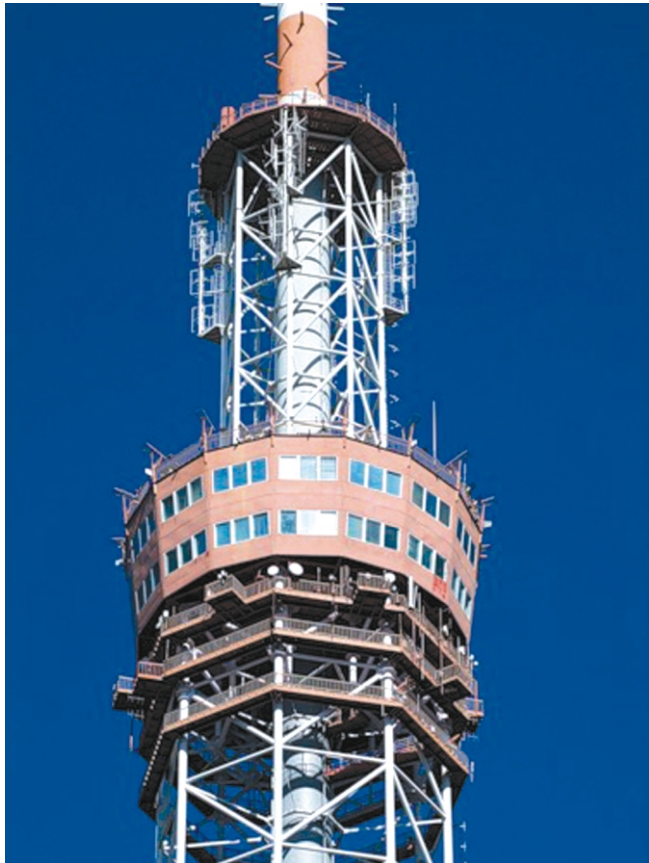


Рис. 5. Ствол антенны «Алтай» с верхним техническим зданием

соединению элементов ствола башни сваркой монтажниками, работающими в полужавоцких условиях на постоянных отметках. Трубчатые пояса башни соединялись электросваркой в среде углекислого газа автоматами, разработанными в Институте электросварки им. Е.О. Патона. На кондукторе находились направляющие рельсы для выдвигания ствола башни.



Рис. 7. Первый этап монтажа



Рис. 8. Фидерный мост

На первом этапе монтажа были смонтированы четыре верхние панели ствола башни, ствол антенны «Алтай» и верхнее техническое здание (рис. 7), затем четыре «ноги» базы башни. Причем эти «ноги» располагались на земле в горизонтальном положении и предварительно

крепилась к стволу башни при помощи шарниров. На втором этапе ствол башни выдвигался при помощи восьми гидравлических домкратов. При этом «ноги» базы башни, поворачиваясь относительно ствола башни, устанавливались в проектное положение. На третьем этапе монтажа ствол башни выдвигался в проектное положение. На четвертом этапе происходило выдвижение антенны и шахты лифтов относительно ствола башни, а также монтаж нижнего технического здания. Затем был сооружен фидерный мост (рис. 8).

Традиционно проектирование стальной башни происходит в два этапа: проект КМ (конструкции металлические) и проект КМД (конструкции металлические деталировочные). Причем проект КМ в данном случае должен выполняться специализированной проектной организацией ГПИ «Укрпроектстальконструкция», а КМД – конструкторским отделом завода металлоконструкций им. Бабушкина. Во время принятия решения о строительстве башни проект



Рис. 9. Монтаж шахты лифтов

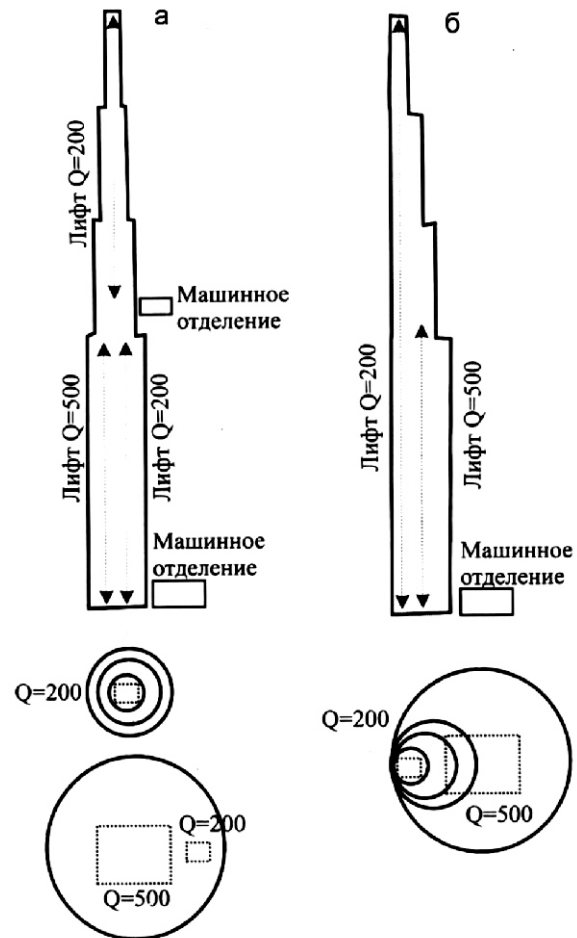


Рис. 10. Схема компоновки шахты лифтов

КМ был недостаточно разработан: нетехнологичными для изготовления и монтажа были соединения «башмаков» базы башни с фундаментами; конструкции верхнего и нижнего зданий, несущие и ограждающие конструкции которых были выполнены из гнутых листов с ребрами; трубчатые распорки ствола башни в районе этих зданий были выполнены из двутавров, вместо труб, не было проекта фидерного моста, а также другие недостатки.

Учитывая сжатые сроки строительства башни, было принято решение поручить доработку проекта КМ и выполнение проекта КМД ГПИ «Укрпроектстальконструкция» с соблюдением строгого графика передачи чертежей КМД по отдельным конструктивным частям башни в конструкторский отдел завода металлоконструкций им. Бабушкина, под строгим контролем представителя Совмина УССР.

В таких сложных условиях директором института и главным инженером проекта башни О.И. Шумицким была создана бригада по проектированию башни во главе с автором, куда вошли опытные специалисты И.И. Кобан, Е.Д. Каснер и другие. Устранять недостатки КМ пришлось путем разработки эскизов, которые передавались непосредственно исполнителям КМД. Чертеж КМД первой нижней секции шахты лифтов, состоящей из трубы диаметром 4 м, длиной 8 м, с начинкой из ограждения шахты, лестницы, крепежных элементов фидеров и кабелей, ребер жесткости и других элементов, из-за сложности и необычности отправочной марки мне пришлось разрабатывать и вычерчивать самому (рис. 9). Аналогично разрабатывались другие отправочные марки шахты лифтов. Были разработаны уникальные «башмаки» базы башни, которые из-за больших усилий сжатия и растяжения крепились к фундаменту без анкерных болтов, через промежуточные листы на сварке. Мы полностью переработали и выпустили чертежи КМ верхнего и нижнего технических зданий, применив по наружным граням зданий двутавровые сварные колонны с наружной изогнутой полкой, а также заменили в стволе башни распорки двутаврового сечения на распорки трубчатого сечения, разработали проект КМ фидерного моста. Из-за недостатка времени все

новые разработки по моим эскизам выполнялись в проекте КМД, а затем оформлялись в проекте КМ. В процессе проектирования выяснилось, что на башне не предусмотрен флагшток. По указанию главного инженера проекта О.И. Шумицкого был добавлен трубчатый флагшток высотой 5 м. Таким образом высота башни составила 380 м. В настоящее время на флагштоке установлена антенна. По предложению А.В. Перельмутера в соединении труб различных диаметров в антенной части башни была принята их несимметричная компоновка, при которой цилиндрические оболочки этих труб имеют не общую ось, а общую образующую (рис. 10). Такое конструктивное решение позволило обойтись двумя лифтами вместо трех и одним машинным отделением вместо двух.

Нами было разработано более 300 чертежей КМД и ни один из них не получил ни одной рекламации на качество проекта. В соответствии с графиком комплекты чертежей КМД (в кальках) очередных частей башни передавались на завод металлоконструкций им. Бабушкина. Авторский надзор на монтаже башни осуществлялся автором.

На завершающем этапе монтажа, по инициативе Института электросварки им. Е.О. Патона, в трубчатый пояс базы башни была заложена капсула, в которую был вложен лист с перечнем организаций и наиболее отличившихся участников создания Киевской телевизионной башни.

Следует отдать должное высоким организаторским способностям, умению оценить ситуацию и принять нетрадиционные технические решения главного инженера проекта О.И. Шумицкого.

В сооружении Киевской телевизионной башни было задействовано большое количество организаций и участников – это проектировщики, изготовители металлоконструкций и монтажники.

Благодаря их труду Киевская телевизионная башня на протяжении сорока лет работает на полную нагрузку, достойно украшая столицу Украины.

Надійшла 07.03.2013 р. 


**ДО 40-РІЧЧЯ КИЇВСЬКОЇ ТЕЛЕВЕЖІ**

## СВАРКА ПРИ ВОЗВЕДЕННІ БАШНИ КИЄВСЬКОГО ТЕЛЕЦЕНТРА

**П**ри строительстве башни Киевского телецентра было применено ряд новых конструктивных и технологических решений, которые отражали достижения киевской школы проектирования в области металлостроительства и возможности современных сварочных технологий. Несмотря на жесткое сопротивление со стороны Всесоюзного объединения по проектированию строительных металлических конструкций, предложенный проект телебашни был реализован во многом благодаря активной поддержке президента АН Украины Б.Е. Патона и Правительства УССР.

К основным достоинствам проекта Киевской телебашни с позиций сегодняшнего дня, прежде всего, следует отнести:

- использование для элементов башни трубчатых сечений, изготовленных из высокопрочной стали;
- применение узловых соединений с непосредственным примыканием элементов друг к другу;
- сооружение является цельносварным с высоким процентом использования автоматической сварки;
- применение способа монтажа башни методом подрачивания впервые в отечественной практике.

Успешной реализации этих прогрессивных новшеств способствовало применение сварки, объем которой в сооружении Киевской башни достаточно высок, поскольку трубы изготавливались из листа, укрупнялись с помощью кольцевых стыков. На монтаже все соединения также выполнялись с помощью сварки.

При сооружении башни использовалась автоматическая сварка в среде углекислого газа и ручная электродуговая сварка плавящимся электродом.

**Изготовление труб.** Трубы изготавливались из листа на Ждановском заводе тяжелого машиностроения (ЖЗТМ). Технологический процесс предусматривал следующую последовательность операций:

- Обработка кромок и снятие фасок под два продольных стыковых шва.



**Л.М. Лобанов**  
академик НАН Украины,  
заместитель директора  
Института электросварки  
им. Е.О. Патона НАН Украины



**Э.Ф. Гарф**  
главный научный сотрудник  
Института электросварки  
им. Е.О. Патона НАН Украины, д.т.н.



**Л.Н. Копылов**  
руководитель группы НПФ «ВИСП»  
Института электросварки  
им. Е.О. Патона НАН Украины



**А.Г. Синеок**  
заведующий лабораторией  
«Сварка в строительстве»  
Института электросварки  
им. Е.О. Патона НАН Украины

- Холодная штамповка заготовок (полутруб) длиной 4000 мм.
- Сборка и сварка труб на специально изготовленном стенде. Сварка наружных и внутренних продольных стыковых швов выполнялась в соответствии с разработанной Институтом электросварки и лабораторией ЦНИИТС технологией. При этом использовался специально разработанный малогабаритный трактор ТС-42 для сварки под флюсом внутренних продольных швов. Для автоматической сварки под флюсом применялась сварочная проволока марки Св 08Н2М в сочетании с флюсом марки 138КФ-1.
- Контроль качества сварных соединений.



Для снятия внутренних напряжений в трубе, образовавшихся в процессе формовки корыт и сварки продольных швов, производилась термическая обработка труб.

После этого осуществлялась калибровка концов труб в холодном состоянии, что позволяло без особых затруднений выполнять их стыковку.

Завершающей операцией было снятие фасок под сварку на концах труб.

**Автоматическая сварка кольцевых стыков поясов при монтаже башни.** Принятый при разработке проекта башни способ монтажа подращиванием дал возможность все основные сборочно-сварочные работы по сварке колонн ствола башни выполнять со стационарных монтажных площадок, расположенных на высоте 18 м от поверхности земли. Монтажные площадки закреплялись к направляющему кондуктору, находящемуся внутри ствола башни (рис. 1).

Это позволило применить автоматическую сварку при наращивании наиболее ответственных элементов башни (8 вертикальных колонн поясных труб диаметром 550 мм с толщиной стенки 18 и 22 мм) и таким образом реализовать все преимущества автоматической сварки как с точки зрения обеспечения качества, так и с позиций трудоемкости.



Рис. 1. Откидная монтажная площадка для выполнения автоматической сварки

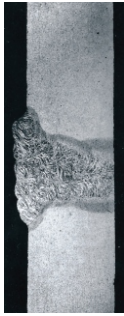
На начальном этапе выполнялись работы по разработке техники и технологии сварки. Необходимо было обеспечить высокое качество сварного шва и прочность сварного соединения не ниже прочности основного металла; получить максимально возможную производительность сварочного процесса.

Экспериментальные работы по разработке техпроцесса автоматической сварки выполнялись группой сотрудников (руководитель группы Кривошея В.С., ведущие инженеры Копылов Л.Н. и Зиль В.М.) под руководством лауреата Ленинской премии Дубовецкого В.Я. и д.т.н. Лебедева В.Ф. с привлечением ряда научно-исследовательских лабораторий института. Для проведения экспериментальных исследований по разработке техники и технологии сварки горизонтальных швов на вертикальной плоскости была смонтирована лабораторная установка, на которой сваривались натурные образцы труб.

После сварки обечаек проводился контроль качества сварного шва (ультразвуковая дефектоскопия, гаммаграфирование), затем из сварного соединения вырезали заготовки, изготавливали образцы для механических и металлографических исследований. По результатам испытаний проводилась корректировка параметров сварочного процесса, которая учитывалась в последующих экспериментах.

Поясные трубы ствола башни были изготовлены из стали марки 138 ИЗ с повышенными прочностными характеристиками. Эта сталь, выплавленная Ижорским металлургическим заводом, впервые использовалась в практике строительства объектов башенного типа, поэтому необходимо было выполнить большой объем исследований по ее свариваемости. При проведении экспериментов столкнулись с рядом трудностей. В частности, на начальном этапе исследований во время механических испытаний сварных соединений не удавалось получить положительные результаты при испытании образцов на загиб (требование 180°). И только после применения простого технологического приема – наплавки четырех-пяти отжигающих валиков на нижней и верхней кромках стыка – необходимые результаты были получены (рис. 2).

В результате выполненных экспериментальных работ была установлена оптимальная V-образная разделка кромок стыкового соеди-



**Рис. 2. Макрошлиф сварного соединения трубы, выполненного автоматической сваркой в среде углекислого газа**

нения трубы с минимальной площадью поперечного сечения сварного шва. Скос нижней кромки равен  $11^\circ$ , верхней –  $27^\circ$ . Были определены основные параметры технологического процесса, разработана техника автоматической сварки горизонтальных кольцевых швов на вертикальной плоскости, обеспечивающая получение бездефектных сварных соединений.

Разработанный технологический процесс обеспечивал равнопрочность сварного соединения и основного металла трубы.

На основании данных, полученных при разработке техники и технологии сварки, были разработаны Технологическая инструкция по сварке монтажных стыков ствола башни и Техническое задание на проектирование оборудования для автоматической сварки горизонтальных кольцевых стыков.

Конструкция аппарата для сварки монтажных стыков поясных труб ствола башни разрабатывалась под руководством к.т.н. В.Е. Патона. Основными исполнителями проектной документации были Ю.И. Сапрыкин и В.Н. Котов. При разработке конструкции оборудования учитывалось, что при монтаже ствола башни допускается снятие нагрузки одновременно с двух диаметрально расположенных вертикальных колонн, что позволяет выполнять сварку одновременно двух стыков. Поэтому, с целью сокращения затрат на переустановку сварочного оборудования и обеспечения максимальной производительности сварочных работ было принято решение при монтаже башни одновременно использовать два комплекта сварочных автоматов, а для удобства транспортировки аппаратуры при сварке последующих стыков расположить автоматы на транспортной тележке.

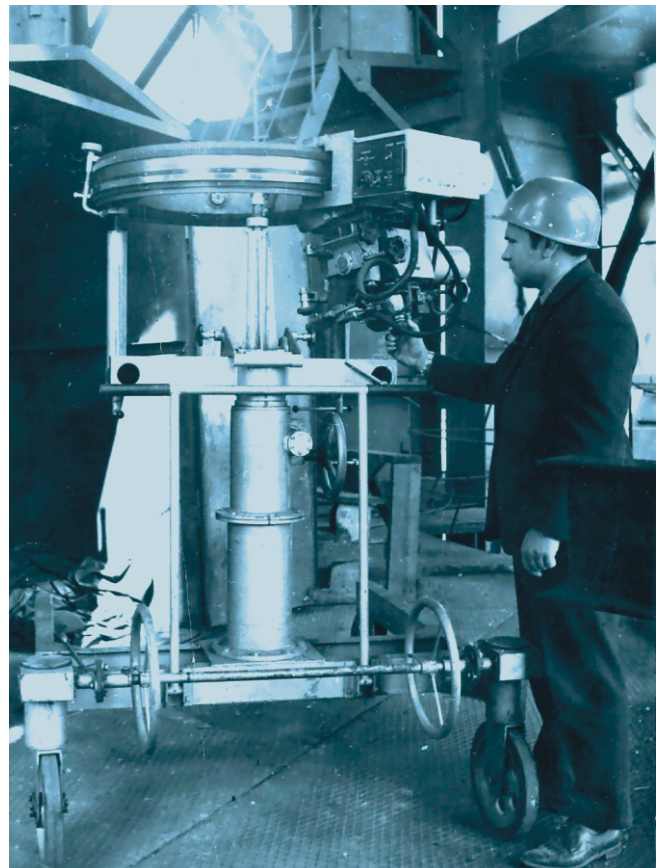
Коллективом конструкторов ОКБ ИЭС им. Е.О. Патона была разработана конструкция специализированного сварочного автомата А-1311, который состоял из сварочной головки с направляющим рельсом. Оборудование располагалось на транспортной тележке (рис. 3).

На опытном заводе сварочного оборудования ИЭС им. Е.О. Патона было изготовлено два комплекта сварочных автоматов А-1311. Оборудование прошло технологические испытания и было передано монтажной организации – СМУ-21 Минмонтажспецстроя УССР.

Специалисты Института электросварки провели обучение бригады сварщиков монтажной организации, которые освоили технику автоматической сварки и приемы работы на сварочных автоматах и получили допуск на выполнение работ по автоматической сварке монтажных стыков поясных труб башни.

Для качественного выполнения автоматической сварки был выполнен ряд организационно-технических мероприятий:

- на строительной площадке оборудован стенд для предварительной контрольной сборки свариваемых труб;
- в зоне монтажных площадок смонтированы дорожки для транспортировки сварочных автоматов от стыка к стыку;
- оборудованы откидные площадки, которые устанавливались на время сварки монтажного стыка и опускались во время подъема башни;



**Рис. 3. Сварочный аппарат А-1311, расположенный на технологической транспортной тележке**

- изготовлены быстросъёмные палатки, защищающие от ветра монтажную площадку во время сварки;
- освещены монтажные площадки для сварки.

Работы по монтажу башни, а соответственно и автоматическая сварка монтажных стыков поясных труб, велись в две смены.

Был отработан техпроцесс сборки и сварки монтажных стыков поясных труб. На стенд для контрольной сборки труб укладывались две трубы, которые должны стыковаться друг с другом, подбирались наиболее благоприятное расположение стыкуемых торцов. На торец трубы, которая будет нижней при сборке монтажного стыка, устанавливалось бочкообразное металлическое подкладное кольцо толщиной 4 мм, которое со стороны наружной поверхности трубы приваривалось к корневому участку трубы сплошным швом по всему периметру. На наружной поверхности труб краской наносилась метка, которая при сборке на монтаже позволяла повторить данное положение труб.

После разгрузки двух диаметрально расположенных домкратов, обеспечивающих подъём башни, на их толкатели устанавливалась нижняя труба, которая при помощи домкратов подвигалась к нижнему торцу верхней трубы. Технологический зазор в корне выставляли также при помощи домкратов.

Сварочный автомат на тележке подвозился к месту сварки, устанавливался и закреплялся на свариваемом стыке, после чего тележка убиралась с монтажной площадки и устанавливалась защитная палатка.

Монтажный стык собирался с технологическим зазором в корне 3,0–4,0 мм. Многопроходная сварка монтажного стыка выполнялась с предварительным подогревом кромок до температуры 180–200 °С. Для подогрева использовалась многопламенная газовая безкислородная горелка, которая закреплялась на сварочном аппарате впереди сварочного мундштука. После нагрева начального участка стыка до необходимой температуры начинался сварочный процесс. Для сварки применялась электродная проволока марки СВ-10ГСМТ диаметром 1,2 мм. Сварка внутренних проходов шва выполнялась на токе 230–250А, при напряжении на дуге 23–24В. Режим облицовочных проходов

150–180А, напряжение – 19–21В. В зависимости от толщины стенки трубы (18–22 мм) для заполнения разделки необходимо было наплавить 16–20 проходов. Линейная скорость сварки отдельных проходов 13–15 м/час. В процессе сварки выполнялась периодическая зачистка поверхности шва абразивным инструментом от шлака. После окончания сварки стыка поверхность сварного соединения зачищалась и шву придавалась бочкообразная форма. Такая обработка повышает эксплуатационные характеристики сварного соединения и даёт возможность качественно выполнять ультразвуковой контроль шва. Затем производился 100 % ультразвуковой контроль сварного соединения. При необходимости для уточнения результатов применяли гаммаграфирование. За весь период строительства не было ни одного случая дефектов шва. Общее время сварки одного стыка с наладкой оборудования, установкой и демонтажем защитной палатки не превышало 2,5 ч, из которых сварка составляла не более 1,5 ч.

На протяжении всего периода строительства башни Киевского телецентра специалисты ИЭС обеспечивали авторский контроль на всех этапах сборочно-сварочных работ металлоконструкций ствола башни (рис. 4).

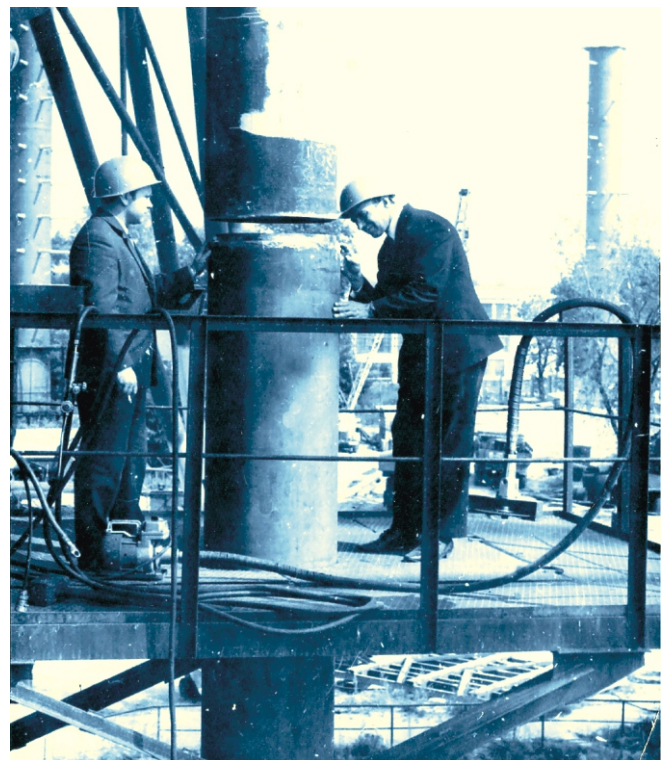


Рис. 4. Контроль качества сборки кольцевого стыка

**Ручная электродуговая сварка.** Значительный объем работ при строительстве башни выполнялся ручной электродуговой сваркой плавящимся электродом. Контроль за всеми операциями, связанными с ручной сваркой, осуществляла группа сотрудников института, возглавляемая В.А. Ковтуненко.

Метод монтажа подрачиванием позволил сварку элементов решетки, изготовленных из стали марки Ст20, со стойками башни выполнить на небольшой высоте – в пределах двух ярусов. Поскольку элементы решетки со стойками соединялись путем непосредственного примыкания по пространственной кривой, большое внимание уделялось прирезке концов труб элементов решетки, которое выполнялось на заводе им. Бабушкина. Для этого заводом с участием ВНИИАвтомат и Одесского завода «Автогенмаш» была изготовлена установка, обеспечивающая достаточно качественную прирезку концов. В отдельных случаях на монтаже требовалась подгонка для обеспечения требуемых зазоров.

Собранные соединения элементов допускались к сварке после их приемки представителем ИЭС и инспектором по сварке СМУ-21, с регистрацией в журнале сборочных работ. На соединении наносилась маркировка, разрешающая выполнять сварку.

Сварка выполнялась при температуре не ниже  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  низководородными электродами марки 48Н-1, обеспечивающими механические свойства сварного соединения на уровне стали класса С-60. Независимо от температуры окружающей среды, при сварке узловых соединений применялся предварительный подогрев до температуры  $+50\text{...}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , с целью удаления конденсата. Сварка выполнялась ниточными многослойными швами (рис. 5).

Западание между валиками регламентировалось в пределах  $1,0\text{...}1,2\text{ мм}$ , с плавным переходом от шва к основному металлу.

Соединения на участках полного провара контролировались ультразвуковым методом. В отдельных местах, требующих углубленной расшифровки результатов контроля, применялось гаммаграфирование.

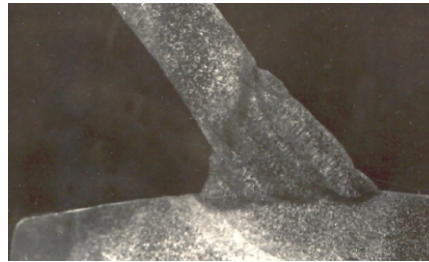


Рис. 5. Макрошлиф соединения, выполненного ручной электродуговой сваркой

Ручной электродуговой сваркой было выполнено значительное количество стыковых соединений труб, в частности: опорные части, стойки решетчатой части антенны «Алтай» и ствол антенны.

Стыковые соединения выполнялись на подкладном кольце с использованием тех же сварочных материалов. В институте отрабатывались технология и техника сварки, оптимальные режимы, обеспечивающие стабильное качество сварных соединений. Все сварщики проходили квалификационный отбор с обязательной сваркой контрольных образцов. При сварке стыков из стали марки 14ХГН2МД (138 И3) выполнялся предварительный подогрев до температуры  $160\text{...}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В остальном требования к сварным соединениям были аналогичными принятым для узловых соединений.

Ручной электродуговой сваркой были выполнены также каркас здания, связи, площадки и другие соединения.

К созданию башни причастно большое количество инженеров-проектировщиков, ученых, монтажников, инженеров и рабочих-строителей, каждый из которых внес свою лепту в это уникальное сооружение. Особо хотелось бы отметить вклад О.И. Шумицкого и В.И. Новикова, которые приложили огромные усилия для реализации проекта, принимая новые и неординарные инженерные решения, а также Б.Е. Патона, без поддержки которого в тех условиях проект не мог быть осуществлен.

И в настоящее время башня Киевского телецентра является образцом совершенства инженерной мысли, отражает высокий уровень проектирования и технологий, использованных при ее строительстве.

Надійшла 12.06.2013 р.



ДО 40-РІЧЧЯ КИЇВСЬКОЇ ТЕЛЕВЕЖІ

## МЕТОД ПОДРАЦІВАННЯ ПРИ МОНТАЖЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦІЙ КИЇВСЬКОЇ ТЕЛЕБАШНИ

Сущность предложенного способа монтажа башни методом подращивания заключается в следующем. До начала монтажа сооружения устанавливают подъемно-сборочный агрегат, на котором монтируют часть ствола. На нулевой отметке собирают опоры-ноги базы и соединяют их шарнирами со стволом. Подращивая ствол, устанавливают опоры-ноги в проектное положение, под нижние концы которых подводят фундамент, а верхние объединяют решеткой, образуя обойму, через которую в дальнейшем выдвигают ствол до проектной отметки. Затем опоры-ноги жестко закрепляют к стволу, внутри которого продолжают выдвигать антенну и шахту лифтов.

Проект производства работ (ППР), разработанный институтом «Укрмонтажоргстрой», на основании предложенного способа монтажа башни методом подращивания предопределил четыре характерных этапа (рис. 1).

**Подготовительный этап.** В соответствии с разработанным стройгенпланом после планировки территории были устроены внутриплощадочные проезды и дороги с улучшенным пок-



**Н.П. Сьтнік**

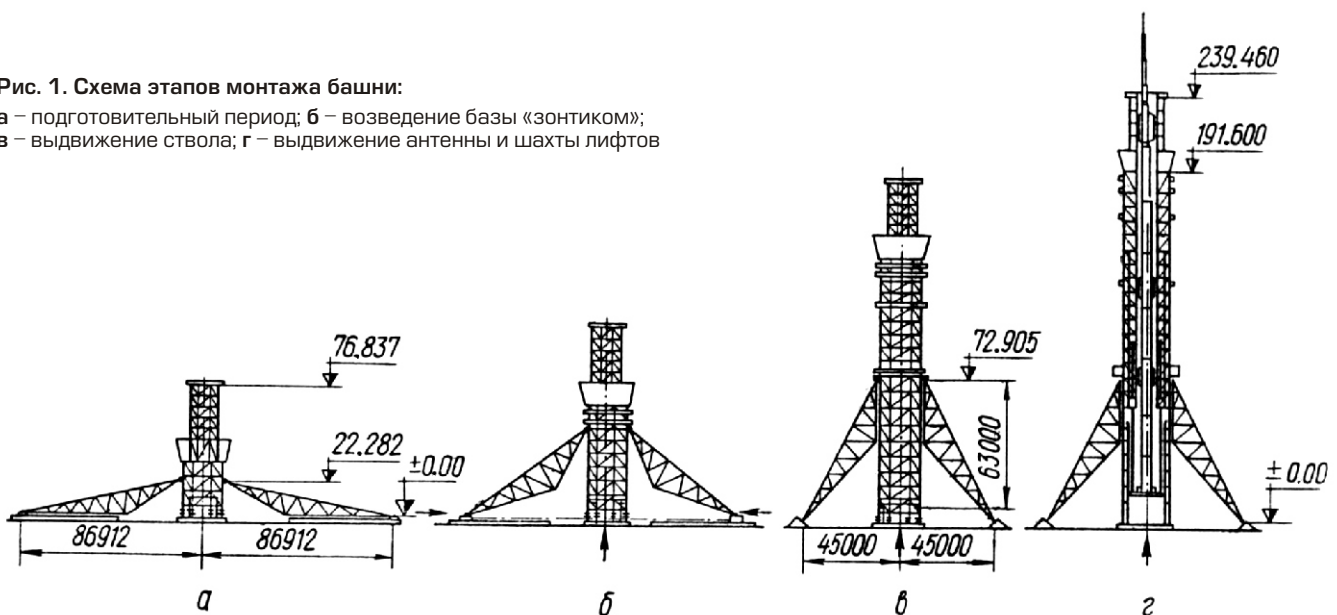
директор 000 «Научно-технический центр «Монтажспецтехника», д.т.н., лауреат Государственных премий СССР и Украины, заслуженный изобретатель УССР

рытием, отведены и благоустроены места для складирования металлоконструкций, площадки под их укрупнительную сборку, подведена электроэнергия, устроено общеплощадочное освещение и установлено необходимое количество передвижных вагончиков для размещения бытовок и прорабских помещений.

На этом этапе были забетонированы фундаменты для шахты лифтов и подъемно-сборочного агрегата, фундаменты под опоры-ноги башни, а также ленточные под накатные пути, кроме того смонтированы подъемно-сборочный агрегат, стенды для укрупнительной сборки конструкций, часть конструкций верха башни, опоры-ноги башни.

Рис. 1. Схема этапов монтажа башни:

а – подготовительный период; б – возведение базы «зонтиком»; в – выдвигание ствола; г – выдвигание антенны и шахты лифтов



\* А.с. № 447493. Бюллетень «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1974, № 39

Для башенного крана КБ-1000 выполнен кольцевой путь с радиусом 49 м, расположенный эксцентрично относительно центра башни. Это дало возможность вести укрупнительную сборку и монтаж секций ствола башни, ствола антенны «Алтай» и опор-ног базы, а также складировать конструкции внутри кольцевых путей, расширяя таким образом площадь, которую может обслужить кран.

Верхние плоские блоки поочередно выводили в вертикальное положение двумя одновременно работающими кранами СКГ-63 и КБ-1000.

Нижние части блоков опор-ног возводили в предмонтажное положение самоходными кранами СКГ-63 и МКП-40 и пристыковывали к верхнему блоку.

Параллельно с установкой в предмонтажное положение опор-ног башенным краном монтировали конструкции верхнего технического здания.

Затем было смонтировано синхронизирующе-натяжное устройство, представляющее собой замкнутую канатную систему, огибающую блоки, установленные в начале и в конце накатного пути опор-ног базы, блоки были закреплены к якорям.

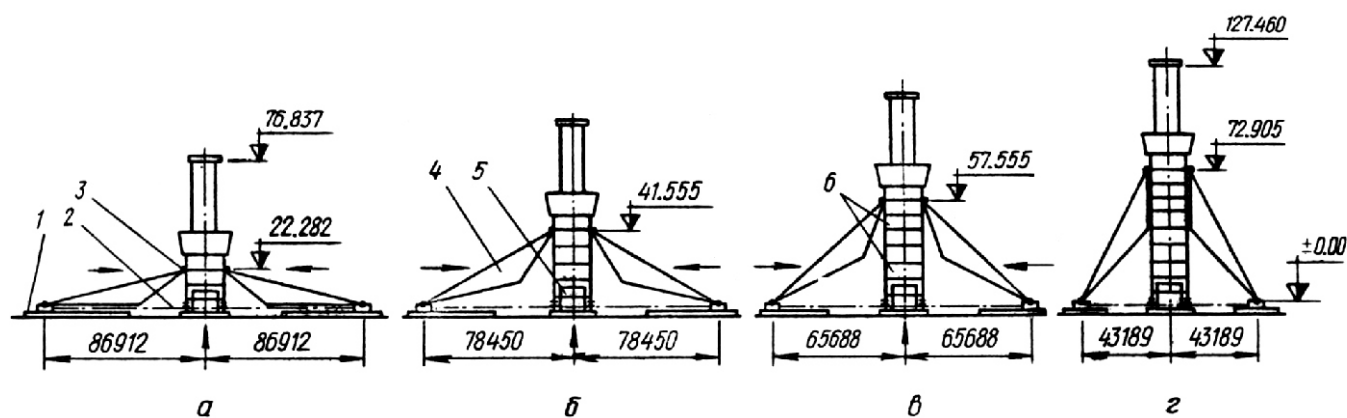
Всего было смонтировано 1205 т металлоконструкций верхних секций ствола башни, ствола антенны «Алтай» и опор-ног базы, а также 175 т монтажного оборудования.

**Возведение базы «зонтиком».** Такое название этот этап получил потому, что в процессе подъема опор-ног базы концы опор-ног, приближаясь к стволу, напоминают закрывающийся

зонтик. Технологический процесс возведения базы «зонтиком» (рис. 2) от предмонтажного начального положения (определяющегося положением шарниров соединения опор-ног базы со стволем башни на отметке 22.282 м) в конечное проектное положение (характеризовавшееся креплением опор-ног базы к стволу на отметке 72.0 м, что соответствует положению шарниров на отметке 72.905 м) производился одновременно с подрачиванием ствола путем поэлементной сборки и сварки подрачиваемого яруса на подъемно-сборочном агрегате АПС-8 и последовательного ступенчатого подъема в пределах яруса на его высоту 8 м (восемь шагов по 0,9 и один последний 0,8 м). Для возведения базы в проектное положение было произведено семь таких циклов (стадий подъема), т. е. подрачено семь ярусов ствола.

Масса конструкций каждого яруса в зависимости от толщины труб колебалась от 28 до 30 т.

В процессе монтажа базы «зонтиком» синхронизирующе-натяжное устройство позволило исключить перекося ствол башни от возникающих горизонтальных нагрузок. Это подтверждает тот факт, что отклонения оси ствола от вертикали в процессе монтажа не только не превышали нормативные 0,001Н, но были меньше их в 2–4 раза. При возведении базы нижние концы четырех ее опор-ног перемещались по накатным путям на одинаковые расстояния, т.е. в замкнутой кольцевой канатной системе СНУ-4 с предварительным натяжением происходило перераспределение и выравнивание усилий. Усилия в системе в процессе подъема изменялись в



**Рис. 3. Схема технологического процесса возведения базы «зонтиком»:**

а – первоначальное положение опор-ног базы и части ствола перед возведением; б и в – промежуточные положения опор-ног базы в процессе их возведения соответственно после подрачивания трех и пяти ярусов ствола; г – конечное (проектное) положение опор-ног после подрачивания семи ярусов ствола; 1 – накатной путь; 2 – синхронизирующе-натяжное устройство СНУ-4; 3 – технологический шарнир соединения опоры-ноги базы со стволем; 4 – опоры-ноги базы; 5 – подъемно-сборочный агрегат АПС-8; 6 – подрачиваемые ярусы ствола

небольших пределах, а максимальное отставание ног базы относительно друг друга при их перемещении по накатным путям не превышало 40 мм. После каждого подъема ствола на один ярус монтажные башмаки базы дополнительно фиксировались специальными противоугонными устройствами, установленными на рельсах накатных путей. Промежуточное положение возведения базы «зонтиком» показано на рис. 3.

На конечной стадии этого этапа на подъемно-сборочный агрегат приходилась нагрузка, равная 1364 тс.

После выведения базы в проектное положение была тщательно выверена вертикальность смонтированной части башни.

**Выдвижение ствола.** Перед началом этапа выдвижения ствола на отметке 72.33 м всех восьми вертикальных поясов базы были смонтированы верхние рычажные направляющие устройства.

Верхние направляющие устройства совместно с нижними направляющими подъемно-сборочного агрегата, смонтированными на отметках 9.48 м на опоре-кондукторе, образовали направляющий «канал» высотой около 63,0 м для выдвижения ствола, который обеспечил его вертикальность в процессе выдвижения, а также восприятие возникающих горизонтальных нагрузок. При этом технологический процесс подращивания элементов ствола (рис. 4) не имел принципиальных отличий от описанного при возведении базы «зонтиком», который выполнялся одновременно с возведением базы.

В связи с тем, что ствол башни заканчивался на отметке 64.0 м для выдвижения его на проектную отметку потребовалось искусственное удлинение на восемь дополнительных ярусов,



Рис. 3. Возведение базы «зонтиком» (промежуточное положение опор-ног базы)

получивших название хвостовик. Все размеры и геометрия яруса хвостовика были аналогичны ярусам ствола башни. Учитывая, что хвостовик является временной конструкцией, все его элементы были выполнены из обычной стали класса С-30 (пояса из труб, а решетка – из прокатных профилей). Масса хвостовика составила 155 т.

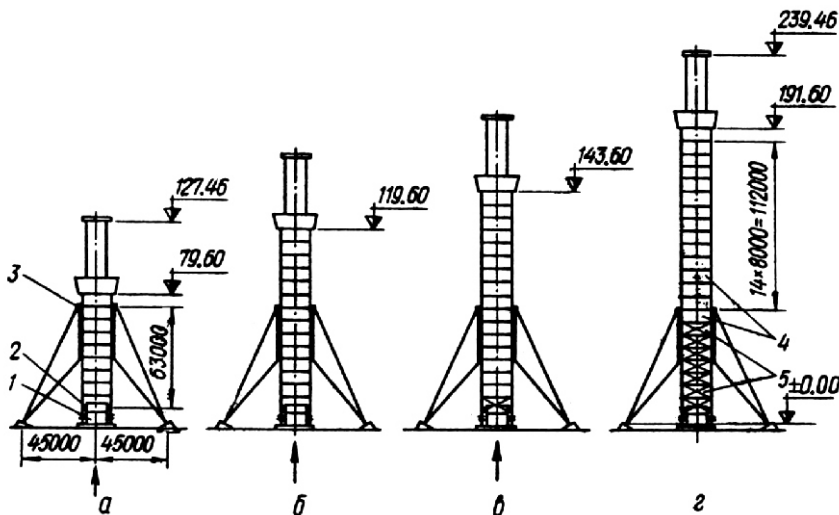
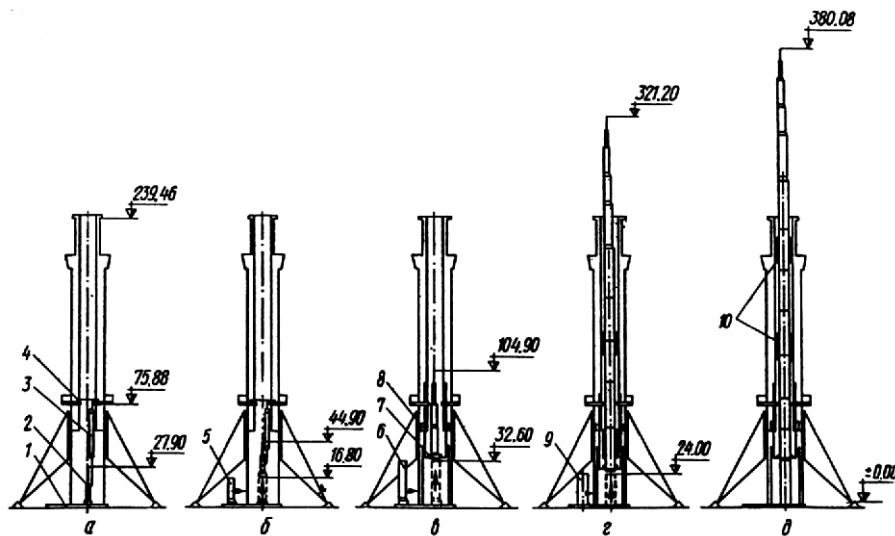


Рис. 4. Схема технологического процесса выдвижения ствола:

а – первоначальное положение ствола перед его выдвижением; б и в – промежуточные положения ствола в процессе выдвижения после подращивания соответственно пяти, семи ярусов ствола и одного яруса хвостовика; г – конечное (проектное) положение ствола после подращивания семи ярусов ствола и семи ярусов хвостовика;

- 1 – подъемно-сборочный агрегат АПС-8;
- 2 – нижнее рычажное направляющее устройство;
- 3 – верхнее рычажное направляющее устройство;
- 4 – подращиваемые ярусы ствола;
- 5 – подращиваемые ярусы хвостовика



**Рис. 5. Схема технологического процесса выдвигания антенны и шахты лифтов:**

**а** – первоначальное положение первого монтажного блока антенны А1 перед его подъемом полиспастом; **б, в и г** – промежуточные положения блоков антенны и шахты лифтов в процессе их выдвигания на различных монтажных стадиях подъема – соответственно в конце 1-й, 3-й и 9-й; **д** – конечное (проектное) положение блока антенны и шахты лифтов (13-я монтажная стадия подъема); **1** – лист для надвигки монтажных блоков; **2** – блок антенны А1; **3** – подъемный полиспаст; **4** – балки перекрытия нижнего технического здания (место строповки полиспаста); **5** – подача блока антенны А2 в зону монтажа; **6** – подача блока антенны А4 в зону монтажа; **7** – строповочный упор; **8** – шаговый подъемный агрегат АПШ-3; **9** – подача блока шахты лифтов Ш5 в зону монтажа; **10** – направляющие

На этом этапе при первом подъеме масса выдвигаемого блока составляла 871 т, последний блок имел массу 1470 т. Выдвижение ствола башни продолжалось 140 рабочих дней, т. е. 6 дней на один 8-метровый ярус.

После окончания выдвигания ствола башни на проектную отметку 240.0 м была выполнена тщательная его выверка относительно вертикальной оси. Затем ствол с помощью листовых вставок на сварке закрепили к верхней панели базы.

#### **Выдвижение антенны и шахты лифтов.**

Выдвижение антенны и шахты лифтов было осуществлено путем последовательного подъема непрерывно укрупняемого блока (рис. 5).

Согласно ППР антенна и шахта лифтов были разбиты на 13 монтажных блоков (на пять – антенна А1–А5 и восемь шахта лифтов Ш1–Ш8), соответственно этап выдвигания антенны и шахты лифтов имел 13 монтажных стадий подъема. Сущность способа монтажа на данном этапе заключалась в следующем.

Самый верхний блок антенны А1 поднимали на высоту, необходимую для свободной подставки нижерасположенного блока А2. После оформления и сварки монтажного стыка блока А1 с А2 укрупненный блок антенны поднимали на высоту, необходимую для свободной подставки следующего монтажного блока А3. При достижении проектного положения ствол антенны и шахты лифтов закрепляли на центральном фундаменте, а также в уровне верха ствола антенны «Алтай» и верхнего технического здания.

Перед подъемом были замерены высота последнего блока и расстояние между кольцами

постоянного проектного закрепления антенны и отметкой 239.235 м. Блок установили на металлический лист для надвигки, на котором по окружности царги были уложены металлические подкладки высотой 250 мм. Последний подъем (рис. 6) продолжался до тех пор, пока кольцо на царге не совпало с местом проектного закрепления на отметке 239.235 м. Масса последнего поднимаемого блока составила 715 т.

Затем демонтировали всю монтажную оснастку, балочную клетку и шаговый агрегат.

**Специальное оборудование для монтажа металлоконструкций башни.** Новые технические решения предложенного способа возведения башни методом подрачивания вызвали необходимость создания целого комплекса специального монтажного оборудования, технический и рабочий проекты которого были разработаны институтом «Укрмонтажоргстрой». Работа по его проектированию была не менее сложной, чем разработка способа и технологии монтажа.

Еще в начальной стадии проектирования башни велись поиски принципиальных технических решений способа осуществления ее монтажа методом подрачивания, прорабатывались системы подъема в целом и входящие в них отдельные наиболее ответственные узлы специального монтажного оборудования.

При разработке систем подъема и специального монтажного оборудования конструкторам пришлось решать ряд сложных задач, связанных главным образом со спецификой принятого метода монтажа. Необходимо было обеспечить:



- надежную и безаварийную работу систем подъема на всех этапах строительства в любой период монтажного состояния;
- высокую точность сборки и сварки конструкций башни при непосредственном примыкании трубчатых элементов друг к другу и создать условия для их контроля;
- гарантированные величины монтажных воздействий на прочность и устойчивость конструкций башни в местах их соприкосновения (сочленения, контакта) с элементами монтажного оборудования;
- максимальную унификацию монтажного оборудования с целью возможности его последовательного использования для всех трех этапов строительства башни;
- проведение предварительной сборки, наладки и испытания монтажного оборудования в возможно близких к реальным условиям его работы при монтаже башни.

В то же время при проектировании оборудования большое внимание было уделено упрощению его конструктивных решений и технологичности изготовления, чтобы его реализация была экономически оправдана.

Новизна и технические особенности сооружаемой башни и принятого способа не давали возможности использовать известные технические решения за исключением отдельных элементов и гидрооборудования. Поэтому еще на стадии проектирования башни изучались и анализировались имеющиеся технические решения для осуществления аналогичных или подобных задач с целью определения возможности хотя бы их

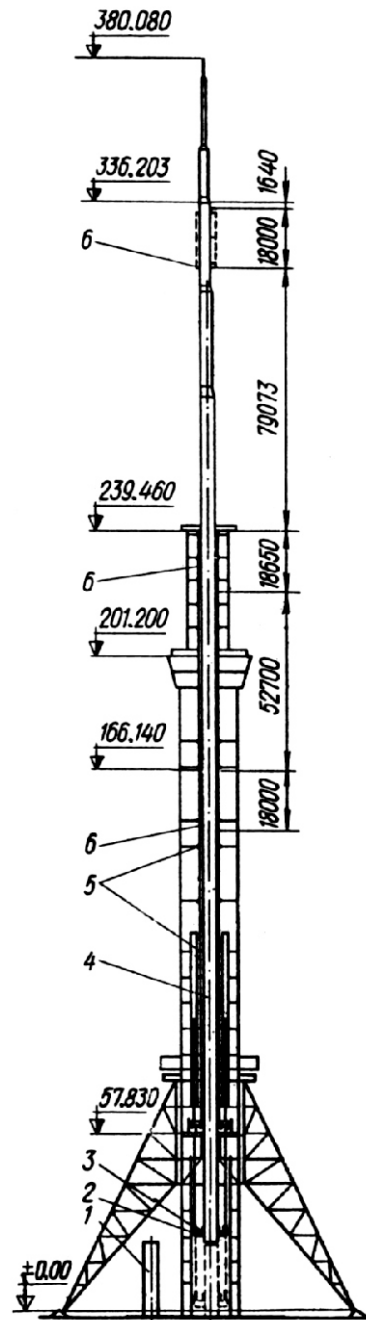


Рис. 6. Схема выдвигания последнего блока антенны и шахты лифтов Б13 (13-я монтажная стадия подъема): 1 – подача блока шахты лифтов ШВ в зону монтажа; 2 – шаговый подъемный агрегат АПШ-3; 3 – строповочный упор; 4 – выдвигаемый блок Б13; 5 – монтажные упоры диафрагм ствола; 6 – направляющие.

частичного использования в дальнейших разработках. Поиски велись как по принципиальным решениям, определяющим общую компоновку и конструкцию агрегата или устройства в целом, так и по отдельным его узлам и механизмам. Особенно важно было найти наиболее надежный и безопасный механизм для подъема башни и выбрать его тип.

В процессе изучения и анализа условий монтажа башни на каждом этапе в соответствии с принципиальными схемами принятого метода было найдено комплексное решение этой проблемы путем создания для этапов возведения базы «зонтиком» и выдвигания ствола специального подъемно-сборочного агрегата АПС-8\*\*.

Кроме того, для обеспечения устойчивости башни на этапе возведения базы «зонтиком» было предложено использовать опоры-ноги базы в качестве подвижных подпорок ствола, для чего было разработано специальное синхронизирующе-натяжное устройство СНУ-4.

Для обеспечения работы системы подъема на этапе выдвигания ствола, кроме агрегата АПС-8, были разработаны верхние рычажные направляющие устройства, устанавливаемые на отметке 72 м. На этапе выдвигания антенны и шахты лифтов для обеспечения работы системы подъема создан шаговый подъемный агрегат АПШ-3. Помимо этого, для придания направления и обеспечения устойчивости выдвигаемого блока на нем были устроены направляющие, а на диафрагмах основного ствола башни и ствола антенны «Алтай» – направляющие опоры.

\*\* А.с. № 417587. Бюллетень «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1974, № 8.

В процессе разработки способа монтажа и монтажного оборудования, учитывая их новизну и уникальность сооружения, появлялись дополнительные требования, направленные на повышение надежности и безопасности монтажа, которые учитывались на последующих стадиях проектирования оборудования или же вносились изменения в проект.

**Подъемно-сборочный агрегат АПС-8** – это комплекс многоцелевого назначения с различными механизмами и устройствами (рис. 7), при проектировании которого конструкторам необходимо было учесть следующие факторы:

- удобство монтажа, высокую точность сборки и геометрию подращиваемых ярусов ствола башни при непосредственном примыкании трубчатых элементов друг к другу;
- возможность подъема выдвигаемого блока на высоту яруса – 8 м;
- синхронную работу домкратных установок, предусмотрев при этом возможность работы каждой в отдельности;
- восприятие горизонтальных нагрузок, возникающих в процессе возведения базы «зонтиком» и выдвижения ствола при рабочем ветре и при закреплении конструкций на случай ураганного ветра (нерабочее состояние);
- одновременное равномерное восприятие горизонтальных нагрузок всеми толкателями при их заземлении;

- недеформируемость контура поперечного сечения подращиваемого яруса в уровне опирания его на толкатели в периоды подъема при рабочем ветре и в нерабочем состоянии;
- направленное выдвижение базы и ствола при их подъеме;
- надежность домкратной установки, предусмотрев полуавтоматическое предохранительное устройство, препятствующее самопроизвольному опусканию домкратов и фиксирующее башню в любом промежуточном положении;
- восприятие возможного появления крутящего момента от башни на агрегат.

Подъемно-сборочный агрегат АПС-8 включает несущую опору-кондуктор, устанавливаемую на центральном фундаменте внутри подращиваемого ствола башни; восемь гидродомкратных установок, расположенных под каждым поясом башни по их осям и жестко связанных с опорой-кондуктором; восемь шаговых толкателей, шарнирно связанных с гидродомкратными установками; монтажную диафрагму, жестко соединяющую между собой все толкатели в местах опирания на них поясов ствола; восемь нижних рычажных направляющих устройств, закрепленных на опоре-кондукторе; гидронасосной станции с пультом управления и системы маслопроводов с гидрооборудованием (рис. 8).

Агрегат обеспечивает возможность возведения многостоечной трубчатой башни большой высоты методом подращивания с выполнением всех сборочно-сварочных работ внизу на постоянных рабочих местах в полuceховых условиях, образуя вертикальную поточную линию производства работ по принципу конвейера.

В нем совокупно выполнены и использованы в неразрывной связи между собой сборочное приспособление с рабочими площадками для поэлементной сборки с обеспечением допусков требуемой геометрии подращиваемых ярусов, гидродомкратное устройство для подъе-

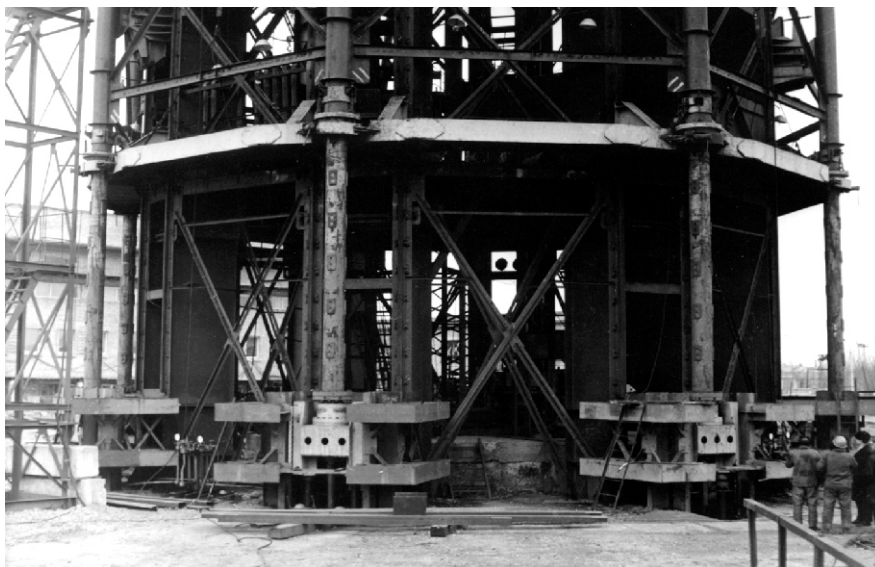


Рис. 7. Общий вид подъемно-сборочного агрегата АПС-8

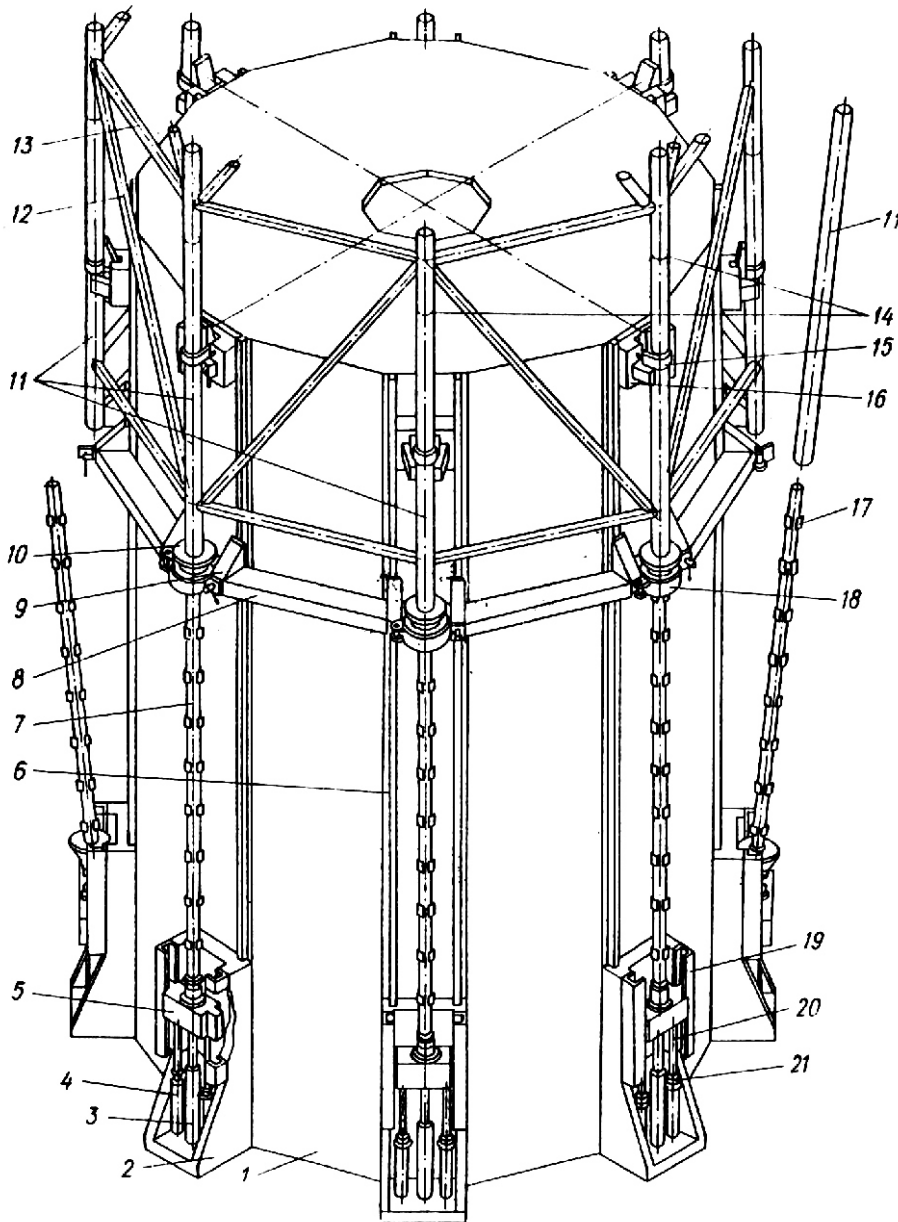


Рис. 9. Принципиальная схема подъемно-сборочного агрегата АПС-8:

- 1 – опора-кондуктор;
- 2 – гидродомкратная установка;
- 3 – гидродомкрат ГД-170/1120;
- 4 – трубчатая стойка;
- 5 – наддомкратная балка;
- 6 – направляющие рельсы;
- 7 – шаговый толкатель;
- 8 – монтажная диафрагма;
- 9 – башмак диафрагмы;
- 10 – втулка-матрица толкателя;
- 11 – трубы поясов ствола;
- 12 – раскос ствола;
- 13 – распорка ствола;
- 14 – кольцевые сварные швы поясов ствола;
- 15 – хомут нижнего направляющего устройства;
- 16 – нижнее рычажное направляющее устройство;
- 17 – верхний боковой упор толкателя;
- 18 – хомут с фаркопами;
- 19 – П-образная направляющая;
- 20 – предохранительный винт;
- 21 – гайка

ма, направляющее устройство для подрачиваемых конструкций при их подъеме и несущая опорная конструкция для восприятия горизонтальных нагрузок при монтаже.

Его максимальная грузоподъемность – 1470 тс при давлении в гидросистеме 330 кгс/см<sup>2</sup>, номинальная грузоподъемность – 1340 тс при давлении в гидросистеме 300 кгс/см<sup>2</sup>.

Подъемно-сборочный агрегат АПС-8 был изготовлен по рабочим чертежам и техническим условиям, разработанным институтом «Укрмонтажоргстрой».

После изготовления узлов агрегата с целью подтверждения их работоспособности и эксплуатационной надежности наиболее ответственные из них были подвергнуты испытаниям в соответствии с разработанными программой и методикой, предусматривающими проведение испытаний в возможно близких к реальным условиям работы узлов агрегата при монтаже башни.

Надійшла 10.07.2013 р.

УДК 539.3:624.074.04

## СТАТИКА ГНУЧКИХ НИТОК ЗА МЕЖЕЮ ПРУЖНОСТІ. ПОВІДОМЛЕННЯ 3. ОЦІНКА ВПЛИВУ ПЛАСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОБОТИ МАТЕРІАЛУ НА ПОВЕДІНКУ ГНУЧКИХ НИТОК

Виконана оцінка впливу ідеальних пружно- і жорстко-пластичної моделей роботи матеріалу на поведінку гнучких ниток. Наведені результати дослідження якості, збіжності й близькості чисельних рішень. Показана область допустимих значень й границі застосування розв'язних співвідношень.

Executed estimation of influence of ideal elastic- and rigid-plastic models of work of material on behavior of flexible threads. The results of research of quality are presented, convergence and closeness of numeral decisions. The region of acceptability and limits of applicability of resolvent correlations are presented.

**Ключові слова:** гнучка нитка, ідеальний пружно- і жорстко-пластичний матеріал, якість, збіжність й близькість числових розв'язків, область допустимих значень й границі застосування розв'язних співвідношень

Як це добре відомо, моделі ідеального пружно-пластичного матеріалу без урахування та з урахуванням його зміцнення широко застосовуються при побудові різних теорій розрахунку балок, стрижнів і ниток. Природно, що такі апроксимації у цілому цілком задовільно відображають роботу багатьох реальних матеріалів [1–6]. Крім того, ці апроксимації дозволяють більш повно порівняно з пружною стадією деформування (особливо при застосуванні моделі пружно-пластичного матеріалу, що зміцнюється) проаналізувати поведінку і визначити додаткові резерви міцності конструкції.

Зауважимо, що у згаданих публікаціях представлені досить докладні результати експериментальних і теоретичних досліджень стосовно області застосування зазначених моделей роботи матеріалу і величини похибки, що вноситься в результати розрахунків. Одночасно відзначено й той факт, що використання цих моделей забезпечує для параметрів напружено-деформованого стану конструкцій, які розраховуються, досить точні результати. Тому в даній роботі оцінка впливу моделей ідеального пружно-пластичного матеріалу на роботу гнучких ниток не виконувалась.

Застосування ж діаграм жорстко-пластичного матеріалу без урахування й з урахуванням його зміцнення пов'язано з низкою складнощів. По-перше, дана схематизація діаграм наближено відображає властивості реальних матеріалів. Саме тому розв'язки, побудовані за цими діаграмами, спрямовані на визначення граничних станів конструкції та отримання граничних величин діючих навантажень і, як правило, не збігаються з розв'язками таких же пружно-пластичних задач при  $E$ , позаяк призводять до верхньої оцінки величини граничного наванта-



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

ження, а розв'язки пружно-пластичних задач – до її нижньої оцінки. По-друге, відсутні теореми, які дозволили б оцінити близькість розв'язків пружно-пластичних і жорстко-пластичних задач. По-третє, напруження в недеформованих частинах конструкції повинні мати прийнятний характер при продовженні їх із пластичної зони й не досягати границі текучості. Однак цю умову важко перевірити, оскільки в недеформованих частинах конструкції розподіл напружень згідно з прийнятими діаграмами роботи матеріалу є невизначеним. І, нарешті, четверте, найголовніше – результати, отримані з використанням діаграм жорстко-пластичного матеріалу, є надійними лише в області великих пластичних деформацій, коли їх пружною складовою у порівнянні з пластичною можна знехтувати.

Підсумовуючи викладене зазначимо, що всі перераховані складності використання діаграм жорстко-пластичного матеріалу пояснюють на перший погляд такий неочікуваний факт, як практично повна відсутність не тільки кількісних, а й навіть якісних досліджень збіжності розв'язків розглянутих задач. Між тим питання стосовно жорстко-пластичної гнучкої нитки має не тільки практичний, а й теоретичний інтерес. При цьому необхідно мати на увазі, що на відміну від випадку жорстко-пластичної гнучкої нитки без урахування зміцнення матеріалу, в якому встановлюється тільки величина гранич-

ного навантаження, підвищений інтерес викликає дослідження збіжності розв'язку задачі для жорстко-пластичної гнучкої нитки, що зміцнюється, оскільки саме в цьому випадку можна не тільки додатково відстежити поведінку нитки на всьому діапазоні зміни навантаження, а й виконати зіставлення з розв'язком аналогічної задачі для пружно-пластичної гнучкої нитки, що зміцнюється.

Ця робота продовжує викладення результатів, отриманих при проведенні циклу досліджень статички гнучких ниток за межею пружності, які були наведені раніше у [7, 8].

**Постановка задачі.** Оцінка збіжності розв'язних співвідношень і близькості отриманих числових розв'язків у наведених роботах виконана шляхом зіставлення результатів розв'язання задачі для пружно- і жорстко-пластичної гнучкої нитки, що зміцнюється. З цією метою досліджено напружено-деформований стан гнучкої нитки прогоном  $l = 60$  м із початковою стрілою провисання  $f_0 = 4$  м, що відповідає 1/15 прогону, завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням на всьому прогоні  $q$ . Крім того, нитка прийнята круглого поперечного перерізу, площа якого становить  $F = 1,2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>. Розглядалась робота гнучких ниток із ідеального пружно- і жорстко-пластичного матеріалу зі зміцненням. Модуль пружності при роботі матеріалу в пружній стадії дорівнює  $E = 1,67 \cdot 10^5$  МПа, а величина модуля лінійного зміцнення  $E_0$  при роботі матеріалу за межею пружності варіювалась у межах 1/10–1/40 модуля пружності. В свою чергу, межа текучості матеріалу прийнята такою, що дорівнює  $\tau = 335$  МПа.

**Результати числових розв'язків.** Перш ніж безпосередньо розпочати дослідження збіжності та близькості отриманих числових розв'язків, розглянемо їх з метою виявлення та уточнення особливостей поведінки жорстко-пластичної гнучкої нитки, що зміцнюється, під навантаженням. Для цього за допомогою наведених у роботах [7, 8] визначальних виразів і розрахункових залежностей обчислені значення переміщень у середині прогону нитки й розпору в ній при різних відношеннях модулів зміцнення і пружності  $E_0/E$  для низки значень безрозмірного параметра інтенсивності рівномірно розподіленого навантаження  $ql^2/M_{гр}$  ( $M_{гр} = \tau Fd/2$ , де  $d$  – діаметр поперечного перерізу нитки), графіки яких відображені на рис. 1, 2. У свою

чергу, відносно розходження значень параметрів напружено-деформованого стану нитки, а саме: переміщень  $v$  і розпору  $H$ , характеризує близькість отриманих розв'язків між результатами для пружно- і жорстко-пластичної гнучкої нитки, що зміцнюється. На рис. 3 і 4 представлені залежності між параметром близькості розв'язків і величиною навантаження.

Із наведених на рис. 1 кривих вбачається, що модель роботи матеріалу помітно впливає на поведінку нитки під навантаженням. Так, за інших рівних умов, гнучка нитка з жорстко-пластичного матеріалу, що зміцнюється, менш деформативна ніж із пружно-пластичного з лінійним зміцненням. При цьому до появи пластичних деформацій у повній відповідності з прийнятою діаграмою роботи матеріалу жорстко-пластична нитка залишається недеформованою на відміну від пружно-пластичної, переміщення якої із збільшенням навантаження поступово наростають.

Як впливає з аналізу отриманих результатів і зіставлення кривих на рис. 1, після переходу нитки в пластичну зі зміцненням фазу роботи, її переміщення незалежно від моделі роботи матеріалу починають різко зростати по кривій, обрис якої близький до гіперболічного виду. При цьому чим менше модуль лінійного зміцнення матеріалу  $E_0$ , тим швидше збільшуються переміщення. Необхідно також зазначити, що на всьому діапазоні зміни навантаження переміщення завжди більше у пружно-пластичної нитки зі зміцненням порівняно з жорстко-пластичною, однак зі збільшенням величини навантаження криві переміщень, які відповідають пластичній зі зміцненням фазі роботи нитки, все більше зближуються. Причому при подальшому збільшенні навантаження прирощення переміщень зменшується.

Із рис. 2 випливає, що до появи пластичних деформацій у гнучкій нитці незалежно від діаграми роботи матеріалу залежність розпору від інтенсивності діючого навантаження близька до лінійної. Коли ж розпір  $H$  досягає свого граничного значення  $H_{гр}$  й нитка стає повністю пластичною, відбувається злам кривих, і розпір у нитці зі збільшенням величини навантаження починає зростати за параболічною залежністю для обох розглянутих видів матеріалів. При цьому, чим менше значення модуля зміцнення матеріалу  $E_0$ , тим повільніше збільшується розпір

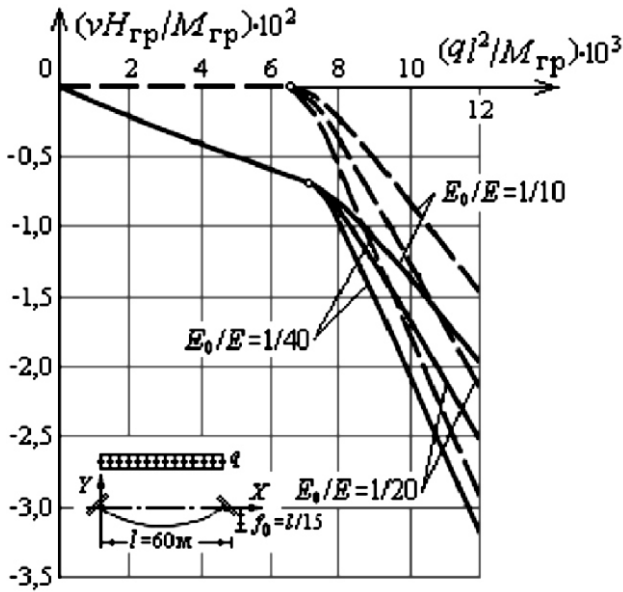


Рис. 1. Залежність між переміщеннями гнучкої нитки в середині прогону від інтенсивності рівномірно розподіленого навантаження при різних моделях роботи матеріалу з лінійним зміцненням:

- пружно-пластична модель;
- - - жорстко-пластична модель;
- - зміна фаз роботи нитки

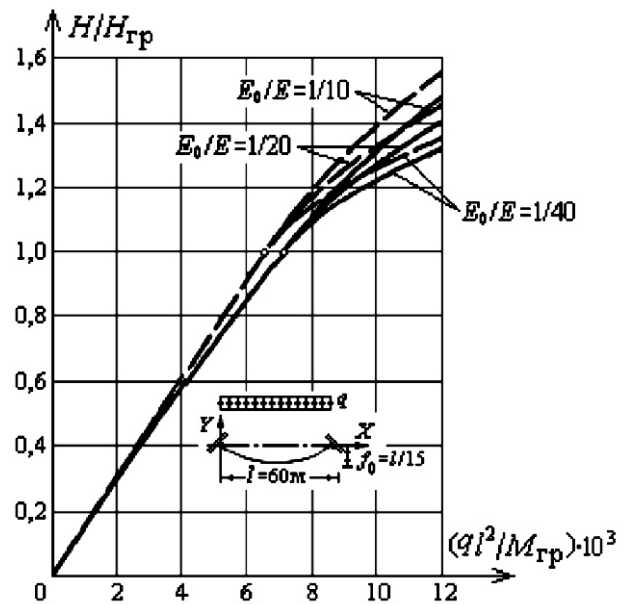


Рис. 2. Залежність між розпором у гнучкій нитці від інтенсивності рівномірно розподіленого навантаження при різних моделях роботи матеріалу з лінійним зміцненням:

- пружно-пластична модель;
- - - жорстко-пластична модель;
- - зміна фаз роботи нитки

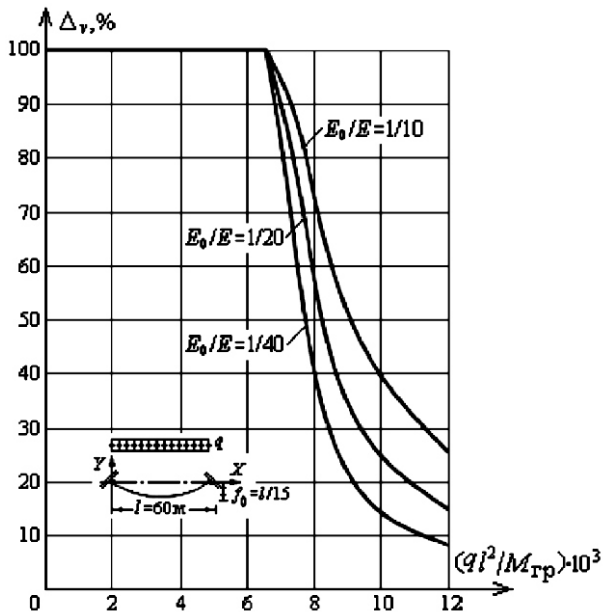


Рис. 3. Залежність між параметром близькості розв'язків при визначенні переміщень у пружно- і жорстко-пластичній гнучкій нитці зі зміцненням від інтенсивності рівномірно розподіленого навантаження при різних  $E_0 / E$

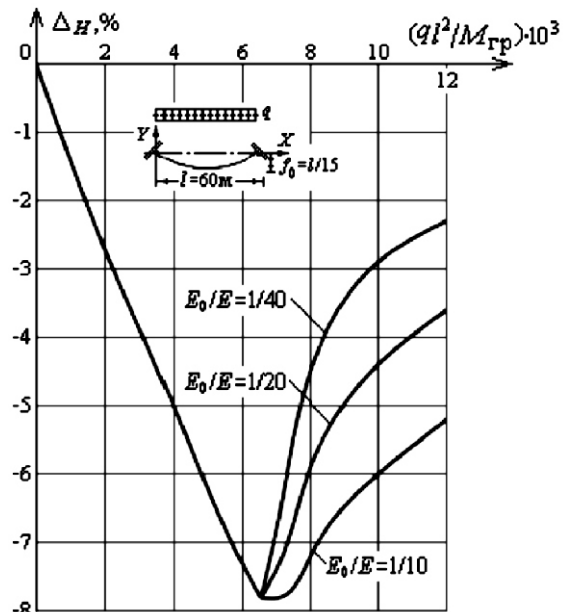


Рис. 4. Залежність між параметром близькості розв'язків при визначенні розпору у пружно- і жорстко-пластичній гнучкій нитці, що зміцнюється, від інтенсивності рівномірно розподіленого навантаження при різних  $E_0 / E$

у нитці й тим більш пологою є відповідна крива. Тут також варто підкреслити, що при однаковій величині навантаження розпір у жорстко-пластичній гнучкій нитці, що зміцнюється, має більше значення, ніж у пружно-пластичній з лінійним зміцненням. Даний висновок добре

узгоджується із зазначеним раніше фактом, згідно з яким використання у розрахунку діаграм жорстко-пластичного матеріалу призводить до верхньої оцінки не тільки граничних величин діючих навантажень, але й значень внутрішніх зусиль.

### Близькість і збіжність числових розв'язків.

Щодо близькості отриманих числових розв'язків при визначенні переміщень і розпору в пружно- і жорстко-пластичній гнучкій нитці, що зміцнюється (величина якої відображена у вигляді кривої «параметр близькості – навантаження» на рис. 3 і 4) при різних відносинах модулів зміцнення і пружності  $E_0/E$ , то можна відзначити наступне.

Показово, що величина параметра близькості розв'язків при визначенні переміщень  $v$  для перших фаз роботи пружно- і жорстко-пластичної гнучкої нитки має на перший погляд парадоксально велику розбіжність у 100 %. А тому відразу виникає питання: у чому ж причина такої розбіжності? Втім, відповідь на це питання є абсолютно очікуваною, оскільки впливає з особливостей використаних у цих випадках діаграм роботи матеріалу нитки, початкові ділянки яких мають протилежний з фізичної точки зору зміст. Адже якщо пригадати вигляд цих діаграм, то можна констатувати, що перша ділянка діаграми пружно-пластичного матеріалу є пружною, що призводить до переміщень нитки під навантаженням, а в діаграмі жорстко-пластичного матеріалу – жорсткою, що забезпечує недеформованість нитки.

Як вбачається з представлених на рис. 3 графіків, криві  $v$ , після досягнення навантаженням своєї граничної величини й переходу нитки в пластичну зі зміцненням фазу роботи, при подальшому збільшенні навантаження асимптотично прямують до нуля незалежно від відношення модулів зміцнення та пружності  $E_0/E$ . Причому кожна з цих кривих на досить вузькому проміжку  $6,55 \cdot 10^3 \leq ql^2/M_{гр} \leq 10,0 \cdot 10^3$  має круто падаючу ділянку (в межах якої розв'язки зближуються від 100 % до 14,3–39,6 % залежно від величини відношення  $E_0/E$ ), що переходить потім у пологу нескінченну гілку з асимптотою  $v = 0$ .

Тут необхідно звернути увагу також на такий цікавий факт, що залежність  $E_0/E = f(v)$  має майже лінійний характер. Підтвердженням цьому є те, що, наприклад, при значенні безрозмірного параметра навантаження  $ql^2/M_{гр} = 12 \cdot 10^3$  зменшення відношення  $E_0/E$  у два рази, з 1/10 до 1/20, призводить до зближення розв'язків у 1,71 раза. Подальше ж зменшення відношення  $E_0/E$  у два рази, з 1/20 до 1/40, призводить до їх зближення у 1,79 раза. Таким чи-

ном, відзначена закономірність підтверджує той незаперечний факт, що при великих величинах навантаження, що перевищують його граничне значення у десять і більше разів, використання як пружно-, так і жорстко-пластичної моделі роботи матеріалу нитки зі зміцненням дозволяє отримувати практично однакові значення переміщень.

Щодо величини параметра близькості розв'язків при визначенні розпору  $H$ , то тут спостерігається багато в чому відмінна від розглянутого раніше випадку закономірність (рис. 4).

Ця відмінність може бути пояснена тим, що жорстко-пластична гнучка нитка в межах початкової ділянки діаграми роботи матеріалу є недеформованою (відсутні переміщення), але напруженою, тобто такою, що сприймає розпір, який виникає одночасно з прикладенням до нитки навантаження. При цьому значення розпору визначається з виразів, отриманих для нерозтяжної нитки з використанням умов рівноваги [7, 8]. І саме тому навіть для перших фаз роботи пружно- і жорстко-пластичної гнучкої нитки розбіжність розв'язків є величиною досить малою: навіть її максимальне значення досягає всього 7,8 % при дії на нитку граничного навантаження.

Надалі, також як і у розглянутому раніше випадку для  $v$ , зі збільшенням навантаження криві  $H$  асимптотично прямують до нуля незалежно від відношення модулів зміцнення і пружності  $E_0/E$ . Причому кожна з цих кривих на вже згадуваному раніше досить вузькому проміжку  $6,55 \cdot 10^3 \leq ql^2/M_{гр} \leq 10,0 \cdot 10^3$  має круто падаючу ділянку (в межах якої розв'язки зближуються від 7,8 % до 2,9–6,0 % залежно від величини відношення  $E_0/E$ ), яка потім переходить у пологу нескінченну гілку з асимптотою  $H = 0$ .

Слід зауважити, що залежність  $E_0/E = f(H)$  має майже лінійний характер. Так, наприклад, при значенні безрозмірного параметра навантаження  $ql^2/M_{гр} = 12 \cdot 10^3$  зменшення відношення  $E_0/E$  у два рази, з 1/10 до 1/20, призводить до зближення розв'язків у 1,44 раза. Подальше ж зменшення відношення  $E_0/E$  у два рази, з 1/20 до 1/40, призводить до зближення розв'язків у 1,56 раза.

**Границі застосування.** Підсумовуючи викладене стосовно границь застосування розв'язних співвідношень для пружно- і жорстко-пластичних гнучких ниток, що зміцнюються,

можна дійти наступних висновків. Якщо величина діючого навантаження лежить у межах  $1 < q/q_{гр} < 10$ , то для отримання прийнятних за точністю розв'язків для обох типів ниток необхідно використовувати різні діаграми роботи матеріалу. У разі ж перевищення діючим навантаженням десятикратного значення граничного навантаження нитки, тобто якщо  $q/q_{гр} > 10$ ,

шукана точність розв'язку може бути досягнута шляхом застосування будь-якої моделі роботи матеріалу, що зміцнюється (як пружно-пластичного, так і жорстко-пластичного) у зв'язку з незначною відмінністю значень параметрів (або, іншими словами, близькістю результатів) напружено-деформованого стану гнучкої нитки.

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>[1] Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высш. шк., 1968. – 512 с.</p> <p>[2] Качанов Л.М. Основы теории пластичности. – М.: Гостехиздат, 1956. – 324 с.</p> <p>[3] Нил Б.Г. Расчет конструкций с учетом пластических свойств материала. – М.: Госстройиздат, 1961. – 315 с.</p> <p>[4] Постнов В.А. Теория пластичности и ползучести. – Л.: ЛПИ, 1975. – 266 с.</p> <p>[5] Ржаницын А.Р. Расчет сооружений с учетом пластических свойств материала. – М.: Госстройиздат, 1954. – 287 с.</p> | <p>[6] Ходж Ф.Г. Расчет конструкций с учетом пластических деформаций. – М.: Машгиз, 1963. – 380 с.</p> <p>[7] Шимановський О.В. Статика гнучких ниток за межею пружності. Повідомлення 1. Ідеальний пружно-пластичний матеріал//Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2013. – № 1. – С. 2–7.</p> <p>[8] Шимановський О.В. Статика гнучких ниток за межею пружності. Повідомлення 2. Ідеальний жорстко-пластичний матеріал//Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2013. – № 2. – С. 4–9.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Надійшла 15.07.2013 р.

#### ОФІЦІЙНА ІНФОРМАЦІЯ

### 16 липня 2013 р. у м. Києві відбулось перше засідання членів Асоціації «УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР СТАЛЕВОГО БУДІВНИЦТВА» (УЦСБ)

На засіданні були розглянуті наступні питання:

1. Щодо завершення реєстрування УЦСБ.
2. Щодо вступу нових членів до Асоціації.
3. Про призначення Ради директорів та вибори голови Ради директорів.
4. При призначення виконавчого директора.
5. Про призначення керівників постійно діючих комітетів.
6. Щодо першочергових заходів УЦСБ у 2013 році.

Після всебічного обговорення питань були прийняті наступні рішення:

- ✓ до складу Асоціації прийнято компанію «Основа», м. Київ;
- ✓ у відповідності з положенням Статуту УЦСБ обрано членів Ради директорів у складі 8 осіб – представників ТОВ «Метінвест Холдинг», ТОВ «Метінвест-СМЦ», ПАТ «Укрстальконструкція», ТОВ «Основа», ТОВ «Будсистема», ТОВ «РУУККИ Україна», ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», ТОВ «ПЕМ Україна»;
- ✓ обрано голову Ради директорів – Носова В.В., генерального директора ПАТ «Укрстальконструкція»;
- ✓ на посаду Виконавчого директора Асоціації призначено Іващенко О.В.;
- ✓ призначено керівників п'яти новостворених комітетів: «Несучі конструкції», «Огороджувальні конструкції», «Легкі сталеві конструкції», «Вогнезахист», «Нормативно-технічний»;
- ✓ визначений перелік першочергових заходів практичної діяльності УЦСБ, у т.ч.: формування штату виконавчого органу Асоціації; розроблення (перегляд) ДБН, ДСТУ, а також гармонізація Європейських норм у галузі металобудівництва; підготовка публікації «Вогнезахист сталевих конструкцій. Методичні рекомендації»; підготовка та проведення науково-технічних семінарів; підготовка та проведення «II Національної конференції учасників ринку сталевих будівництва»; підготовка сайту та буклета Асоціації, а також реалізація низки заходів, пов'язаних із реалізацією маркетингових комунікацій у галузі сталевих будівництва.

**Додаткову інформацію щодо діяльності УЦСБ можна отримати за адресою: Курашев Роман Вікторович, начальник управління маркетингу та продуктової політики м. Донецьк, вул. Артема, 130, тел. +38(067)543-26-16; +38(062)388-17-89, roman.kurashev@metinvestholding.com**



## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОЖУХА ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ И ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЕМ ПРОЦЕССА РАЗОГРЕВА

**О**дной из главных характеристик надежности и промышленной безопасности сооружений доменного комплекса является прочность кожухов технологических агрегатов, в т.ч., воздухонагревателей. Именно на них в первую очередь сказываются изменения эксплуатационных параметров, нарушения технологических процессов, различного рода нештатные ситуации и пр.

Значительное количество простоев доменных печей происходит по причине именно их повреждений. Так, согласно [1] количество простоев, связанных с кожухами воздухонагревателей, составляет 8 % от общего числа простоев, а по данным [2] увеличение частоты простоев на 5 % снижает удельную производительность печи на 25–30 %.

Это делает проблему длительной прочности кожухов воздухонагревателей одной из приоритетных, требующей большого внимания к критериям, обеспечивающим их надежную работу, главные из которых следующие:

- качество стали кожуха;
- температура кожуха в период эксплуатации;
- уровень напряженно-деформированного состояния кожуха как в период разогрева, так и во время эксплуатации.

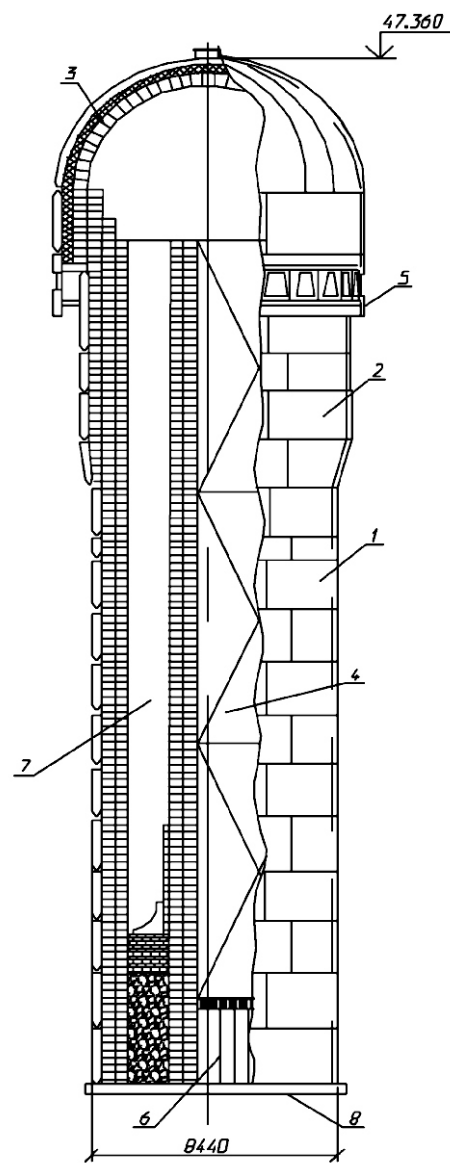
Соответствие этих критериев требованиям прочности и надежности дает возможность кожухам нести разнообразную нагрузку во все периоды работы, включая пусковые и пиковые ситуации при нарушении эксплуатационных режимов.

Воздухонагреватель представляет собой цилиндрический сосуд, по периферии которого располагается огнеупорная кладка, а внутреннее пространство заполняется т.н. насадкой, состоящей из пустотных огнеупорных блоков, через которые проходит холодный воздух. Горение газового топлива происходит в отдельной камере, расположенной несимметрично в боковой части внутреннего объема агрегата (рис. 1).

Эта схема воздухонагревателя является классической и со многими усовершенствованиями широко применяется в промышленности.



**А.Е. Любин**  
генеральный директор  
корпорации «Промстальконструкция»  
(г. Днепропетровск),  
к.т.н.



**Рис. 1. Высокотемпературный воздухонагреватель:**

1, 2 – кожух в низкотемпературной и высокотемпературной зонах соответственно; 3 – кладка купола; 4 – блоки насадки; 5 – кольцевая балка для опирания кладки купола; 6 – поднасадочное устройство для опирания блоков насадки; 7 – камера горения; 8 – днище

Воздухонагреватель решен в виде многослойной оболочки с неоднородными слоями – «кожух – компенсационный слой – футеровка», каждый из которых играет определенную роль:

- футеровка защищает кожух от воздействия высоких температур и, одновременно, создает одну из основных нагрузок на него, вызванную ее термическим расширением;
- компенсационный слой позволяет радиальное и вертикальное расширение футеровки, дает ей необходимую свободу, снижая тем самым ее механическое воздействие на кожух;
- кожух обеспечивает герметичность и воспринимает все виды нагрузок, основными из которых являются избыточное внутреннее давление и воздействие футеровки от ее термического расширения, а также создает в ней сжимающие усилия, необходимые для предотвращения ее преждевременного растрескивания.

Технологический процесс, происходящий в воздухонагревателе, создает весьма сложные специфические условия работы для кожуха и других элементов, входящих в состав этой многослойной конструкции.

Воздухонагреватель работает циклично. Цикл начинается с нагрева насадки горячими газами. Образующиеся нагретые продукты поднимаются вверх по камере горения, проходят подкупольное пространство и под действием тяги дымовой трубы устремляются вниз по каналам насадки, нагревая их. Охлажденные после прохода по каналам насадки продукты горения с максимальной температурой 400 °С выходят из воздухонагревателя через дымовые штуцера обычно в дымовой боров или в отдельный дымопровод, а затем через дымовую трубу выбрасываются в атмосферу.

После достижения куполом заданной температуры нагрев заканчивается и воздухонагреватель ставится на «дутье». Прекращается горение газа и в каналы нагретой насадки подается холодный воздух. Поднимаясь по ним вверх, он нагревается, проходит наиболее нагретую зону – подкупольное пространство, где изменяет направление движения, опускается по камере горения, выходит из нее и направляется в доменную печь.

Футеровка периферийных стен при нагревании не может свободно расширяться, пос-

кольку ее многослойная конструкция уложена вплотную к стальному кожуху. Так как кожух в большой степени защищен от нагревания теплоизоляционным материалом и частично огнеупорной кладкой, при повышении температуры внутри воздухонагревателя его диаметр за счет теплового расширения увеличивается незначительно. Огнеупорная кладка нагревается до высокой температуры, и хотя она обладает меньшим, по сравнению с кожухом, коэффициентом теплового расширения, ее размеры существенно увеличиваются. Этому увеличению размеров футеровки препятствует кожух, вызывая радиальное силовое взаимодействие между кожухом и футеровкой по поверхности контакта, в результате чего кожух оказывается растянут, а футеровка сжата.

Одновременно с температурным радиальным увеличением размеров происходит расширение и в меридиональном (вертикальном) направлении. При этом перемещения футеровки препятствуют силы трения, возникающие на поверхности контакта футеровки и кожуха, которые увеличиваются по мере увеличения радиальных сил. В результате действия сил трения кожух в меридиональном направлении также растянут, а основная часть футеровки также сжата.

Величина и распределение сил трения, а, следовательно, и вызванные ими меридиональные напряжения зависят от тех же параметров, что и кольцевые (радиальные) усилия, а также от сил трения между элементами конструкции.

На величину напряжений также влияют свойства материалов футеровки – величина модуля упругой пластичности, коэффициент линейного расширения, величина усадки и ползучести кладки в функции от температуры, давления и времени.

Относительно кожухов воздухонагревателей серьезной проблемой является их локальный перегрев и возникновение «горячего пятна», приводящих к появлению трещин в растянутой зоне футеровки, проникновению через них горячего воздуха и снижения характеристик сопротивления кожуха хрупкому трещинообразованию – развитию в металле при температурах 300...500 °С тепловой хрупкости в процессе эксплуатации [3].

По мере увеличения степени охрупчивания стали резко уменьшается критический размер

(глубина) трещины, вызывающей хрупкое разрушение листовой футерованной конструкции. Так, для кожуха воздухонагревателя, изготовленного из стали марки 09Г2С, критический размер трещины в стыковом сварном соединении толщиной 14 мм равный 32 мм снижается до 2 мм после охрупчивания на 62 °С [4, 5, 6].

Если в применяемых конструкциях футеровки не обеспечивается обжатие всех ее окатов, то окаты, которые расположены ближе к кожуху, зачастую оказываются растянутыми, и в кладке, плохо воспринимающей растяжение, появляются неплотные швы, нарушающие ее целостность.

В период нормальной эксплуатации при циклической работе воздухонагревателя в режимах «дутье – нагрев» возможно дальнейшее раскрытие щелей. Это связано с тем, что при постановке воздухонагревателя на дутье и переводе на постоянный эксплуатационный режим холодный воздух, подаваемый в поднасадочное устройство, проходя через насадку и камеру горения, нагревается до 1200–1400 °С. К концу периода дутья температура купола снижается на 100–150 °С.

Вследствие изменения температуры внутренних окатов футеровки (а, следовательно, изменения величины их термического расширения) происходят периодические взаимные смещения растянутых частей футеровки. При неудачном выборе материалов или неоптимальном конструировании пакета чередующихся слоев футеровки под влиянием циклических периодов нагрева и дутья происходит измельчение и деградация свойств деформативных материалов и, соответственно, раскрытие щелей. Через образовавшиеся в кладке и компенсационном слое пустоты горячие газы и воздух проникают к кожуху.

Это приводит к местному повышению температуры кожуха в период нагрева и его охлаждению во время дутья, что вызывает циклические изменения напряжений, приводящие к малоцикловой усталости и возможным последующим разрушениям.

Таким образом, прочность и долговечность кожуха воздухонагревателя определяются двумя факторами:

- напряженно-деформированным состоянием кожуха и футеровки как в первоначальный период разогрева, так и в процессе эксплуатации;

- надежностью защиты кожуха от проникновения горячих газов, предотвращающей циклические изменения температуры кожуха и его перегревы.

Экспериментальные исследования работы воздухонагревателей позволили выделить две стадии их напряженно-деформированного состояния – период разогрева при вводе в эксплуатацию и период нормальной эксплуатации.

На *первой стадии* при разогреве холодного аппарата до рабочей температуры происходит постепенный нагрев слоев футеровки стен, насадки и купола, сопровождающийся их термическим расширением и соответствующим ростом напряжений в кожухе. Силы взаимодействия, распределенные по поверхности контакта периферийной футеровки стен и кожуха, сжимают футеровку и растягивают кожух.

Величина сил взаимодействия и возникающих напряжений в кожухе и футеровке зависят от материалов, примененных для кладки стен, температуры нагрева, конструкции и размеров всех элементов, образующих кожух и футеровку.

Продолжительность этой стадии связана со временем стабилизации температуры по высоте и толщины футеровки периферийных стен.

*Вторая стадия* характерна снижением уровня напряжений по сравнению с уровнем, достигнутым к концу первой стадии в результате их релаксации, вызванной заполнением зазоров и связанной с этим свободой расширения футеровки, а также пластическими деформациями и ползучестью ее материалов.

Анализ технических решений и имеющиеся результаты экспериментальных исследований действующих воздухонагревателей показали, что преобладающее влияние на уровень напряженно-деформированного состояния оказывает термическое расширение футеровки. При недостаточной его компенсации возникают недопустимо высокие усилия, значительно снижающие долговечность кожуха и футеровки.

В футеровке высокотемпературных воздухонагревателей, где широко применяется высокоплотный малоразрыхляющийся динасовый кирпич, сжимающие напряжения при начальном разогреве достигают 7 МПа, что в ряде случаев приводит к его растрескиванию и повреждению. С другой стороны, свободное деформирование нагретого кирпича приводит к тому, что отдельные слои футеровки оказываются не

обжаты кожухом, что вызывает невоспринимаемые ею растягивающие усилия и, как следствие, появление трещин.

Это способствует проникновению горячего воздуха к кожуху, его локальным перегревам и возникновению на кожухе «горячего пятна». При таких воздействиях даже большая толщина кожуха не предохраняет кожух воздухонагревателя от разрушения.

В связи с этим, определяющую роль в обеспечении уравновешенной взаимосвязи между кожухом и футеровкой, исключения растянутых зон футеровки, уровня напряженного состояния в кожухе играют компенсационные зазоры – их величина и физико-механические свойства материалов их заполнения, компенсирующие основную часть термического расширения.

В современных воздухонагревателях устраиваются зазоры, заполняемые деформативными материалами или выгорающими материалами – картоном, опилками, деревом и кольцевые воздушные зазоры. Слишком большие или неправильно расположенные компенсационные зазоры приводят к недостаточному обжатию футеровки, образованию щелей и ее расстройству, являющемуся причиной циклических перегревов кожуха, а иногда и обрушения футеровки.

Аналитические проработки вопросов прочности конструкций воздухонагревателей показывают, что могут быть осуществлены конструктивные решения кожуха и футеровки с обжатием всех ее слоев, обеспечивающие ее плотность как во время разогрева, так и дутья. При этом благодаря правильному подбору компенсационных слоев на кожух и кладку могут передаваться сравнительно небольшие нагрузки.

Здесь необходимо иметь в виду, что даже большая толщина кожуха воздухонагревателя не предохраняет его от разрушения, если возможны циклические местные нагревы кожуха горячим воздухом, проникающим через кладку.

Большую роль в решении проблемы компенсации термического расширения футеровки и, тем самым, снижения нагрузки на кожух сыграло широкое применение для заполнения кольцевых зазоров матов на каолиновой основе для высокотемпературной зоны и на асбовермикулитовой – для низкотемпературной. По данным проведенных исследований [7], максимальные значения сжимаемости и коэффици-

енты возвратимости матов на каолиновой основе в виде термообработанных плит МКРП-340 равны соответственно 58 и 0,64 %. Это свидетельствует об удовлетворительных деформативных качествах плит, более эффективных по сравнению с материалами, ранее применявшимися для периферийной футеровки воздухонагревателей.

В воздухонагревателях с материалами низкой деформативности, заполняющими компенсационные зазоры, имела место и третья стадия, когда в каждом последующем межремонтном периоде наблюдалось новое повышение уровня напряженного состояния кожуха.

Объяснением этому могут быть свойства волокнистых материалов, заполняющих компенсационные зазоры до применения минеральных матов, осыпаться и уплотняться, снижая при этом собственную деформативность и, следовательно, способность компенсировать тепловое расширение огнеупорных окатов футеровки.

Кроме того уровень напряжений в кожухе зависит от его температуры как функции температуры наружного воздуха и от свойств компенсационного зазора. Так, известно, что в летнее время температурное давление кладки на кожух фактически отсутствовало и кожух работал только на давление дутья. С понижением температуры в зимнее время в кожухе возникали дополнительные напряжения, вызванные распором кладки, исчерпавшей, как и материал компенсационного зазора, свою деформативность.

В среднем, при понижении температуры кожуха на 15–20 °С кольцевые напряжения в нем увеличиваются на 25–35 МПа.

Одной из основных особенностей кожухов воздухонагревателей является зависимость их надежности и долговечности от условий ввода в эксплуатацию. Эта взаимосвязь просматривается как при пуске новых агрегатов, так и после их капитальных ремонтов.

Следует отметить также зависимость физико-механических свойств огнеупоров от остановок агрегатов с остыванием футеровки и последующими повторными разогревами, а также от режима разогрева. Эти процессы существенно изменяют свойства огнеупоров, особенно, динасовых, снижая деформационные возможности компенсационных зазоров и, зачастую, практически полностью исключая повторную работу зазоров с выгорающими прокладками.

Для таких воздухонагревателей, вводимых в эксплуатацию после остановки и остывания футеровки, выбор оптимального режима разогрева становится еще более важен.

При вводе в эксплуатацию воздухонагреватели с новой футеровкой первоначально подвергаются сушке, а затем разогреваются для перевода на постоянный эксплуатационный режим.

Разогрев воздухонагревателя, характеризующийся интенсивностью подъема температуры футеровки, составом носителей тепла и местом их ввода в воздухонагреватель, а также организацией отвода продуктов сушки, оказывает существенное влияние на возникновение начальных повреждений огнеупорных конструкций воздухонагревателя. В этот период происходит постепенный нагрев слоев футеровки стен, насадки и купола до высоких температур, сопровождающийся ее термическим расширением.

Для кожухов воздухонагревателей условия разогрева и ввода в эксплуатацию агрегатов во многом определяют их общую надежность и долговечность эксплуатации. Основным критерий оптимального ввода агрегата в эксплуатацию состоит в рациональном регулировании технологических параметров на этом этапе, с целью оптимизации нагрузок и воздействий на кожух от футеровки как главных составляющих в общем напряженном состоянии.

Поскольку снизить нагрузки на кожух от воздействия футеровки можно только путем обеспечения компенсации ее температурных деформаций, основная задача состоит в том, чтобы разогрев и повышение эксплуатационных параметров работы агрегата – температуры и внутреннего давления – происходили последовательно, после реализации этих температурных деформаций футеровкой за счет имеющихся зазоров. Несоблюдение этого положения может привести к появлению чрезмерных нагрузок на кожух агрегата, высокому уровню напряжения, трещинообразованию и ограничению в дальнейшем его технологических параметров.

Соответствующее ведение технологического процесса, применение управляющих мер, направленных на снижение технологических параметров, и, тем самым, на исключение воздействий «пиковых» нагрузок на кожух позволяют обеспечить его надежность и долговечность, в т.ч. и при длительной эксплуатации.

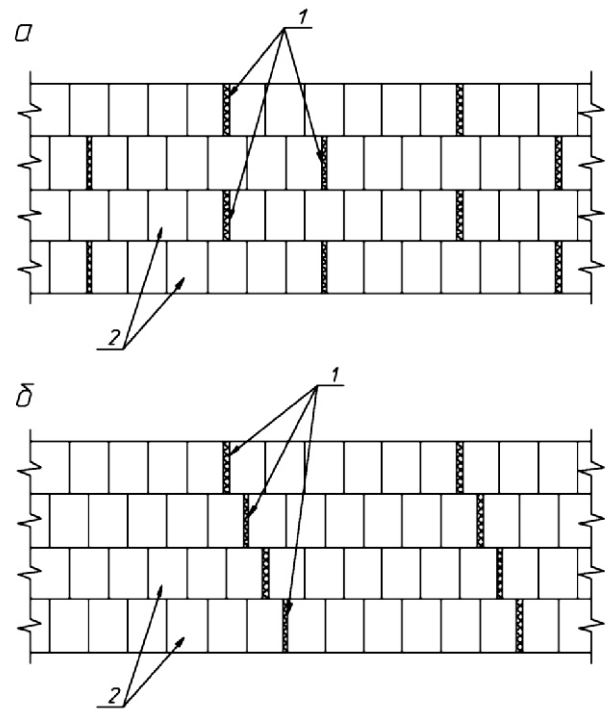


Рис. 2. Схема расположения выгорающих прокладок в зоне динасовых огнеупоров:  
а – вариант I; б – вариант II;  
1 – прокладки; 2 – огнеупорный кирпич

В частности, способ разогрева воздухонагревателя, характеризующийся интенсивностью подъема температуры футеровки, составом носителей тепла, местом ввода их в воздухонагреватель и организацией отвода продуктов сушки, оказывает существенное влияние на длительную прочность огнеупоров и возникновение начальных повреждений футеровки, которые при эксплуатации прогрессируют и приводят к сокращению сроков межремонтных периодов и снижению долговечности агрегата.

При термическом расширении футеровки в период разогрева, когда выгорающие материалы, заполняющие кольцевые зазоры, еще не выгорели и препятствуют этому расширению, появляются чрезмерные нагрузки на кожух и высокая степень сжатия кладки, что может привести к ее растрескиванию, последующему разрушению и, связанному с этим, проникновению горячего воздуха к кожуху.

С целью снижения нагрузок на кожух в период разогрева аппарата, в радиальные вертикальные швы кладки огнеупорной стены целесообразно устанавливать деревянные прокладки, которые в процессе разогрева выгорают, освобождая место для деформации кирпичей,

что позволяет снизить уровень напряжений в кладке. Так, при расчетных напряжениях, достигающих без установки прокладок 7 МПа, их применение позволяет снизить напряжения до 5 МПа (рис. 2), что в случае наблюдаемого нарастания напряжений в кожухе обеспечивает возможность температурного расширения кладки путем создания условий для ускоренного выгорания прокладок [8].

Для этого, при зафиксированном подъеме напряжений целесообразно прекратить дальнейший подъем температуры и поставить аппарат на «поддув». С этой целью при разогреве воздухонагревателя, футерованного в высокотемпературной зоне динасовыми огнеупорами, в графике разогрева, рассчитанном на 25 суток [9], после подъема температуры футеровки купола до 800 °С целесообразно предусмотреть выдержку не менее 48 часов с постановкой аппарата на «поддув».

Эти операции приводят к быстрому выгоранию прокладок и изменяют уровень напряженного состояния кожуха, существенно отличающегося от расчетного в меньшую сторону.

Остальная часть теплового расширения футеровки компенсируется деформацией кожуха и обжатием огнеупорных слоев футеровки.

Корректировка хода разогрева воздухонагревателя с целью снижения уровня первоначальных напряжений в кожухе и футеровке исключает начальные повреждения и позволяет обеспечить более высокую стойкость конструкций в процессе эксплуатации.

Аналогичная картина прослеживается и в поведении днища, уменьшение деформации которого позволяет повысить параметры дутьевого воздуха в процессе эксплуатации.

Приведенная взаимосвязь условий разогрева и ввода воздухонагревателей в эксплуатацию с их общей надежностью свидетельствует о целесообразности и возможности управления взаимодействием кладки и кожуха, что позволяет предотвратить разрушения футеровки и кожуха, увеличить рабочие параметры дутья, сократить время пуска агрегата и обеспечить его дальнейшую надежную эксплуатацию.

- 
- [1] *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г., Можаренко Н.М., Голубых Г.Н.* Проблемы промышленной безопасности при эксплуатации доменных печей. Материалы Научно-практической конференции в г. Днепропетровске. 14–16 мая 2008 г.
  - [2] *Н.М. Можаренко, Л.Г. Тубольцев, Г.Н. Голубых* Параметры промышленной безопасности работы доменных печей // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Вып. 16. – 2008. – С. 398–413.
  - [3] *Востров В.К.* Трещиностойкость и долговечность кожухов доменных печей и воздухонагревателей // *Пром. и гражд. стр-ство* – М.: Стройиздат. – 2007 – № 11.
  - [4] *Горицкий В.М., Шнейдеров Г.Р.* Особенности диагностирования технического состояния кожухов доменных печей и воздухонагревателей // *Пром. и гражд. стр-ство.* – М.: Стройиздат. – 1998. – № 5. – С. 11–13.
  - [5] *Грудев Т.Д., Востров В.К., Галыбин А.Н.* Трещинообразование в кожухах доменных печей и воздухонагревателей от локального нагрева // *Строительная механика и расчет сооружений.* – 1982. – № 1. – С. 21–22.
  - [6] *Любин А.Е., Иосилевич Е.С.* Современные тенденции развития конструктивных решений металлоконструкций доменной печи // *Тези доп. V міжнародна науково-технічна конференція «Будівельні металеві конструкції: сьогодення та перспективи розвитку»*, Киев, 19–22 вересня 2006 р. – 100 с.
  - [7] *Исследование свойств материалов. Разработка компоновочных решений и мероприятий по увеличению межремонтных периодов воздухонагревателей.* Отчет о НИР № 4940. Днепропетровск. ДнепроПСК. – 1990. – 173 с.
  - [8] *Любин А.Е., Шаломов Б.Я.* Работа воздухонагревателей в оптимизированном режиме. – М.: Сталь. Металлургия. – 1977. – № 1. – С. 25–27.
  - [9] *Инструкция по футеровке доменных печей и их вспомогательных устройств.* М.: «Металлургиздат», 1956. – 26 с.

Надійшла 10.07.2013 р.

## РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ НА ПОЗДОВЖНЬО-ПОПЕРЕЧНИЙ ЗГИН

**С**тиснуто-згинні і позацентрово-стиснуті елементи – це елементи, в яких виникає складний опір деревини (рис. 1). Чинні норми проектування містять єдиний метод розрахунку цих елементів, тоді як фізичні явища одночасного стиску і згину у них різні. Нормативний метод розрахунку є наближеним стосовно цих двох типів елементів. Збереження його в новому нормативному документі є кроком назад, враховуючи теоретичний рівень підготовки сучасних фахівців порівняно з далекими тридцятими роками минулого століття, коли цей метод вперше увійшов до норм проектування. Слід відмовитися від морально і науково застарілого методу розрахунку і розробити окремі норми для двох типів елементів.

**Фізична суть стиску зі згином.** Від поздовжнього зусилля стискання в елементі з’являються напруження стиску вздовж волокон  $\sigma_c$ , від поперечного – напруження згину  $\sigma_{zg}$  і відбувається деформування елемента з набуттям прогину  $f_q$ . При цьому утворюється ексцентриситет дії зусилля  $N$  і з’являється додатковий момент  $M_{дод} = Nf_q$ , від якого деформація елемента збільшується, що призводить до зростання  $M_{дод}$ . Оскільки згинальна жорсткість елемента не є нескінченною, зростання  $M_{дод}$  припиняється. Таким чином, утворюється деформований стан стиснуто-згинного елемента з прогином  $f_{д} = f_q + f_{дод}$  (рис. 2).

Відповідно до норм проектування розрахунковий згинальний момент від дії поперечних та поздовжніх навантажень визначається з розрахунку елемента в деформованому стані.



**В.З. Кліменко**  
професор кафедри металевих і дерев’яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури, к.т.н., професор

### Розрахунок стиснуто-згинних елементів.

Прогин  $f_{д}$  у нормативному методі знаходиться за формулою, яка дає наближений розв’язок,

$$f_{д} = \frac{f_q}{1 - \frac{N}{N_{кр}}} \quad (1)$$

Розрахунковий згинальний момент визначається за формулою

$$M_{розр} = M_q / \quad (2)$$

з коефіцієнтом

$$1 - \frac{N}{A_{бр}R_c} \quad 1 - \frac{N}{N_{кр}}, \quad (3)$$

де  $N$  – розрахункове зусилля в стиснуто-згинному елементі (наприклад, у верхньому поясі ферми), а  $N_{кр}$  – критична сила в Ейлеровому стрижні.

Формула (1) дає задовільні результати для елементів із шарнірним закріпленням на опорах і взагалі має фізичний сенс при  $N/N_{кр} > -1$ . Наближеність розрахунку полягає у припущенні, що додаткові прогини змінюються по довжині балки за законом синуса. Саме це прийнято в теорії крайових напружень проф. Заврієва К.С., на основі якої розроблено нормативний метод

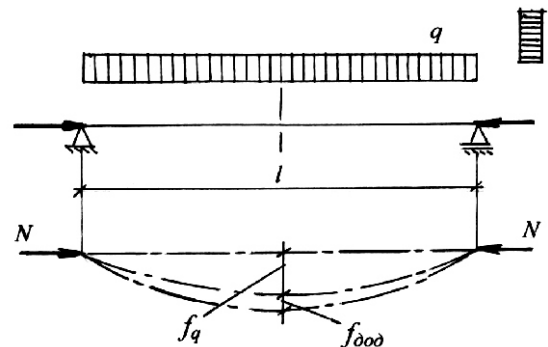
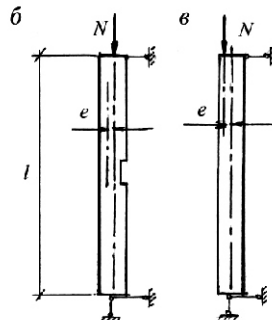
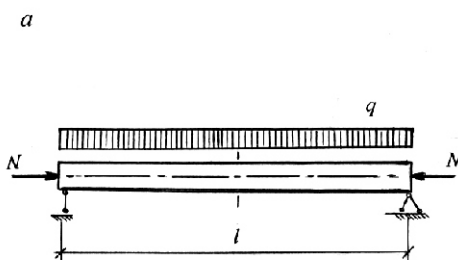


Рис. 1. Схеми елементів:

а – стиснуто-згинний; б, в – позацентрово-стиснуті

Рис. 2. Деформований стан стиснуто-згинного елемента

розрахунку. В нормативному методі одне фізичне явище – стійкість центрально-стиснутого елемента – накладається на зовсім інше фізичне явище – роботу елемента на стиск зі згином, де проблема стійкості інша. В теорії крайових напружень не врахований сумісний вплив зусиль  $N$  і  $M_{\text{дод}}$  на стійкість елемента в площині згину.

**Характеристика нормативного методу.** Нормативний метод не викликав зауважень довгі роки, коли розраховувалися стиснуто-згинні елементи з гнучкостями у площині згину  $>70$ : коефіцієнт у формулі (3) був менше одиниці. З появою елементів із гнучкістю у діапазоні  $20 < 55$  коефіцієнт поздовжнього згину за формулою  $= 3000/l^2$  стає більше одиниці [1]. Цей фізично неможливий факт повинен був, здається, привернути увагу фахівців, адже він перестав відповідати фізичній суті явища одночасного стиску і згину, а натомість протиприродне явище  $>1$  набуло ненаукового обґрунтування.

Згідно з [2, п.62] при використанні розрахункової формули

$$\frac{N}{F_{\text{HT}}} \frac{M_{\text{розр}}}{W_{\text{HT}}} [\sigma] \quad (4)$$

слід враховувати, що в стиснуто-згинному стрижні напруження збільшуються не пропорційно зусиллям ( $N$  і  $M$ ). Оскільки формула (4) побудована для випадку повного використання напруження  $[\sigma]$ , то може статися, що при значному перенапруженні при невеликих значеннях (великих гнучкостях) дійсний запас міцності стрижня зменшиться порівняно мало. Навпаки, значному недонапруженню за формулою (4) може відповідати відносно невелике підвищення запасу міцності.

Коментувати фізичний зміст цього важко.

Характеристика нормативного методу згідно з [3]: «У формулу  $1 - \frac{1}{[\sigma]}$  входить кое-

фіцієнт, який у розрахунках стиснуто-згинних елементів підраховується при будь-якій гнучкості за формулою  $= 3100/l^2$ , справедливою у дійсності лише при  $75$ . Так як при

$75$  значення коефіцієнта поздовжнього згину менше величини  $3100/l^2$ , то може статися, що стрижень, який за розрахунком на поздовжній згин витримує тільки зусилля  $N$ , при розрахунку за формулою стиснуто-згинного стрижня зможе сприйняти, окрім сили  $N$ , ще деякий згинальний момент».

Виходить, що формула, а не метод «керує» стиснуто-згинним стрижнем.

Обидві характеристики – це визнання неадекватності нормативного методу фізичному явищу в стиснуто-згинному елементі. Ця неадекватність забезпечує деякий запас міцності за нормативним методом і нею знехтували при виборі методу, що ввійшов до нормативного документа. При гнучкостях елементів  $55$  нормативний метод не викликав методологічної претензії, пов'язаної з коефіцієнтом поздовжнього згину. Ситуація змінилася при застосуванні нормативного методу для розрахунку елементів із гнучкістю  $< 55$ , коли коефіцієнт стає більше одиниці.

Згідно з [4]: «При розрахунку стиснуто-згинних дерев'яних стрижнів застосовують теорію крайових напружень. У відповідності з цією теорією несуча здатність стрижня вважається вичерпаною тоді, коли крайові напруження стискання дорівнюють розрахунковому опору.

Ця теорія менш точна, ніж теорія стійкості, проте вона дає більш просте рішення і тому прийнята у діючих нормах СНиП II-25-80».

Теорія крайових напружень прийнята не у СНиП II-25-80, а у нормативному документі ОСТ 90001-38. Для того часу її застосування можна зрозуміти.

У теперішній час розрахунок стиснуто-згинних елементів виконують за розрахунковими схемами при дії одночасно різних навантажень з використанням ПК. Рішення знаходяться прогини, кути поворотів перерізів, згинальні моменти, поперечні сили, використовуючи формули, які наведені у довідниках для проєктувальників. Рішення отримано інтегруванням диференціального рівняння пружної лінії стиснуто-згинального стрижня (рис. 2):

$$EJy^{11} = (M_q - Nf_d) \quad (5)$$

із застосуванням методу початкових параметрів.

Немає об'єктивного пояснення присутності у сучасному нормативному документі з проєктування дерев'яних конструкцій наближеного методу розрахунку стиснуто-згинних елементів, що заснований на теорії крайових напружень. Залишати цей метод у новому ДСТУ-Н [5] – це крок назад, а нормативний документ повинен еволюціонувати.



**Штучність нормативного методу розрахунку позацентрово-стиснутих елементів.** У згаданій Інструкції [2] визначення «позацентрово-стиснуті» елементи відсутнє. Елемент, який показано на рис. 1, б, віднесено до стиснуто-згинних. У НиТУ 122-55 і СНиП II-B.4-71, навпаки, мова йде про позацентрово-стиснуті елементи, які розраховуються за методом на основі теорії крайових напружень. У СНиП II-25-80 розглядаються позацентрово-стиснуті та стиснуто-згинні елементи.

Єдиний метод розрахунку двох типів елементів, що працюють на стиск зі згином, став настільки звичним, що навіть у нормах проектування і в навчальній літературі трапляється підміна понять: стиснуто-згинні і позацентрово-стиснуті елементи. Так у СНиП II-B.4-71 у відповідному розділі дається розрахунок позацентрово-стиснутих елементів, а в розділі проектування конструкцій, коли мова йде про ферми, верхні пояси класифікуються як стиснуто-згинні елементи.

**Фізична суть позацентрового стиску.** Процес формування деформованого стану при позацентровому стиску і при стиску і згині елемента відрізняється.

На позацентрово-стиснутий елемент діє тільки зовнішня стискальна сила  $N$  (рис. 3) і ексцентриситет у деформованому стані становить  $e+y$ , де  $y$  – прогин від моменту  $Ne$ . В деформованому стані позацентрово-стиснутого елемента неможливо відокремити додатковий момент, тому для методу його розрахунку за крайовими напруженнями параметр втрачає фізичний сенс. Чи мав на увазі автор теорії крайових напружень проф. Заврієв К.С. розповсюдження його на розрахунок позацентрово-стиснутих елементів не відомо, але відомо, що для розрахункової схеми на рис. 3 він записав диференціальне рівняння пружної лінії так:

$$EJy'' = -N(e+y), \quad (6)$$

яке відрізняється від формули (5) відсутністю згинального зовнішнього моменту  $M_q$ .

Фізичне явище стійкості в площині згину двох типів елементів, що працюють на стиск зі згином, різне. На рис. 4 наведені графіки коефіцієнтів стійкості: для стиснуто-згинних елементів – суцільні лінії і позацентрово-стиснутих – штрихові лінії.

Спостерігається співпадання коефіцієнтів стійкості для елементів із великою гнучкістю.

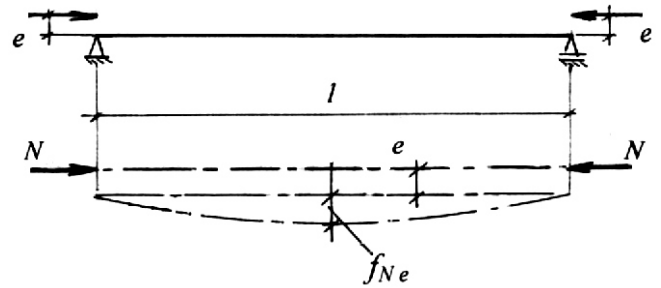


Рис. 3. Деформований стан позацентрово-стиснутого елемента

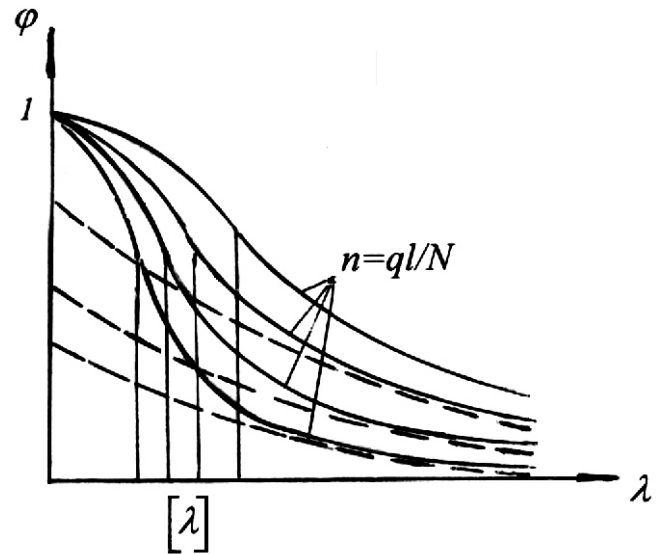


Рис. 4. Графіки коефіцієнтів стійкості:

- для стиснуто-згинних елементів;
- - - для позацентрово-стиснутих елементів

Відмінність графіків починається при середніх гнучкостях і стає дуже суттєвою при малих гнучкостях елементів.

**Розрахунок позацентрово-стиснутих елементів.** Нормативний метод розрахунку не можна розповсюджувати на цей тип елементів. З розв'язку рівняння (6) формула для прогину наступна:

$$y = e \frac{1}{\cos(u/2)} - 1. \quad (7)$$

Розрахунковий згинальний момент

$$M_{\text{розр}} = N(e+y). \quad (8)$$

Як і в точному розрахунку стиснуто-згинальних елементів, використовуючи формулу (5), в розв'язку за рівнянням (6) використовуються тригонометричні функції аргументу

$$u = \sqrt{\frac{N}{EJ}}, \quad (9)$$

який має назву параметра поздовжнього зусилля  $N$ . Наявність  $u$  принципово відрізняє розрахунки за теоріями стійкості та крайових напружень. Згідно з точним рішенням параметр  $u$  зв'язує зусилля  $N$  не з  $N_{кр}$ , як у формулі (3), а зі згинальною жорсткістю елемента  $EJ$ .

Нормативний метод задовольняв інженерну практику розрахунку подібних елементів завдяки математичній структурі формули (3) за відсутності в ній логічної семантики. Методологічні та феноменологічні претензії до нього з'явилися при розрахунках сучасних елементів із клеєної деревини [6, 7, 8].

**Експериментальне дослідження елементів на дію згину і стиску.** Автор використовує результати експериментальних досліджень [9] з позиції теми цієї статті. Випробовувалися елементи з гнучкостями  $\lambda = 55, 75, 120$  для визначення коефіцієнта  $\xi$ . Величини співставлялися при різних схемах навантаження за умови однакових відносних ексцентриситетів у стиснуто-згинних і позацентрово-стиснутих елементах (рис. 5).

Дослідження засвідчило, по-перше, що експериментальні значення відрізняються від теоретичних, визначених за формулою (3). Різниця в значеннях зростає зі зменшенням гнучкості елементів. Це свідчить про те, що нормативний метод стає все більш неадекватним фізичним явищем у стиснуто-згинних і особливо в поза-

центрово-стиснутих елементах. По-друге, експеримент підтвердив неприпустимість розповсюдження нормативного методу на розрахунок позацентрово-стиснутих елементів. Справа не в кількісній різниці величин коефіцієнта (зменшення підвищує надійність розрахунку елементів за міцністю), а в тому, що при гнучкостях елементів нормативний метод корегується введенням штучного модуля пружності деревини  $E^1$  і виправданням можливості появи коефіцієнта  $\gg 1$ , що є протиприродним і неприйнятним з методологічної та наукової позиції.

Таким чином, беручи до уваги, що у стиснуто-згинних і позацентрово-стиснутих елементах відбуваються різні фізичні явища в деформованих станах, пропонується замість загального для них наближеного методу розрахунку на основі теорії крайових напружень застосовувати в ДСТУ-Н [5] з проектування дерев'яних конструкцій окремі точні методи розрахунку, отримані інтегруванням відповідних для цих елементів диференціальних рівнянь пружної осі.

**Позацентрово-стиснуто-згинні елементи.** Визначення елементів, про які йдеться у статті, не зустрічається ні у нормативних документах, ні у наукових і навчальних виданнях. Це визначення введено автором у статті [10]. Позацентрово-стиснуто-згинні елементи з'явилися у відповідності з рекомендацією нормативних доку-

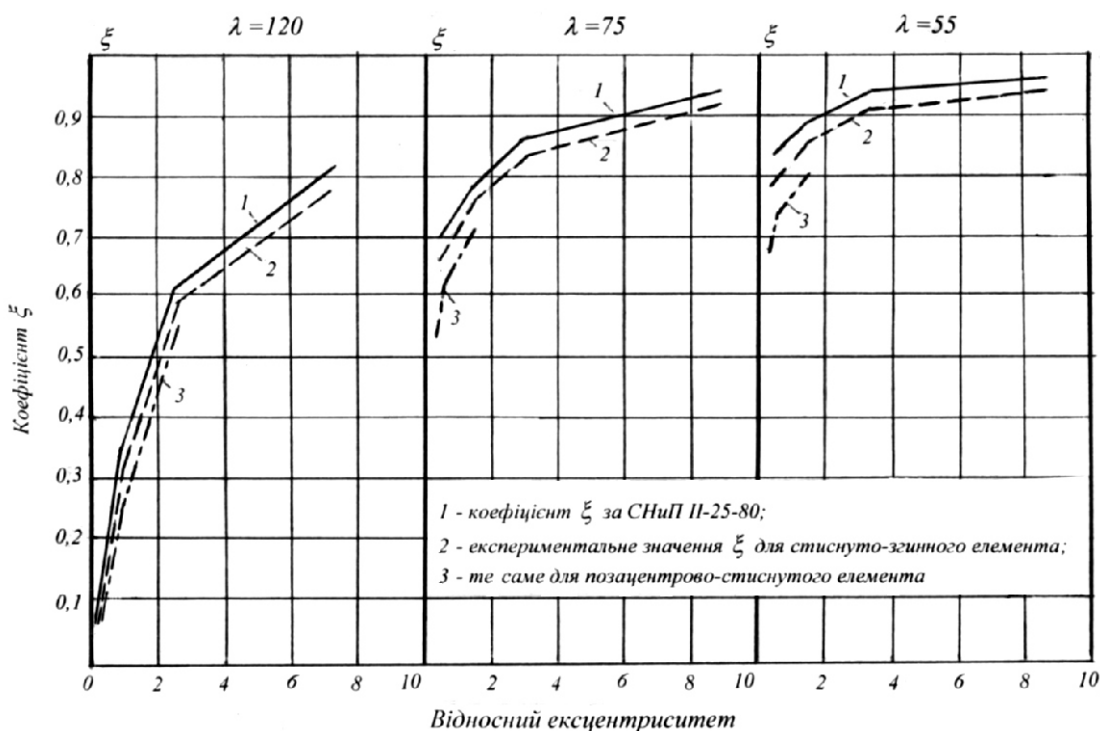


Рис. 5. Коефіцієнт у стиснуто-згинних і позацентрово-стиснутих елементах

ментів із проектування дерев'яних конструкцій: відповідний пункт СНиП II-25-80 з розділу «Основные указания по проектированию деревянных конструкций» – п. 6.10: «Элементы деревянных конструкций следует центрировать в узлах, стыках и на опорах, за исключением случаев, когда эксцентричное соединение элементов уменьшает действующий в расчетном сечении изгибающий момент».

Не випадково конструктивний захід, що дозволяє зменшити згинальний момент, виявився дуже привабливим і знайшов широке застосування в навчально-методичній літературі. Згідно з законом збільшення ступеня ідеальності ТС – ефективність нової ТС тим більша, чим менші матеріальні витрати на створення удосконаленої ТС [6]. Конструктивний захід, про який йде мова, потребує буквально нульових витрат. Він полягає у стикуванні панелей верхніх поясів ферм і трикутних розпірних систем у вузлах частинами торців елементів зі зміщенням рівнодіючої внутрішнього зусилля стискання униз від геометричної осі елементів на від'ємний ексцентриситет  $-e$ . Завдяки цьому в панелях верхніх поясів з'являється розвантажувальний момент  $M_{розв} = Ne$ .

У цій статті стисло даються пропозиції щодо розрахунку нового типу елементів, включені до ДСТУ-Н, обґрунтовані у [10, 11]. Окрім п. 6.1 СНиП не містять ніяких рекомендацій з проектування нового типу елемента: як призначати величину  $-e$ ; методики розрахунку з визначенням  $M_{розв}$ ; перевірки міцності матеріалу в зоні стиків елементів. Не дають методичних рекомендацій щодо розрахунку нового типу елемента усі існуючі підручники і навчальні посібники.

**Проектування позацентрово-стиснуто-згинного (ПС-3) елемента**, розрахункова схема якого наведена на рис. 6.

На ПС-3 елемент у навчально-методичній літературі розповсюдився нормативний метод розрахунку, заснований на теорії крайових напружень, для стиснуто-згинних елементів за розрахунковою схемою на рис. 2. Нормативний метод передбачає розрахунок стиснуто-згинного елемента в деформованому стані з появою в ньому додаткового згинального моменту.

У ПС-3 елементі за схемою на рис. 6 з'являється додатковий не довантажувальний зги-

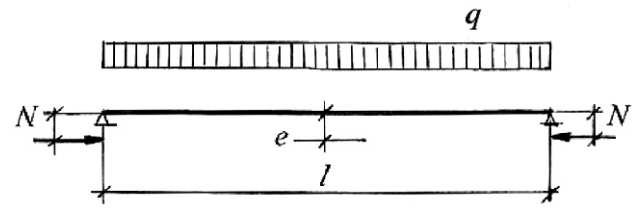


Рис. 6. Розрахункова схема елемента

нальний момент, а, навпаки, зустрічний розвантажувальний, який в деформованому стані становить

$$-M_{розв} = Ne_{ф}, \quad (10)$$

де  $e_{ф}$  – фактичний ексцентриситет у деформованому стані ПС-3 елемента.

Фізичні явища стиску зі згином у двох елементах зовсім різні – по-різному в них формується деформований стан. Немає ніяких теоретичних і фізичних підстав переносити метод розрахунку традиційних стиснуто-згинних елементів на новий тип елементів ПС-3 із використанням коефіцієнта  $\eta$ . Автор також розраховував ПС-3 елементи за теорією крайових напружень без змінень до  $e$  в деформованому стані. Проте, адекватність нормативного розрахунку стосовно нового типу елементів викликала сумнів. В останньому навчальному посібнику «Проектування дерев'яних конструкцій» (вид. 1998 р.) зроблено уточнення деформованого стану ПС-3 елементів, однак розрахунковий момент визначався ще за формулою (2). Звертаючись до філософії техніки, доречно згадати характеристику наукового положення: «*это дедуктивность изложения, следование логике предмета, а не истории его развития*»\*. Теорія крайових напружень була розроблена у тридцяті роки минулого століття з появою у полігональних фермах із брусів панелей верхніх поясів із навантаженням від даху між вузлами: з'явилися стиснуто-згинні елементи з центрованим стикуванням у вузлах. Згодом стикування панелей почали виконувати позацентрово, а методика розрахунку залишилася, не звертаючи уваги на те, що деформовані стани елементів різні.

У методі розрахунку стиснуто-згинних елементів коефіцієнт  $\eta$  з фізичного погляду є логічним, а в методі розрахунку позацентрово-стиснуто-згинних елементів з  $-e$  коефіцієнт втрачає фізичний зміст.

\* Д. Ландау, А. Китайгородский. Физика для всех: физические тела. – М.: Наука. 1982. Предисловие. – 268 с.

**Деформований стан ПС-3 елемента.** На деформований стан елемента впливає співвідношення величини від'ємного ексцентриситету з прогином елемента від поперечного навантаження. Ця обставина не бралася до уваги розробниками навчально-методичної літератури. Можливі випадки співвідношення  $-e$  і  $f_q$  наведені на рис. 7.

Випадок  $e > f_q$  (рис. 7, а), з'являється  $M_{розв} = N(e - f_q)$ . Розрахунок ПС-3 елемента слід виконувати за формулою

$$N/A_{розр} + (M_q - M_{розв})/W_{розр} R_c. \quad (11)$$

Від  $M_{розв}$  відбувається деяке зменшення прогину елемента на  $f_{зуст}$  і ексцентриситет дії зусилля  $N$  у деформованому стані збільшується,  $e_{розр} = e_k - f_q + f_{зуст}$ .

Розрахунковий момент дорівнює  $M_{розр} = M_q - Ne_{розр}$ . Різниця в величинах крайових напружень незначна. Ефект від  $f_{зуст}$  дуже малий. Але істина дорожче, якщо йдеться про розрахунок ПС-3 елементів у деформованому стані.

Випадок  $e = f_q$  (рис. 7, б).

Розрахунок ПС-3 елемента слід виконувати за формулою

$$N/A_{розр} + M_q/W_{розр} R_c. \quad (12)$$

Випадок  $e < f_q$  (рис. 7, в, з)

Якщо  $-e$  значно менше ніж  $f_q$ , робота ПС-3 елемента практично співпадає з роботою стиснуто-згинного елемента і його слід розраховувати відповідно до норм за формулою

$$N/A_{розр} + M_d/W_{розр} R_c \quad (13)$$

при коефіцієнті поздовжнього згину в площині згину елемента  $< 1$  при гнучкості елемента 55.

При гнучкості елемента в площині згину  $< 55$  розрахунок ПС-3 елемента слід виконувати за теорією лінійно-пружних стрижнів.

При зростанні  $-e$  теорія крайових напружень все менше відповідає деформованому стану ПС-3 елемента. Його слід розраховувати при  $M_{розр} = M_q - N(f_q - e)$  за формулою

$$N/A_{розр} + M_{розр}/W_{розр} R_c, \quad (14)$$

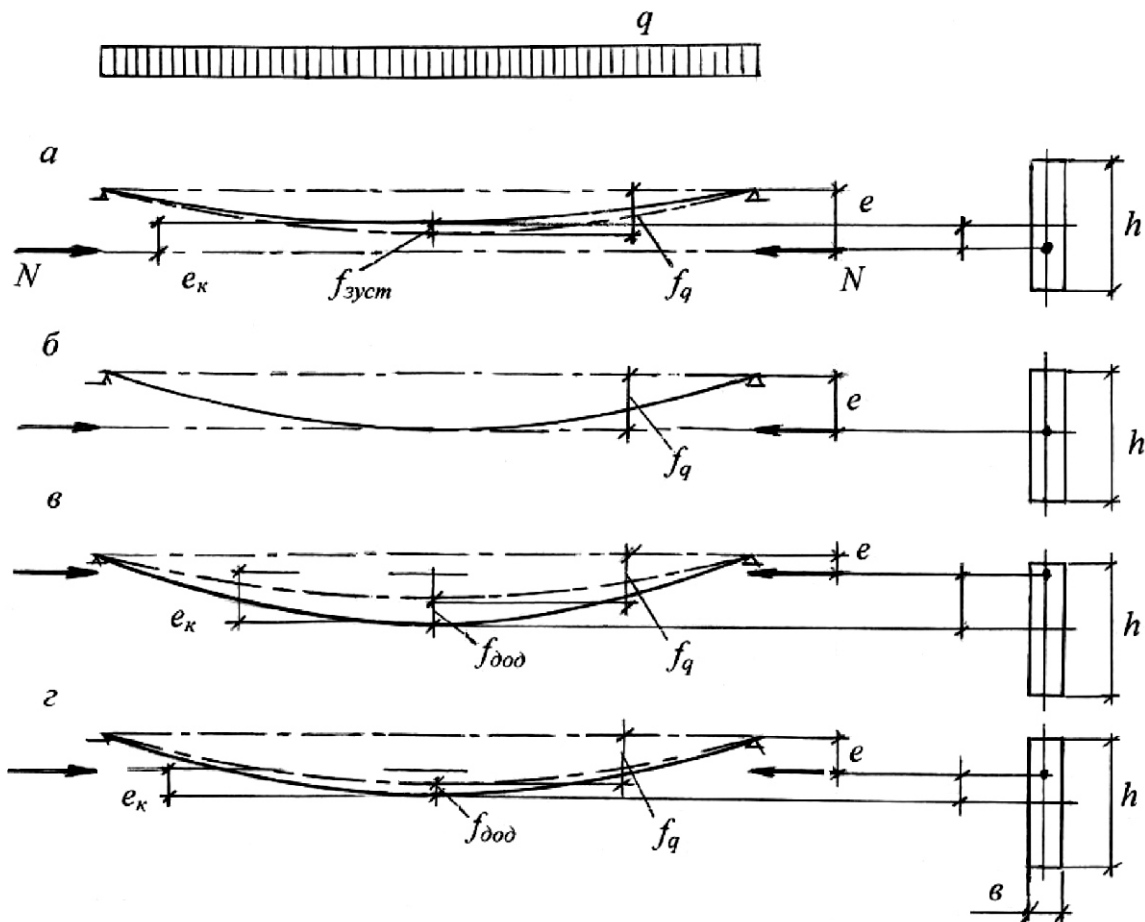


Рис. 7. Деформовані стани ПС-3 елемента

Розрахунок позацентрово-стиснуто-згинних елементів за складним опором залежить від деформованого стану, який формується від величини ексцентриситету  $-e$ , прогину від поперечного навантаження  $f_q$  і поздовжнього зусилля  $N$ . Слід враховувати розрахункові і конструктивні обмеження згідно з нормами проектування: на величину  $-e$  і  $f_q$ , на співвідношення  $h/l$  і  $f_q/l$  та інше.

**Розрахунок криволінійних елементів, що працюють на складний опір.** Йдеться про верхні пояси сегментних ферм. У стиснуто-згинальному криволінійному елементі назустріч до моменту  $M_q$  діє момент  $-M_{зуст} = Nf_r$  ( $f_r$  – вигин відповідно до геометрії верхнього поясу). З точки зору фізичного явища в цьому елементі взагалі немає підстав для формули (2). Деформований стан панелей верхніх поясів сегментних ферм слід встановлювати з врахуванням моментів:  $M_q$  – від нього зменшується геометрична кривизна панелей  $f_r$ ;  $-M_{зуст}$  – від нього збільшується вигин. В залежності від співвідношення спрямлення і вигину панелей визначається їхня розрахункова кривизна в деформованому стані  $f_d$ . Розрахунковий згинальний момент знаходиться за формулою

$$M_{розр} = M_q - Nf_d \quad (15)$$

Слід враховувати схему снігового навантаження на покритті сегментного обрису. На жаль, ДБН В.1.2-2:2006 не дає цього, доводиться користуватись варіантом 2 схеми 2 додатка Ж для склепінчастого покриття з  $\alpha \leq 0,5$  на схилах. При несиметричному навантаженні від снігу і легкій конструкції даху не виключено, що на схилі з  $\alpha \leq 0,5$  може статися, що:  $Nf_d > M_q$ . Кардинально змінюється деформований стан панелей цього схилу і відповідно їхній розрахунок від згинального моменту


$$M_{розр} = Nf_d - M_q \quad (16)$$

Заздалегідь неможливо сказати, що розрахунок на складний опір з  $M_{розр}$  за формулою (16) є формальним.

З іншого боку, зі змінням знаків крайових напружень виникає питання щодо розкріплення верхніх поясів, сегментних ферм для забезпечення плоскої форми деформування.

**Висновок.** Для розрахунків прямолінійних і криволінійних панелей верхніх поясів великопанельних ферм із клеєної деревини немає підстав застосовувати метод, заснований на теорії крайових напружень. Слід встановити фактичну деформовану схему панелей і відповідно до неї – величину розрахункового згинального моменту для використання в розрахунковій формулі на міцність на складний опір.

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>[1] Клименко В.З. Модуль упругости древесины и коэффициент продольного изгиба в расчетах деревянных конструкций // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2013. – № 2. – С. 40–45.</p> <p>[2] Инструкция по проектированию деревянных конструкций (к ОСТ 90001-38) / М. – Л.: ГИСЛ. 1940. – 191 с.</p> <p>[3] Курс деревянных конструкций. Учебник. Ч. 1 / Г.Г. Карлсен и др. М. – Л.: Стройиздат. 1942. – 348 с.</p> <p>[4] Конструкции из дерева и пластмасс: Учебник для вузов / Ю.В. Слишкоухов и др. – 5-е издан. – М.: СИ. 1986. – 543 с.</p> <p>[5] Новий нормативний документ щодо проектування дерев'яних конструкцій // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2013. – № 1. – С. 28–32.</p> <p>[6] Клименко В.З. Развитие методик расчета сжато-изогнутых элементов в историческом аспекте / Збірник наукових праць УкрНДІстальконструкція ім. В.М. Шимановського. Вип. 5. – К.: Видавництво «Сталь». – 2010. – С. 130–139.</p> <p>[7] Клименко В.З. Феноменологический подход к расчету сжато-изгибаемых деревянных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – № 1. – С. 7–11.</p> | <p>[8] Клименко В.З. Предложение по расчету сжато-изгибаемых и внецентренно-сжатых деревянных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – № 3. – С. 8–11</p> <p>[9] Исследования сжато-изгибаемых клееных деревянных элементов / Палкина Л.В. ЦИНИС. Серия В, вып.8. – М.: 1979. – С. 34–37.</p> <p>[10] Клименко В.З. Анализ конструктивного приема по повышению несущей способности крупнопанельных ферм из клееной древесины / Сб. «Современные строительные конструкции из металла и древесины» Одесса. ОГАСА. 2003. – С. 85–91.</p> <p>[11] Клименко В.З. Анализ деформированной схемы внецентренно-сжато-изгибаемых элементов крупнопанельных конструкций из клееной древесины / Сб. «Современные строительные конструкции из металла и древесины» Одесса. ОГАСА. 2006. – С. 90–102.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Надійшла 15.04.2013 р. 

## КАФЕДРА БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН КНУБА 60 РОКІВ

Кафедра будівельних машин як підрозділ Київського інженерно-будівельного інституту була створена в 1953 р. Невеликий колектив кафедри (4 викладача) на чолі з доцентом, к.т.н. Ю. Ветровим крім педагогічної праці розгорнув наукову діяльність, спрямовану на створення будівельних та дорожніх машин та обладнання. Перші досягнення, що лягли в основу наукової школи, сприяли важливим удосконаленням робочих органів землерийних машин, що були втілені в реальні конструкції вже в 50–60-х роках. Ці розробки стосувались конвеєрів (доц. В. Ченцов), тролейовозів (проф. О. Фіделев), машин для заводів ЗБК (доц. П. Тютюнников).

У 1962 р. при кафедрі було створено лабораторію нових землерийних машин, де науковці та студентська молодь мали можливість втілювати власні технічні розробки у дрібне та серійне виробництво. Завдяки проведенню науково-практичних експедицій у м. Назарово Красноярського краю у 1962 р. (Ю. Ветров, О. Кісленко) була освоєна нова конструкція робочого органа для руйнування мерзлого ґрунту при наднизьких температурах, у м. Новий Оскол (1965 р.) – вдосконалена конструкція кабелюкладача (керівник проф. В. Баладінський), у м. Воскресеньск (1966 р. доц. А. Уткін)

опрацьовано нові ковші на ланцюговий багатоківшовий екскаватор фірми «Букау». Польові дослідження різання ґрунтів (1967–1970 рр. Ю. Пристайло, В. Терентьєв, І. Шемет) сприяли розробленню нових ковшів на роторний екскаватор ЄРГ-400. Перелік подібних робіт досить значний.

Співробітники кафедри працювали при будівництві БАМу, на ділянці траси, відведеній Україні, у зимові місяці 1974–1976 рр. за температури повітря до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Комплексні роботи з модернізації машин дали змогу заощадити тільки протягом 1976 р. більше \$ 1 млн., а уряду повністю відмовитися від закупівлі за кордоном робочих органів розпушувачів та екскаваторів. Працівники кафедри Ю. Ветров, В. Баладінський, Ю. Пристайло, В. Смірнов, А. Фомін, В. Головань, Л. Пелевін були занесені до «Книги пошани».

На прохання державного комітету з науки та техніки фахівцями кафедри (В. Моїсеєнко, М. Сукач, В. Маріч, М. Гоц, О. Коптелов, С. Комоцька) було виконано великий обсяг наукових та конструкторських розробок із створення машин для підводних робіт з добування руд корисних копалин на шельфах Чорного та Балтійського морів та в регіоні Кларіон-Кліппертон (Тихий океан).



Паралельно виконувались дослідження з руйнування льоду Льодового океану гребними гвинтами атомних криголамів типу «Арктика» з метою покращення загальних ходових якостей криголаму (Ю. Сосевич, В. Крилов, В. Власов). У м. Магадані опрацьовували розроблену на кафедрі оригінальну машину для руйнування та подачі на промивальний прилад золотовмісного піску (А. Уткін, І. Шемет, І. Русан) та спроектовану машину для потреб медичної промисловості (Ю. Пристайло) та інше.

Велика кількість стендів та пристроїв, розроблених лабораторією, використовується і сьогодні у педагогічній роботі кафедри. Це стенди з динамічного та статичного різання ґрунтів, вивчення адгезійних властивостей ґрунтів, дослідних робіт із алмазним та ґрунторуйнуючим інструментом, буріння ґрунтів, стенди з вивчення роботи зубчастих редукторів та гідравлічних машин.

Справу Ю. Ветрова гідно продовжив заслужений діяч науки і техніки України, академік В.Л. Баладінський. Під його керівництвом колектив кафедри освоює нові педагогічні та наукові напрями роботи. Лабораторія нових землерийних машин переростає в науково-дослідний інститут будівельної, дорожньої та інженерної техніки (НДІ БДІТ, 1993 р.), з'являється п'ять навчальних лабораторій, у т.ч. обчислювальної техніки, покращується полігон будівельно-дорожніх машин, створюються науково-виробничі об'єднання.

Науково-дослідним інститутом розробляються та впроваджуються у виробництво одномоторний землерийний та різнофункціональний інструмент (В. Дончук); швидкодіючий алмазний інструмент (Ю. Абрашкевич, О. Костенюк); нові бурові робочі органи (В. Смірнов); змінне різноманітне начіпне обладнання для екскаваторів другої розмірної групи (Ю. Пристайло); ґрунтоотрамбувальні машини (Л. Пелевін); принципово нові ґрунторозроблювальні машини (О. Гаркавенко, І. Русан, А. Зухба); військово-інженерна техніка та техніка для аварійно-рятувальних робіт (В. Баладінський) тощо.

Зміцнюються міжнародні наукові зв'язки кафедри, утворюється міжнародна асоціація землерийних робіт на чолі з професором В. Баладінським.

У теперішній час кафедру очолює лауреат Державної премії в галузі науки і техніки, професор Л. Пелевін, який свої зусилля направиляє на збереження набутих досягнень та розвиток нових напрямів роботи.

Так сьогодні на кафедрі плідно працюють 8 наукових студентських семінарів за напрямками:

- Основи теорії взаємодії пружно-деформованих виконавчих елементів будівельної техніки і робочого середовища (проф. Л. Пелевін, асистенти М. Балака, М. Пристайло).

- Теоретичні основи процесу обробки будівельних матеріалів і конструкцій абразивного інструменту (проф. Ю. Абрашкевич, ст. викл. О. Костенюк, асистенти Г. Мачишин, О. Човнюк).
- Підвищення надійності та довговічності приводів динамічних робочих органів будівельної техніки (доц. В. Воляннюк, асист. Т. Щербина).
- Дослідження процесів влаштування щілин у ґрунтовому масиві для протифільтраційних екранів (проф. М. Сукач, асист. О. Марченко).
- Інтенсифікація робочих процесів будівельної і дорожньої техніки (проф. А. Фомін, асист. О. Тетерятник).
- Структурний синтез гідро- та пневмоавтоматичних приводів будівельної техніки (проф. Л. Пелевін, доценти В. Рашківський, Є. Горбатюк, В. Воляннюк, асист. С. Комоцька).
- Розроблення систем комп'ютерного проектування приводів будівельної техніки (доценти М. Діктерук, В. Рашківський).
- Дослідження енергетичних показників механізмів у вантажопідійомних машинах та основи комп'ютерного моделювання (доц. І. Русан, асист. Д. Міщук).

Свої розробки студенти втілюють у курсові та дипломні проекти, найобдарованіші продовжують навчання в аспірантурі.

За роботу «Дослідження та створення землерийної техніки з енергозберігаючими властивостями для прокладання комунікаційних ліній в міських умовах» молоді науковці кафедри Є. Горбатюк, В. Рашківський та О. Тетерятник були відзначені Премією Президента України. Асистенти кафедри М. Балака – стипендіат Кабінету міністрів України для молодих вчених, Г. Мачишин – переможець конкурсу «Інтелект молодих на службу столиці».

Доцент кафедри В. Рашківський відзначений грантом Президента України для підтримки наукових досліджень молодих вчених за 2011 р. (курс ДФФД F32).

Науковці кафедри отримали понад 500 охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (патенти України, авторські свідоцтва СРСР та патенти інших держав).

Наукові та конструкторські доробки кафедри розвивають власну школу навчання. Наші фахівці відзначені урядовими нагородами (Л. Пелевін, А. Фомін, Ю. Абрашкевич), медалями та грамотами українських і міжнародних виставок.

Кафедра «Будівельні машини» ім. Ю.О. Ветрова КНУБА з нагоди свого 60-річчя висловлює щиру вдячність заводським та конструкторським колективам, які співпрацювали і співпрацюють з нами.

***Зичимо усім фахівцям кафедри успіхів, нових ідей, цікавих проектів та їх реалізації***

**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) у форматі \*.doc, docx, а також у роздрукованому виді.
- Ілюстрації надаються підготовленими у форматах tif, eps, jpg – 300 dpi або на паперових носіях для сканування.
- 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 ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»**

Рекомендовано до друку вченою радою ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського» (протокол № 3 від 08.08.2013 р.)

**Адреса редакції та видавця:** вул. В. Шимановського, 2/1, Київ, 02660,

ТОВ «Укрінсталькон 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 та дизайн – **Цапро Т.І.**

Дизайн обкладинки – **Артюшенко В.С.**

Підписано до друку 09.08.2013 р. Формат 60 84/8. Папір крейдяний. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 8,1.

Тираж 300 прим.

**Віддруковано ТОВ «Друкарня «Літера»**, вул. Мельникова, 73-А, м. Київ, 04119, тел. 502-68-08

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2837 від 24.04.2007 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