

**ДЕРЖАВНА КОРПОРАЦІЯ  
«УКРМОНТАЖСПЕЦБУД»**

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

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

**ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР**  
Адріанов В.П.

**ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР**  
Лукашевич Т.І.

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

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

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

- Абель Д., д.т.н., проф. (США)
- Агош З., д.т.н., проф. (Словаччина)
- Белоев М., к.т.н. (Болгарія)
- Грінченко В.Т., академік НАНУ, д.т.н., проф. (Україна)
- Зюлко Е., д.т.н., проф. (Польща)
- Кавагучі М., д.т.н., проф. (Японія)
- Каравайченко М.Г., д.т.н., проф. (Росія)
- Като Ш., д.т.н., проф. (Японія)
- Кжупка В., д.т.н., проф. (Чехія)
- Кульбах В., академік НАНУ, д.т.н., проф. (Естонія)
- Лан Т., д.т.н., проф. (Китай)
- Назаров Ю.П., д.т.н., проф. (Росія)
- Новак А., д.т.н., проф. (США)
- Павлов А.Б., д.т.н., проф. (Росія)
- Розерт Х., д.т.н., проф. (Німеччина)
- Сидорович Є.М., д.т.н., проф. (Білорусь)
- Спарлінг Б., д.т.н., проф. (Канада)
- Трощенко В.Т., академік НАНУ, д.т.н., проф. (Україна)
- Тулебаєв К.Р., к.т.н. (Казахстан)
- Шугаєв В.В., д.т.н., проф. (Росія)
- Янковяк Р., д.т.н., проф. (Польща)



**2'2008**

# ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Виходить 4 рази на рік

Заснований у листопаді 2007 року

## ЗМІСТ

### ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

**В.В. Мосийчук, А.И. Рабичев, О.Б. Лотоцкий, А.А. Рыженков**  
СОВРЕМЕННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ . . . . . 2

### НАУКА – ВИРОБНИЦТВО

**Е.В. Горохов, В.Ф. Мущанов, Ю.В. Сивоконь**  
МЕТОДИКА РАСЧЕТА МЕМБРАННОЙ ОБОЛОЧКИ ПОКРЫТИЯ  
НАД ТРИБУНАМИ СТАДИОНОВ С БОЛЬШИМ ВЫРЕЗОМ  
НА ЭЛЛИПТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ . . . . . 6

**В.И. Гуляев, С.Н. Худолий, Л.В. Гловач**  
ЗАКРИТИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ БУРИЛЬНЫХ КОЛОНН В ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СКВАЖИНАХ. . . . . 13

**Г.В. Ленда, Б.М. Лисицин**  
НОВИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ТЕОРІЇ РОЗРАХУНКУ  
ВИСЯЧИХ СИСТЕМ СКІНЧЕНОЇ ЖОРСТКОСТІ . . . . . 18

**Е.М. Сидорович, А.А. Борисевич**  
РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ СИСТЕМ . . . . . 23

**В.П. Королёв, О.Б. Лотоцкий, Ю.В. Филатов**  
РЕИНЖИНИРИНГ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ . . . . . 26

### МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД

**В.П. Королёв**  
EUROCORR 2007  
THE EUROPEAN CORROSION CONGRESS . . . . . 34

### ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ СИСТЕМИ

**А.М. Родін, О.О. Помазановський, Ю.Ф. Левандовський**  
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, КЕРУВАННЯ  
ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ № 9 «КРИВОРІЖСТАЛЬ» . . . . . 35

### ОБЛІК ТА ОПОДАТКУВАННЯ

**В.П. Кергет**  
ОСОБЛИВОСТІ ОБЛІКУ ТА ОПОДАТКУВАННЯ ДОВГОСТРОКОВИХ ДОГОВОРІВ  
У ГАЛУЗІ БУДІВНИЦТВА . . . . . 41

### ЮВІЛЕЇНІ ДАТУ

ПЕРЕЛЬМУТЕР АНАТОЛИЙ ВИКТОРОВИЧ  
(к 70-летию со дня рождения) . . . . . 47

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

## СОВРЕМЕННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

**В** настоящее время в Украине наблюдается устойчивый дефицит подвижного состава коммунального транспорта, а технический уровень имеющегося серьезно отстает от мировых стандартов.

Один из путей решения транспортных проблем – увеличение закупок органами местной власти традиционных видов городского транспорта большой вместимости, тем более что в нашей стране освоено производство современных, надежных, вместительных автобусов, троллейбусов и трамваев. Однако эти виды транспорта уже не решают в полной мере транспортные проблемы больших городов.

Долгое время решение проблем виделось в строительстве метрополитена, но расходы на его сооружение и эксплуатацию оказались слишком высоки, а сам процесс строительства растягивается на десятилетия. Кроме того, использование метрополитена оправдано лишь в городах с населением более миллиона человек.

Таким образом, появилась необходимость создания новых видов общественного транспорта, объединяющих в себе низкую стоимость обычного электротранспорта и высокую провозную способность метро.

Разновидностью легкорельсового транспорта, который характеризуется признаками регулярного, скоростного, внеуличного режима работы, с прокладкой коммуникаций подземным, наземным, надземным или комбинированным способом, является скоростной трамвай, который отличается от обычного обособленным от уличного дорожного полотна расположением линий, большей длиной перегонов, высокой скоростью и, как правило, большей составностью, что увеличивает провозную способность (до 25 тыс. пассажиров в час в одном направлении) по сравнению с традиционным (10 тыс.). Подземный скоростной трамвай (как правило, имеющий подземные станции в центре города) иногда называют метротрамом.

Высочайшие темпы урбанизации, увеличение мобильности населения и объемов пассажирских перевозок предъявляют новые требования к городскому пассажирскому транспорту в мегаполисах. Первая линия скоростного



**В.В. Мосийчук**  
генеральный директор  
НПФ «Электротранскомплекс»  
(г. Донецк)



**А.И. Рабичев**  
заместитель главного конструктора  
отделения «Наземный транспорт»  
АНТК «Антонов»



**О.Б. Лотоцкий**  
первый заместитель министра  
по вопросам жилищно-коммунального  
хозяйства Украины



**А.А. Рыженков**  
председатель правления  
ОАО «Конструкция»  
(г. Донецк)

трамвая была введена в эксплуатацию в 1975 г. в г. Киеве. Несколько позже в г. Кривой Рог был пущен подземный скоростной трамвай, который в определенной степени можно считать метротрамом.

Скоростной трамвай также проектировался в г. Вильнюсе, метротрам – в городах Донецке, Одессе, Риге, Ереване, Львове, Таллинне. Позже проекты донецкого, одесского, рижского и ереванского метротрамов преобразовались в метрополитены, из которых было реализовано только ереванское метро, а строительство остальных или ведётся (Донецк), или отменено (Одесса, Рига, Львов). В настоящее время выполняются проектные работы для линий метротрама в городах Вильнюсе и Таллинне.

Скоростной электротранспорт находит все большее применение в крупных городах Европы и таких стран, как США, Китай, Австралия, Япония, Канада и других. Необходимость развития нетрадиционных транспортных и маршрутных сетей наиболее остро ощущается в центральных частях мегаполисов, а также для связи с аэропортами, городами-спутниками, промышленными зонами и зонами отдыха. Сооружаются современные скоростные транспортные системы, способные удовлетворить спрос населения на пассажирские перевозки и обеспечивающие высокую безопасность движения и сохранение окружающей среды при автоматизированном управлении.

Управлять пассажирскими составами, идущими друг за другом с интервалом 30–40 с со скоростью 80 км/ч, может только автоматизированная система на базе мощного вычислительного комплекса. Такая система выполняет функции управления движением по маршруту на этапах разгона, торможения и прибытия к

платформе, соблюдения интервалов между составами, текущего контроля технического состояния состава и путевой структуры. Только таким образом можно гарантировать эффективность и безопасность движения скоростной транспортной системы.

Конечно, скоростная дорога должна быть изолирована от других транспортных потоков. Чтобы избежать отчуждения дорогостоящей земли и не нарушать сложившиеся городские структуры, скоростные дороги, как правило, прокладываются на эстакадах, вантовых мостах, в тоннелях малого диаметра и неглубокого заложения. Первая городская рельсовая автоматизированная дорога была построена в 1980 г. в Ванкувере (Канада) и успешно действует до настоящего времени. Высокий уровень автоматизации позволил даже отказаться от машинистов. Подобные линии построены и функционируют более чем в 100 городах Франции, Швейцарии, Японии, США, Великобритании, Канаде, Германии и на Тайване. На Западе такие дороги



Современные транспортные системы скоростного трамвая

называют мини-метро, поскольку они по провозной способности и удобству пользования приближаются к метрополитену, но при этом требуют значительно меньших затрат на строительство и эксплуатацию. Создатели городских дорог считают, что практически бесшумные элегантные скоростные экспрессы из алюминия и стекла благодаря высокому комфорту, умеренной проездной плате и экологической чистоте смогут успешно конкурировать даже с индивидуальным транспортом, а также стать украшением любого города.

Впервые эксперименты с мини-метро начали проводить именно в Украине еще в начале шестидесятых годов. В 1967 г. на территории Выставки передового опыта УССР был построен демонстрационный участок эстакадной дороги длиной 525 м. Предполагалось построить в городе две действующие линии длиной 2 и 3,5 км. К сожалению, тогда этим проектам не суждено было состояться, и со временем идею незаслуженно забыли. Лишь в последние годы в г. Москве была построена линия монорельсовой дороги, работающая в «экскурсионном» режиме и недавно принятая в систему пассажирского транспорта российской столицы.

В настоящее время надземный экспресс, или «воздушное метро», является реальным выходом для развития территорий современных городов. В качестве примера можно рассматривать проработки строительства скоростной линии, которая свяжет юго-западную и восточную части г. Санкт-Петербурга. Расчеты канадской компании SNC Lavalin SNC Lavalin и ОАО «Ленгипротранс» позволили обосновать преимущества проекта «воздушной» прокладки трассы, согласно которому 70 %, или 19,21 км, должно пройти по эстакадам и только 7,31 км – по земле, большей частью – по территории «Балтийской жемчужины». На трассе транспортной сети предусматривается использование сочлененных вагонов типа ЛСТ (легкий скоростной транспорт), которые позволят обеспечить перевозку 300 тыс. пассажиров в день с интервалом движения составов 3–5 мин. При выборе вариантов принималось во внимание, что 1 км подземной трассы метрополитена обходится в \$100 млн. (а на отдельных участках вдвое дороже), а 1 км трассы надземного экспреса составит \$20–25 млн.

Согласно данным департамента транспорта и связи г. Москвы, личный автотранспорт перевозит приблизительно 20 % пассажиров, при этом занимает около 85 % площади проезжей части дорог. На долю наземного городского транспорта приходится 44 % пассажиров и требуется ему только 0,93 % площади проезжей части. Весь остальной пассажиропоток перевозится внеуличным рельсовым транспортом: метрополитеном и железнодорожным транспортом. При этом, по оценкам специалистов, стоимость строительства линий скоростного трамвая в 3,7 раза меньше, чем затраты на возведение линий метрополитена (при сопоставимых величинах их провозной способности). Но скоростной трамвай может ездить не только по наземным рельсам. Из 190 км новых линий 99 км планируется расположить на эстакадах, а 37 – в тоннелях под землей. Кроме того, предусмотрено совмещение линий скоростного трамвая с обычными трамвайными путями. На прошедшем VI Международном инвестиционном форуме «Сочи-2007» был представлен такой проект московской городской транспортной системы скоростного трамвая.

Что касается Украины, то очевидно, что имеющийся опыт применения данных технологий может и должен быть использован для повышения степени транспортной доступности и качества обслуживания населения, что является одной из целей развития транспортной инфраструктуры городов. Этот вопрос тем более актуален в настоящее время, когда уже началась подготовка к проведению в нашей стране финальной части чемпионата Европы по футболу «Евро-2012». Хочется надеяться, что начавшаяся реконструкция линии скоростного трамвая в г. Киеве – это лишь начало дальнейшего освоения новых технологий наземного электротранспорта в Украине. Внедрение автоматических систем, контролирующих и регулирующих скорость движения поездов, замена существующего парка трамвайных вагонов, устройство нового бесшумного пути обеспечит увеличение скорости движения до 28,7 км/ч (в настоящее время – 16 км/ч). При интервале движения 2–3 мин. пассажиропоток наземного мини-метро составит 25 тыс. пассажиров в час в одном направлении.

Городское транспортное обслуживание включает координацию движения и модернизацию

цию транспорта со сложившейся структурой и проектирование новых видов городских транспортных артерий. Кардинально решить последнюю можно путем создания автоматизированных скоростных экологически безопасных транспортных систем нового поколения.

Сегодня в Украине есть все необходимые разработки и возможности для строительства современных эффективных линий скоростного трамвая (мини-метро), затраты на введение в эксплуатацию которого в 3–4 раза ниже, чем на строительство традиционного метро. Особенно актуален этот вид транспорта для крупных городов и территорий с населением от 500 тыс. чел., таких как Киев, Донецк, Днепропетровск, Одесса, Запорожье, Мариуполь, Львов, Николаев, Кривой Рог и АР Крым. Решение данной проблемы очень важно в преддверии финальной части чемпионата Европы по футболу 2012 г., когда требования к пассажирскому транспорту европейского уровня комфортабельности и безопасности станут приоритетными.

Создание таких систем состоит из нескольких слагаемых: проектирование и изготовление самого подвижного состава (поезда, вагоны, энергетические системы), проектирование собственно транспортной инфраструктуры (остановки, вокзалы, эстакады, мосты) и изготовление современных конструктивных систем, позволяющих в короткие сроки в условиях стесненного городского строительства создавать транспортные сети.

Украина располагает достаточным потенциалом для создания систем мини-метро собственными силами при координации всех работ Министерством жилищно-коммунального хозяйства Украины. Так, вопросы проектирования и изготовления подвижного состава могли бы взять на себя «Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова» (ГП АНТК им. О.К. Антонова) и киевский авиационный завод «Авиант» (ГП КиАЗ АВИААНТ). Это предприятие с 1990 г. профессионально занимается разработкой подвижного состава городского электротранспорта, применяя в конструкциях кузовов передовые авиационные технологии и материалы. Здесь разработаны, изготовлены и сертифицированы 4 модели троллейбусов, серийное производство которых налажено на ГП КиАЗ АВИААНТ. Кроме того, разработан и

изготовлен совместно с ПО «Лугансктепловоз» первый в СНГ трамвай с низким уровнем пола.

Конструкторы ГП АНТК им. О.К. Антонова еще в 1994 г. выполнили технический проект рельсовой автоматизированной дороги «РАДАН» для легкого метрополитена (мини-метро). Технико-экономическое обоснование трассы новой транспортной системы вдоль левого берега Днепра в г. Киеве имеет положительные заключения НАН Украины, Минпромполитики, Минжилкоммунхоза, Минтранса, институтов «ГИПРОГРАД», «Киевметропроект», «Киевпроект».

НПФ «Электротранскомплекс» (г. Донецк) полностью разработана серия сборно-комплектных тяговых подстанций (СКТП), которые могут быть использованы в качестве постов секционирования и пунктов параллельного соединения. Данные электротехнические объекты комплектуются самым современным оборудованием и могут лечь в основу проекта создания современной транспортной системы мини-метро.

Проблему разработки и проектирования металлических и сталебетонных опорных конструкций и пролетных строений эстакад системы мини-метро мог бы взять на себя Украинский научно-исследовательский и проектный институт стальных конструкций им. В.Н. Шимановского.

Для отдельных участков мини-метро возможно использование современных технологий ОАО «Конструкция» (Донецкий завод металлических конструкций), принятых при создании металлических быстромонтируемых транспортных эстакад типа РЭМ-500, что отражает возможности гибкой трассировки уличных и дорожных развязок разного типа в транспортных системах. Такие конструкции предназначены для быстрого устройства мостовых переходов через широкие, но неглубокие водотоки, суходолы, перекрытия пространств в земляном дорожном полотне.

Наличие промышленного и научного потенциала нашей страны дает уверенность в способности силами украинских предприятий в кратчайшие сроки спроектировать и построить современную мощную автоматизированную скоростную систему мини-метро, которая на многие годы вперед решит проблему общественного транспорта городов Украины.

Надійшла 19.12.2007 р. 

УДК 69.024

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА МЕМБРАННОЙ ОБОЛОЧКИ ПОКРЫТИЯ НАД ТРИБУНАМИ СТАДИОНОВ С БОЛЬШИМ ВЫРЕЗОМ НА ЭЛЛИПТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ

Рассмотрены вопросы расчета напряженно-деформированного состояния и подбора сечений основных конструктивных элементов мембранных покрытий над трибунами стадионов (пролетной части в виде тонколистовой мембраны, внутреннего и внешнего опорных контуров). Полученные в результате реализации методики данные могут использоваться как на этапе вариантного проектирования конструкции покрытия, так и в виде исходных геометрических параметров и жесткостных характеристик сечений элементов для окончательного расчета на ПЭВМ в конечно-элементной постановке. Исследуемая конструктивная форма может использоваться, прежде всего, как элемент реконструкции, необходимой по требованиям УЕФА для большинства стадионов Украины, спроектированных в 60–70-е годы на вместимость 40...45 тыс. зрителей.

**Ключевые слова:** мембранные покрытия, опорный контур, оболочка, полуоси, радиальные и кольцевые напряжения.

Стационарные покрытия над трибунами стадионов, возводимые в соответствии с требованиями международных футбольных организаций, в настоящее время являются одним из наиболее динамично развивающихся видов пространственных большепролетных конструкций, интересных в архитектурном и конструктивном отношении. Планируемое проведение EURO 2012 активизировало строительство новых стадионов в разных городах Украины, что требует огромных затрат. Вместе с тем, проведение реконструкции существующих сооружений позволяет снизить эти затраты на порядок. Имеющийся международный опыт проектирования и возведения подобных реконструируемых сооружений, в том числе и в России (перекрытие трибун стадиона в Лужниках, в Москве), не нашел еще своего должного применения в Украине. Кроме того, большинство стадионов в Украине имеют меньшие параметры (первоначально 40–45 тыс. зрителей, а после оснащения индивидуальными сиденьями – 28–31 тыс. зрителей), что снижает эффективность пространственной работы используемых конструкций и требует дополнительных исследований по установлению их рациональных геометрических форм, разработки инженерной методики расчета и проектирования, необходимой для быстрого анализа вариантов конструктивных схем проектируемой конструкции. В связи с этим в ДонНАСА разработаны методики расчета и проектирования наиболее часто встречающихся типов пространственных конструкций, которые с достаточной для практики точностью могут быть использованы для определения жесткостных характеристик основных элементов конструкций и действующих в них



**Е.В. Горохов**

ректор, заведующий кафедрой «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, д.т.н., профессор



**В.Ф. Муцанов**

проректор по научной работе, заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, д.т.н., профессор



**Ю.В. Сивоконь**

ассистентка кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, к.т.н.

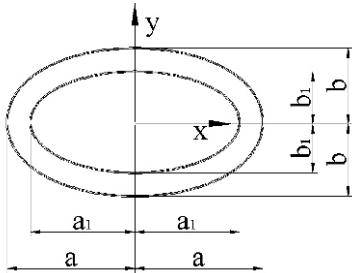
усилий от основных схем приложения расчетных нагрузок на стадии вариантного проектирования.

Ниже приведены основные положения методики расчета и проектирования стационарного мембранного покрытия над трибунами стадиона.

*Пример применения приближенной методики расчета к оболочке, закрывающей 100 % площади трибун стадиона. Размеры оболочки приведены в табл. 1.*

Таблица 1  
Исходные данные оболочки

Исходные данные	
Размеры полуосей оболочки	$a = 123 \text{ м}; b = 85 \text{ м}$
Размеры полуосей выреза	$a_1 = 93 \text{ м}; b_1 = 64,27 \text{ м}$
Модуль упругости	$E = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ Па}$



Материал оболочки и ее элементов (опорных контуров, элементов постели) – сталь. Стрелу провиса примем в соответствии с [1]  $f = a/20 = 123/20 = 6,5$ . Радиус кривизны внутреннего опорного контура  $R$  (без «вспарушивания»). Толщина оболочки  $t = 2 \text{ мм}$ . Расчетный период эксплуатации  $T = 50 \text{ лет}$ .

Зададимся площадью поперечного сечения внутреннего опорного контура из учета, что объем внутреннего опорного контура должен приблизительно равняться объему выреза. Уравнение поверхности оболочки примем в виде [1]

$$z(x, y) = f \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \right)^{\frac{3}{2}}. \quad (1)$$

Вспомогательные функции, ограничивающие проекцию эллипса на горизонтальную плоскость (уравнение верхней и нижней половины эллипса с полуосями  $a_1, b_1$ ),

$$f_1(x) = b_1 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a_1^2}}; \quad (2)$$

$$f_2(x) = -f_1(x). \quad (3)$$

Площадь поверхности, которую отсекаем вырезом,

$$S = \int_{-a_1}^{a_1} \int_{f_1(x)}^{f_2(x)} \sqrt{\left(\frac{dz(x, y)}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz(x, y)}{dy}\right)^2 + 1} dx dy. \quad (4)$$

$$\text{Объем выреза } V = S \cdot t = 38,1 \text{ м}^3; \quad (5)$$

длина плоского внутреннего опорного контура  $L = 2 \int_{-a_1}^{a_1} f_1(x) dx = 498,2 \text{ м}; \quad (6)$

площадь поперечного сечения внутреннего опорного контура  $F^{int} = V/L = 0,076 \text{ м}^2. \quad (7)$

Вычисляем площадь поперечного сечения внешнего опорного контура:

$$F^{ext} = F^{int} / 0,85 = 0,089 \text{ м}^2. \quad (8)$$

Определим безразмерный параметр  $\bar{F}_1$ :

$$\bar{F}_1 = \frac{E F^{ext} a b_1^2 - E F^{int} a_1 b^2}{E t b^2 b_1^2} = 1,62. \quad (9)$$

Следует отметить, что в функциональные зависимости приближенной методики закладывалась толщина мембраны, а не приведенная толщина оболочки.

Оптимальное значение параметра  $\bar{F}_1$  вычисляем из учета минимального значения безразмерного параметра перемещений  $\bar{w}$  с учетом ограничений рекомендуемых методикой ограничений  $\bar{F}_1 \in [1..3]$ . Для этого по табл. 3 выпишем номер функции зависимости  $\bar{w}(\bar{F}_1)$ , а по табл. 2 отыскиваем соответствующую номеру функцию. Отыщем в качестве примера безразмерный параметр максимальных вертикальных перемещений: функция (24), а по табл. 2 ей соответствует формула

$$y = e^{a \frac{b}{x} + c \ln(x)}, \quad (10)$$

где  $y$  – искомый безразмерный параметр (в данном случае максимальных вертикальных перемещений  $\bar{w}$ );  $a, b, c$  – коэффициенты этой функции, значения которых даны в строке, соответствующей данному безразмерному параметру;  $x$  – аргумент функции

$$x = \bar{F}_1 = 1000 / 1620. \quad (11)$$

Таблица 2

Аппроксимирующие функции для таблиц приближенной методики (в сокращенном виде)

Функция	№ формулы
$y = a b x c x^2 d x^3$	(1)
$y = a b x c x^2 d x^3 e x^4$	(2)
$y = a b x \frac{c}{x^2}$	(8)
$y = e^{a \frac{b}{x} + c \ln(x)}$	(24)

Таблица 3

**Площадь покрытия (100 %) трибун стадиона  
с плоским внутренним опорным контуром после «вспарушивания»  
(нормативная снеговая нагрузка 70 кг/м<sup>2</sup> по всему покрытию, таблица приводится в сокращенном виде)**

Безразмерный параметр, зависящий от б. п. $F_1$	Функция зависимости	r	A	B	C	D	E
$\bar{w} \left  \frac{w}{f} \right $	(24)	0,997	-8,465E+00	9,497E+02	7,311E-01		
	(8)	0,992	1,012E-03	1,751E-06	1,518E+03		
в мембране $\frac{ring}{a} 10^5$	(2)	0,999	4,732E+00	-2,924E-03	1,412E-06	-2,739E-10	1,923E-14
	(1)	0,960	3,710E+00	-1,941E-03	6,260E-07	-5,710E-11	
в мембране $\frac{ring}{b} 10^5$	(22)	0,999	1,564E-01	2,795E+02	4,737E-01		
	(1)	0,999	2,399E+00	-1,009E-04	3,178E-07	-2,886E-11	
внутр.о.к. $N_a^{int} 10^5$	(24)	0,999	1,094E+01	6,676E+02	-2,759E-01		
	(24)	0,999	8,148E+00	1,101E+03	-2,528E-03		
a = 8,465E+00, b = 9,497E+02, c = 7,31E-01							

Для нахождения безразмерного параметра  $\bar{w}$  подставляем все эти значения в формулу (10)

$$\bar{w} = e^{8,465 \frac{9,497 \cdot 10^2}{1620} \cdot 7,311 \cdot 10^{-1} \ln(1620)} \cdot 8,409 \cdot 10^{-2}. \quad (12)$$

Для оптимизации задаем начальное значение параметра  $F_1=1,62$ , в MS Excel в одну из ячеек вводим это значение, умноженное на 1000, в другую записываем функцию (12), аргументом которой будет ячейка, содержащая  $1000 F_1$ , затем выбираем в меню сервис -> поиск решения. Устанавливаем целевую ячейку (ячейка, содержащая функцию), флажок «установить целевую ячейку равной минимальному значению» и добавляем ограничения для ячейки, содержащей параметр  $1000 F_1$ . Так как область допустимых проектных решений  $F_1$  [1...3], то ограничения значений в этой ячейке будут [1000...3000]. Для рассматриваемого случая оптимальное значение параметра  $F_1=1,3$ .

Для определения параметров НДС оболочки по таблицам 2 и 3 вычисляем сначала соответствующие безразмерные параметры. Например, вычислим безразмерный параметр кольцевых напряжений в мембране по направлению малой полуоси  $\frac{ring}{a}$  (по таблице 3 ему соответствует формула (2))

$$y = a b x c x^2 d x^3 e x^4, \quad (13)$$

где  $a = 4,732E+00$ ,  $b = -2,924E-03$ ,  $c = 1,412E-06$ ,  $d = -2,739E-10$ ,  $e = 1,923E-14$ .

Здесь для всех безразмерных параметров продольных усилий, напряжений и изгибающих моментов (см. таблицу)  $y$  равен соответствующему безразмерному параметру, умноженному на  $10^{-5}$ ,  $x = \bar{F}_1 \cdot 1000$ , т.е.

$$\frac{ring}{a} 10^5 = 4,732 - 2,924 \cdot 10^{-3} \cdot 1300 + 1,412 \cdot 10^{-6} \cdot 1300^2 - 2,739 \cdot 10^{-10} \cdot 1300^3 + 1,923 \cdot 10^{-14} \cdot 1300^4 = 2,77. \quad (14)$$

Отсюда  $\frac{ring}{a} = 2,77 \cdot 10^{-5}$ . Аналогичным образом находим все остальные безразмерные параметры. Значения безразмерных параметров НДС этой оболочки приведены в табл. 4, размерные значения вычислим, воспользовавшись общепринятыми формулами значений безразмерных параметров напряженно-деформированного состояния (здесь следует учесть, что значения продольной жесткости необходимо подставлять в кН, изгибной – в кНм<sup>2</sup>, а все остальные значения в системе СИ).

Например, вычислим максимальные вертикальные перемещения

$$w = \bar{w} f = 8,27 \cdot 10^{-2} \cdot 6,15 = 0,509 \text{ м.}$$

Кольцевое напряжение в мембране по направлению малой полуоси

$$\frac{ring}{a} = \frac{ring}{a} \frac{E(t)^2}{a b} = 2,77 \cdot 10^{-5} \frac{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,002^2}{123 \cdot 85} = 21,8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 22 \text{ МПа.}$$



Таблица 4

Результаты расчета оболочки по приближенной методике

Безразмерный параметр	Значение	Соответствующий размерный параметр
$\bar{w} \quad \left  \frac{w}{f} \right $	8,27E - 02	0,509 м
в мембране $\bar{N}_a^{ring} 10^5$	2,77E + 00	21,834 МПа
в мембране $\bar{N}_a^{rad} 10^5$	1,36E + 01	106,869 МПа
в мембране $\bar{N}_d^{ring} 10^5$	3,76E + 00	29,63 МПа
в мембране $\bar{N}_d^{rad} 10^5$	1,30E + 01	102,188 МПа
в мембране $\bar{N}_b^{ring} 10^5$	4,16E + 00	32,818 МПа
в мембране $\bar{N}_b^{rad} 10^5$	1,17E + 01	92,152 МПа
внутр. о.к. $\bar{N}_a^{int} 10^5$	1,31E + 04	6282,494 кН
внутр. о.к. $\bar{N}_d^{int} 10^5$	1,15E + 04	5544,856 кН
внутр. о.к. $\bar{N}_b^{int} 10^5$	8,08E + 03	3887,721 кН
внешний о.к. $\bar{N}_a^{ext} 10^5$	1,48E + 04	8396,133 кН
внешний о.к. $\bar{N}_d^{ext} 10^5$	1,31E + 04	7415,344 кН
внешний о.к. $\bar{N}_b^{ext} 10^5$	9,77E + 03	5534,749 кН
внутр. о.к. $\bar{M}_{int}^{ya} 10^5$	1,67E - 01	15,709 кНм
внутр. о.к. $\bar{M}_{int}^{yd} 10^5$	2,47E + 01	2324,708 кНм
внутр. о.к. $\bar{M}_{int}^{yb} 10^5$	2,41E - 01	22,641 кНм
внутр. о.к. $\bar{M}_{int}^{za} 10^5$	7,50E - 02	15,719 кНм
внутр. о.к. $\bar{M}_{int}^{zd} 10^5$	7,08E - 02	14,828 кНм
внутр. о.к. $\bar{M}_{int}^{zb} 10^5$	6,18E - 02	12,955 кНм
внешний о.к. $\bar{M}_{ext}^{ya} 10^5$	1,80E - 03	0,145 кНм
внешний о.к. $\bar{M}_{ext}^{yd} 10^5$	3,91E - 01	31,559 кНм
внешний о.к. $\bar{M}_{ext}^{yb} 10^5$	3,14E - 02	2,537 кНм
внешний о.к. $\bar{M}_{ext}^{za} 10^5$	5,44E + 00	16,672 кНм
внешний о.к. $\bar{M}_{ext}^{zd} 10^5$	6,69E + 00	20,524 кНм
внешний о.к. $\bar{M}_{ext}^{zb} 10^5$	3,03E + 00	9,279 кНм

**Примечание.** *int* – внутренний; *ext* – внешний; *a* – малая ось; *d* – диагональ; *b* – большая ось; *y* – относительно оси *y*; *z* – относительно оси *z*.

Продольное усилие во внутреннем опорном контуре по малой полуоси

$$N_a^{int} = \bar{N}_a^{int} \frac{EF^{int}(t)^2}{ab}$$

$$1,305 \cdot 10^4 \cdot 10^5 \frac{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,057 \cdot 0,002^2}{123 \cdot 85}$$

$$6282 \cdot 10^3 \text{ Н} \quad 6282 \text{ кН.}$$

Проверка прочности мембраны в районе малой полуоси, диагонали и большой полуоси. По зависимостям приближенной методики расчета можно найти радиальные и кольцевые составляющие напряжений. Касательные напряжения составляют менее 10 % от соответствующих им радиальных и кольцевых. Проверку прочности проведем в соответствии с п. 5.10 [1] как для двухосного напряженного состояния. Коэффициент условий работы конструкции  $\gamma_c = 0,8$ , т.к. пролет покрытия свыше 120 м [1],  $R_y = 210$  МПа.

$$R_y \cdot \gamma_c = 210 \cdot 0,8 = 168 \text{ МПа.}$$

Проверка прочности мембраны по малой полуоси

$$\sigma_1^a = \sigma_1^{rad} = 107 \text{ МПа}, \quad \sigma_2^a = \sigma_2^{ring} = 21,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_1^a = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{1} + \frac{\sigma_2^2}{2}} = \sqrt{107^2 + \frac{21,8^2}{2}} = 97,8 \text{ МПа} < 168 \text{ МПа};$$

$$\sigma_1^a = 107 \text{ МПа} < 168 \text{ МПа}.$$

По диагонали

$$\sigma_1^d = \sigma_1^{rad} = 102,2 \text{ МПа}; \quad \sigma_2^d = \sigma_2^{ring} = 29,63 \text{ МПа}.$$

Аналогично

$$\sigma_1^d = 91,1 \text{ МПа} < 168 \text{ МПа}; \quad \sigma_1^d = 102,2 < 168 \text{ МПа}.$$

По большой полуоси

$$\sigma_1^b = \sigma_1^{rad} = 92,15 \text{ МПа}; \quad \sigma_2^b = \sigma_2^{ring} = 32,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_1^b = 80,9 \text{ МПа} < 168 \text{ МПа}; \quad \sigma_1^b = 92,15 < 168 \text{ МПа}.$$

Проверка прочности выполняется, следовательно заново вычисляем площади поперечного сечения опорных контуров из системы уравнений

$$\bar{F}_1 = \frac{EF^{ext} a b_1^2 + EF^{int} a_1 b^2}{E t^* b^2 b_1^2},$$

$$F^{ext} = F^{int} / k$$

где  $\bar{F}_1$  – скорректированное значение параметра,  $k \in [0,75...0,95]$ .

Принимаем  $k = 0,85$ . Тогда  $F^{ext} = 0,089 \text{ м}^2$ ,  $F^{int} = 0,076 \text{ м}^2$ .

Формируем расчетную схему для расчета МКЭ на ЭВМ по принятым геометрическим размерам и жесткостным характеристикам. Контуры и элементы постели моделируем стержневыми элементами, мембрану 4-угольными или 3-угольными конечными элементами оболочки.

Размеры 4-угольного элемента оболочки назначаем в соответствии с размерами ячеек, которые образуют элементы постели. В табл. 5 приведено сравнение результатов расчета, полученных по предлагаемой приближенной методике и с помощью ПК SCAD.

Таблица 5

**Сравнение результатов расчета по приближенной методике и в SCAD**

Безразмерный параметр	Значение б.п. по приближенной методике	Соответствующее размерное значение по приближенной методике	Соответствующее значение по SCAD	Разница между приближенной методикой и SCAD
$\bar{w} \quad \left  \frac{w}{f} \right $	8,27E - 02	0,509 м	0,487 м	5 %
$\bar{N}_{a}^{ring} 10^5$	2,77E + 00	21,834 МПа	22,43 МПа	3 %
$\bar{N}_{a}^{rad} 10^5$	1,36E + 01	106,869 МПа	110,4 МПа	3 %
$\bar{N}_{d}^{ring} 10^5$	3,76E + 00	29,63 МПа	29,82 МПа	1 %
$\bar{N}_{d}^{rad} 10^5$	1,30E + 01	102,188 МПа	105,3 МПа	3 %
$\bar{N}_{b}^{ring} 10^5$	4,16E + 00	32,818 МПа	32,24 МПа	2 %
$\bar{N}_{b}^{rad} 10^5$	1,17E + 01	92,152 МПа	92,94 МПа	1 %
$\bar{N}_{a}^{int} 10^5$	1,31E + 04	6282,494 кН	6470,3 кН	3 %
$\bar{N}_{d}^{int} 10^5$	1,15E + 04	5544,856 кН	5715,49 кН	3 %
$\bar{N}_{b}^{int} 10^5$	8,08E + 03	3887,721 кН	3964,47 кН	2 %
$\bar{N}_{a}^{ext} 10^5$	1,48E + 04	8396,133 кН	7765,262 кН	8 %
$\bar{N}_{d}^{ext} 10^5$	1,31E + 04	7415,344 кН	6849,3 кН	8 %
$\bar{N}_{b}^{ext} 10^5$	9,77E + 03	5534,749 кН	5106,585 кН	8 %
$\bar{M}_{int}^{ya} 10^5$	1,67E - 01	15,709 кНм	14,917 кНм	5 %
$\bar{M}_{int}^{yd} 10^5$	2,47E + 01	2324,708 кНм	1976,0 кНм	15 %
$\bar{M}_{int}^{yb} 10^5$	2,41E - 01	22,641 кНм	20,687 кНм	9 %
$\bar{M}_{int}^{za} 10^5$	7,50E - 02	15,719 кНм	14,875 кНм	6 %
$\bar{M}_{int}^{zd} 10^5$	7,08E - 02	14,828 кНм	13,628 кНм	9 %
$\bar{M}_{int}^{zb} 10^5$	6,18E - 02	12,955 кНм	12,167 кНм	6 %
$\bar{M}_{ext}^{ya} 10^5$	1,80E - 03	0,145 кНм	0,13 кНм	10 %
$\bar{M}_{ext}^{ya} 10^5$	3,91E - 01	31,559 кНм	30,682 кНм	3 %
$\bar{M}_{ext}^{yd} 10^5$	3,14E - 02	2,537 кНм	2,284 кНм	11 %
$\bar{M}_{ext}^{yb} 10^5$	5,44E + 00	16,672 кНм	18,176 кНм	9 %
$\bar{M}_{ext}^{za} 10^5$	6,69E + 00	20,524 кНм	22,111 кНм	8 %
$\bar{M}_{ext}^{zd} 10^5$	3,03E + 00	9,279 кНм	8,31 кНм	10 %

Поверочный расчет запроектированного покрытия с учетом уточненного значения снеговой и ветровой нагрузок экспериментальных данных испытаний модели покрытия в аэродинамической трубе. Вычисляем расчетную снеговую нагрузку согласно действующим нормам [2].

**Снеговая нагрузка:** предельное расчетное значение

$$s_m = f_m s_0 C, \quad (15)$$

где  $f_m = 1$  – коэффициент надежности по предельному расчетному значению снеговой нагрузки для периода  $T = 50$  лет;  $s_0 = 1,5$  кПа – характеристическое значение снеговой нагрузки;  $C = C_e C_{alt}$ ,  $C_e = 1$ ,  $C_{alt} = 1$

$$s_m = 1,5 \text{ кПа}. \quad (16)$$

**Ветровая нагрузка:** предельное расчетное значение

$$w_m = f_m w_0 C, \quad (17)$$

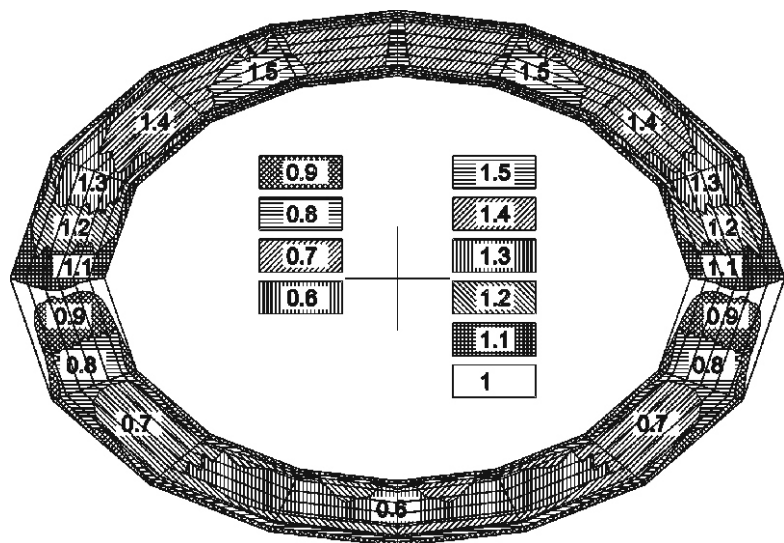
где  $f_m = 1$  – коэффициент надежности по предельному расчетному значению ветровой нагрузки для периода  $T = 50$  лет;  $w_0 = 0,5$  кПа – характеристическое значение снеговой нагрузки;  $C = C_{aer} C_h C_{alt} C_{dir} C_d$ ,  $C_{aer}$  – аэродинамические коэффициенты принимаем по приведенным графикам изополей релятивных давлений через переходные формулы, остальные согласно нормам [2].

Таблица 6

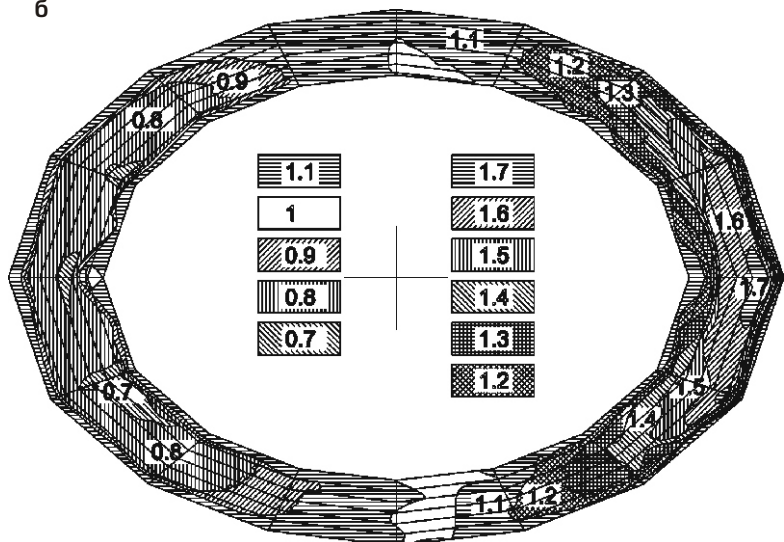
Результаты расчета до и после «вспарушивания»

Параметр НДС	До «вспарушивания»	После «вспарушивания»
$W$ максимальные вертикальные перемещения	- 0,596 м	- 0,079 м
$r_a^{ring}$ малой оси	28,9 МПа	19,13 МПа
$r_a^{rad}$ по малой оси	169,1 МПа	77,52 МПа
$r_d^{ring}$ по диагонали	37,55 МПа	23,55 МПа
$r_d^{rad}$ по диагонали	165,5 МПа	76,56 МПа
$r_b^{ring}$ по большой оси	46,78 МПа	35,57 МПа
$r_b^{rad}$ по большой оси	140,4 МПа	75,55 МПа
$N_a^{int}$ по малой оси	8165,376 кН	4282,138 кН
$N_d^{int}$ по диагонали	7506,372 кН	4756,76 кН
$N_b^{int}$ по большой оси	5708,454 кН	4703,748 кН
$N_a^{ext}$ по малой оси	- 9857,593 кН	- 5421,144 кН
$N_d^{ext}$ по диагонали	- 9085,267 кН	- 5325,225 кН
$N_b^{ext}$ по большой оси	- 7111,954 кН	- 4780,875 кН
$M_{int}^{ya}$ по малой оси	21,141 кНм	0,868 кНм
$M_{int}^{yd}$ по диагонали	352,336 кНм	26,285 кНм
$M_{int}^{yb}$ по большой оси	21,501 кНм	3,57 кНм
$M_{int}^{za}$ по малой оси	- 16,112 кНм	- 13,593 кНм
$M_{int}^{zd}$ по диагонали	- 23,246 кНм	- 11,907 кНм
$M_{int}^{zb}$ по большой оси	- 11,753 кНм	- 13,254 кНм
$M_{ext}^{ya}$ по малой оси	0,263 кНм	1,027 кНм
$M_{ext}^{yd}$ по диагонали	50,351 кНм	18,667 кНм
$M_{ext}^{yb}$ по большой оси	3,834 кНм	1,302 кНм
$M_{ext}^{za}$ по малой оси	- 18,706 кНм	- 18,426 кНм
$M_{ext}^{zd}$ по диагонали	- 22,06 кНм	- 19,011 кНм
$M_{ext}^{zb}$ по большой оси	- 19,47 кНм	- 17,827 кНм

а



б



**Изополя аэродинамических коэффициентов для угла атаки вдоль малой оси:**

а – для верхней поверхности оболочки;  
б – для нижней поверхности оболочки.

Изополя относительных давлений для угла атаки вдоль малой оси для наветренной и подветренной поверхностей оболочки приведены на рисунке.

Результаты расчета до «вспарушивания» (выгиба внутреннего опорного контура в вертикальной плоскости) и после «вспарушивания» согласно действующим нормам приведены в табл. 6.

Выберем наружный опорный контур двутаврового сечения. Площадь сечения контура  $F^{int} = 0,072 \text{ м}$ .

### Выводы

- На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований разработана приближенная методика расчета и проектирования исследуемых конструкций, позволяющая с погрешностью до 15...20 % определить параметры НДС в основных элементах и с погрешностью до 13...15 % установить их жесткостные характеристики на этапах предварительного расчета и вариантного проектирования конструкции.
- Предложенная методика апробирована при разработке проектных предложений по комплексной реконструкции центрального стадиона «Шахтер» (г. Донецк) и принята к включению в «Посібник до державних будівельних норм «Сталеві конструкції. Норми проектування і виготовлення».

[1] Андреева Г.Н. Гольденберг Л.И. Демьгина С.Н. и др. Мембранные конструкции зданий и сооружений под общей редакцией В.И. Трофимова и П.Г. Еремеева: Справочное пособие в 2-х частях – Москва.: Стройиздат, 1990. – 128 с.

[2] ДБН В.1.2-2:2006 Нагрузки и воздействия. – Взамен СНиП 2.01.07.85; Введ. 01.01.07. – Киев: Минстрой Украины, 2006. – 65 с.

Надійшла 28.08.2007 р.

## ЗАКРИТИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ БУРИЛЬНЫХ КОЛОНН В ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СКВАЖИНАХ

На основе постановки прямой и обратной задачи механики криволинейных гибких стержней сформулированы уравнения баланса внутренних и внешних сил, действующих на бурильную колонну при ее деформировании в цилиндрической скважине. Рассмотрены критические состояния ее упругого равновесия, получены аналитические соотношения для вычисления предельных значений нагрузок.

The equations of balance of external and internal forces acting on a drill string in cylindrical borehole are formulated on the basis of statement of direct and inverse problems of curvilinear flexible rod mechanics. The critical states of its elastic equilibrium are considered, the analytical correlations are deduced for the limit load values calculation.

**Ключевые слова:** криволинейные бурильные колонны, обратные задачи, критические состояния, неустойчивое равновесие.

**В** последние годы все более актуальной становится проблема бурения сверхглубоких нефтяных и газовых скважин. Наиболее распространенным способом их создания является роторный, при котором разрушение породы на дне скважины осуществляется долотом, подвешенным к нижнему концу бурильной колонны (БК), вращающейся за счет приложения к ее верхнему концу крутящего момента. В процессе бурения БК подвергается воздействию ряда силовых факторов, среди которых наиболее существенными оказываются неравномерная по длине сила натяжения БК, крутящий момент, вызванные движением внутреннего потока промывочной жидкости центробежные и кориолисовы силы инерции, силы фрикционного взаимодействия колонны со стенкой скважины и др. Перечисленные факторы способствуют возникновению в колонне продольных, торсионных и изгибных колебаний и ее изгибному выпучиванию, в результате чего возможны захваты трубы БК, обрушение стенок скважины и общая потеря устойчивости системы. Учитывая, что стоимость проходки современных глубоких нефтяных и газовых скважин превышает 50 млн. долларов США [1], а аварийной оказывается каждая третья скважина, можно отметить, что проблема теоретического моделирования указанных явлений является весьма острой.

Начало исследованиям закритических состояний БК с учетом их контактного взаимодействия со стенками скважины было положено А. Любинским в 50-х годах прошлого века. Позже его методика была освещена в монографии [2]. Она базируется на существенном упрощении задачи, основанном на пренебрежении вращением, крутящим моментом, граничными условиями и предположении, что осевая сжимающая сила является постоянной по длине



**В.И. Гуляев**  
заведующий кафедрой высшей математики Национального транспортного университета, заслуженный деятель науки и техники Украины, д.т.н., профессор



**С.Н. Худолій**  
доцент кафедры высшей математики Национального транспортного университета, к.т.н.



**Л.В. Гловач**  
аспирантка кафедры высшей математики Национального транспортного университета

бесконечного стержня. Принимается, что в результате потери устойчивости БК принимает форму цилиндрической спирали и, вследствие этого, по всей своей длине соприкасается со стенкой скважины. В дальнейшем в работах [3–6] этот подход был обобщен на случай действия крутящего момента, учета граничных условий и некоторых других частных факторов. В данной работе эта проблема решается путем постановки обратных задач теории нелинейного деформирования гибких криволинейных стержней.

**Постановка задачи.** Сформулируем задачу об упругом деформировании трубчатого стержня радиуса  $a_1$  внутри цилиндрической полости радиуса  $a_2$ . Будем считать стержень и полость достаточно длинными и поэтому влиянием граничных условий пренебрегаем.

Пусть геометрия стержня в декартовой системе координат  $Oxyz$  (рис. 1) задается уравнениями

$$x = x(s), y = y(s), z = z(s), \quad (1)$$

где  $s$  – координата, измеряемая длиной осевой линии от некоторой начальной точки до текущей. Введем также правую подвижную систему координат  $(u, v, w)$ , жестко связанную с рассматриваемым поперечным сечением.

С осевой линией стержня свяжем также подвижный триедр  $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$ , в котором  $\vec{t}$  – орт касательной,  $\vec{n}$  – орт нормали (направленной к центру кривизны кривой),  $\vec{b}$  – орт бинормали. Для этих ортов справедливы равенства [7]

$$\vec{t} = d\vec{r}/ds, \quad \vec{n} = R d\vec{t}/ds, \quad \vec{b} = \vec{n} \times \vec{t}, \quad (2)$$

где  $\vec{r}$  – радиус-вектор точки осевой линии;  $R$  – радиус кривизны.

Взаимная ориентация главного  $(u, v, w)$  и естественного  $(\vec{t}, \vec{n}, \vec{b})$  трехгранников при их движении вдоль упругой линии стержня определяется углом  $\alpha$  между осью  $u$  и ортом  $\vec{n}$ , отсчитываемым от  $\vec{n}$  к  $u$ . Тогда кривизны проекции элемента  $ds$  на плоскости  $(v, w)$ ,  $(u, w)$  и кручение осевой линии стержня вычисляются так:

$$p = \frac{1}{R} \sin \alpha, \quad q = \frac{1}{R} \cos \alpha, \quad r = \frac{1}{T} \frac{d\alpha}{ds}. \quad (3)$$

При рассмотрении равновесного деформированного состояния БК в прямолинейной цилиндрической скважине полагаем, что она испытывает действие внешних распределенных сил контактного взаимодействия  $f_u, f_v$ . В данном случае считаем, что силы трения равны нулю, поэтому  $f_w = 0$ . Внешние силы уравновешиваются внутренними перерезывающими ( $F_u, F_v$ ) и продольной ( $F_w$ ) силами, а также моментами

$$M_u = Ap, \quad M_v = Bq, \quad M_w = Cr. \quad (4)$$

Здесь  $A = EI_a$ ;  $C = GI_p$ ;  $E, G$  – модуль упругости и сдвига материала стержня;  $I_a = I_u = I_v$  – осевые моменты инерции сечения стержня;  $I_p = I_w$  – полярный момент инерции.

Рассматривая равновесие элемента стержня, получим векторные уравнения баланса силы моментов

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{F}}{ds} &= \vec{F} \times \vec{f}, \\ \frac{d\vec{M}}{ds} &= \vec{M} \times \vec{r} + \vec{F} \times \vec{m}. \end{aligned} \quad (5)$$

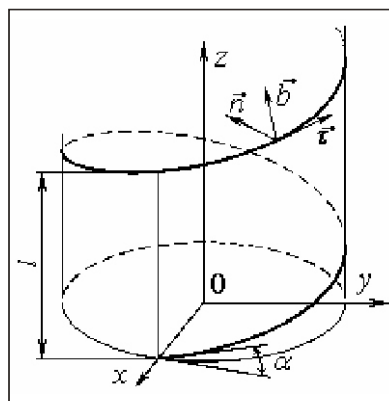


Рис. 1. Расчетная схема деформированной буровой колонны

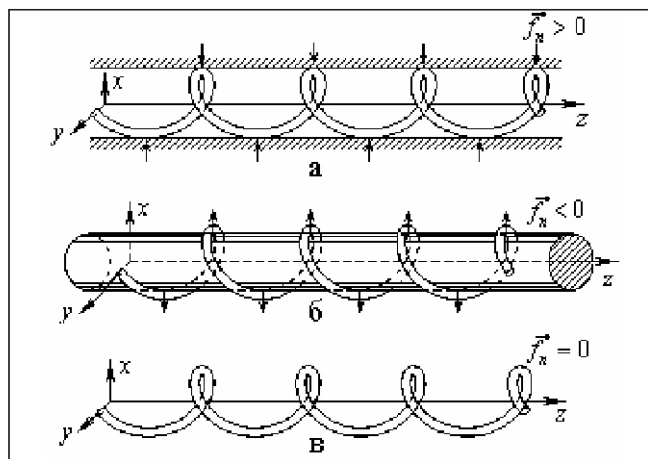


Рис. 2. Схемы спирального деформирования стержней в закрытых состояниях

Считаем, что в результате действия на прямолинейный стержень заданного крутящего момента  $M_w^0$  он искривился, вступил в контакт со стенкой цилиндрической полости и его осевая линия приняла спиральную форму (рис. 2, а)

$$\begin{aligned} x &= a \cos(s \cos \alpha / a), \\ y &= a \sin(s \cos \alpha / a), \\ z &= s \sin \alpha, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\alpha$  – угол подъема спирали,  $a = a_2 - a_1$ .

На основании (6) имеем

$$R = a / \cos^2 \alpha, \quad T = a / (\sin \alpha \cos \alpha). \quad (7)$$

Из последних равенств (3), (4) и условия  $M_w = M_w^0 = const$  получаем

$$r = M_w^0 / C = \frac{1}{T} \frac{d\alpha}{ds}, \quad (8)$$

$$\frac{d\alpha}{ds} = \frac{M_w^0}{C} \frac{1}{T} = \frac{M_w^0}{C} \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{a}.$$

Тогда  $\alpha = \alpha(s)$ , где  $\alpha(0) = \alpha_0$  ( $M_w^0 / C \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 / a$ ).

С помощью полученных соотношений строим выражения для параметров кривизны и кручения осевой линии спирального стержня и для внутренних моментов в нем.

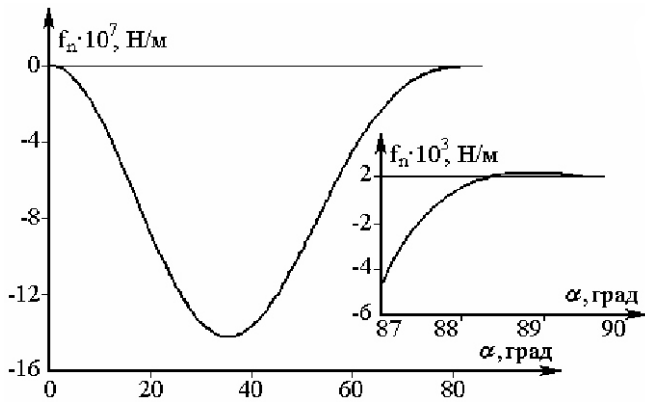


Рис. 3. График зависимости силы контакта  $f_n(\alpha)$  при:  $a = 0,15$  м,  $F_w^0 = -10^5$  Н,  $M_w^0 = -10^5$  Нм

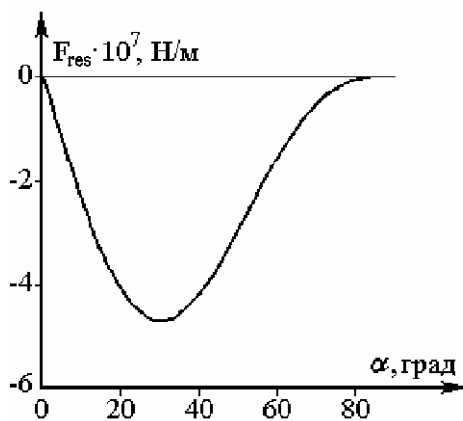


Рис. 4. График зависимости перерезывающей силы  $F_{res}(\alpha)$  при:  $a = 0,15$  м,  $F_w^0 = -10^5$  Н,  $M_w^0 = -10^5$  Нм

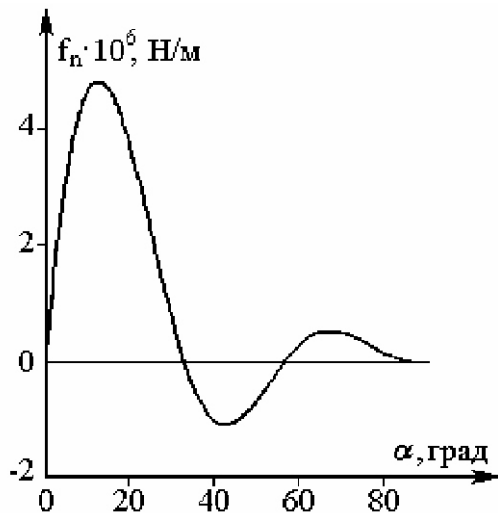


Рис. 5. График зависимости силы контакта  $f_n(\alpha)$  при:  $a = 0,15$  м,  $F_w^0 = 0$ ,  $M_w^0 = 10^7$  Нм

Подставляя найденные значения величин  $p$ ,  $q$ ,  $r$ ,  $M_u$ ,  $M_v$ ,  $M_w$  в уравнения (5), вычисляем перерезывающие силы

$$F_u^0 = A M_w^0 \frac{A}{C} M_w^0 \frac{\cos^2}{a} \sin s, \quad (9)$$

$$F_v^0 = A M_w^0 \frac{A}{C} M_w^0 \frac{\cos^2}{a} \cos s.$$

Поскольку  $F_u$  и  $F_v$  взаимно перпендикулярны, можно найти результирующую перерезывающую силу

$$F_{res} = A M_w^0 \frac{A}{C} M_w^0 \frac{\cos^2}{a}. \quad (10)$$

Располагая величинами  $p$ ,  $q$ ,  $r$ ,  $F_u$ ,  $F_v$ , с помощью уравнений (5) находим внешние силы

$$f_u = A M_w^0 \frac{A}{C} M_w^0 \frac{M_w^0}{C} F_u^0 \frac{\cos^2}{a} \cos s,$$

$$f_v = A M_w^0 \frac{A}{C} M_w^0 \frac{M_w^0}{C} F_u^0 \frac{\cos^2}{a} \sin s,$$

$$f_w = 0. \quad (11)$$

Из (11) вытекает, что внешняя распределенная сила  $f_n$ , действующая на деформированный стержень в форме спирали с заданным радиусом  $a$  направляющей цилиндрической поверхности, зависит от приложенного крутящего момента  $M_w^0$  и угла подъема спирали. Значения этих величин, при которых  $f_n = 0$  ( $f_n$  и  $\vec{n}$  направлены одинаково), соответствуют случаю, когда система сил  $F_u^0$ ,  $F_v^0$ ,  $f_n$  и момента  $M_w^0$  находится в равновесии и стенка полости препятствует увеличению радиуса  $a$  спирали (см. рис. 2, а). При этом спираль находится в равновесии за счет стенки полости, на которую она оказывает давление  $f_n$ . Ситуация, в которой  $f_n < 0$  ( $f_n$  и  $\vec{n}$  направлены противоположно), реализуется в случае намотки стержня на цилиндрическое тело (рис. 2, б). Если это тело убрать, то изогнутый в виде спирали стержень под действием заданной системы сил и момента  $M_w^0$  вернется в исходное недеформированное состояние и примет прямолинейную форму, которая является устойчивой. Случай  $f_n = 0$  является критическим (рис. 2, в), в нем стержень находится в безразличном равновесном состоянии.

**Результаты исследований.** Результаты расчетов в обобщенной форме при  $a = 0,15; 0,2$  и  $0,3$  м приведены в таблице для трубчатого стержня с радиусами сечения  $r_1 = 0,08415$  м,  $r_2 = 0,07415$  м из материала с упругими характеристиками  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $G = 7,692 \cdot 10^{10}$  Па.

**Критические значения параметров буровых колонн**

№	$a$ , (м)	$F_w^0$ , (Н)	$M_w^0$ , (Нм)	$\kappa_p$ , (град)	$l_{kp}$ , (М)	$\alpha^{\max}$ , (град.)	$f_n^{\max}$ , (Н/м)	$F_{res}^{\max}$ , (Н/м)
1	0,15	0	$10^3$	–	–	–	–	–
2	0,15	$-10^4$	$10^4$	89,51	111,11	89,66	1,23	–
3	0,15	$-10^5$	$10^5$	88,36	32,96	88,83	146,69	2,05
4	0,15	$-10^6$	$10^6$	83,72	8,57	85,50	25788	2062
5	0,15	0	$-10^3$	–	–	–	–	–
6	0,15	$-10^4$	$-10^4$	89,53	115,38	89,68	1,06	–
7	0,15	$-10^5$	$-10^5$	88,61	38,95	89,03	89,59	–
8	0,15	$-10^6$	$-10^6$	86,38	14,91	87,48	5484	–
9	0,15	0	$10^4$	–	–	–	–	–
10	0,15	0	$10^5$	89,73	200,00	89,80	$4,46 \cdot 10^{-2}$	2,05
11	0,15	0	$10^6$	87,37	20,53	88,04	447,06	2062
12	0,15	0	$10^7$	32,98 57,01	0,61 1,45	12,76 67,54	$4,81 \cdot 10^7$ $5,20 \cdot 10^6$	$6,67 \cdot 10^7$ $2,31 \cdot 10^6$
13	0,15	$-10^4$	0	89,51	111,11	89,66	1,14	–
14	0,15	$-10^5$	0	88,49	35,71	88,97	113,74	–
15	0,15	$-10^6$	0	85,23	11,29	86,63	$1,15 \cdot 10^4$	–
16	0,15	$-10^7$	0	74,22	3,33	79,02	$1,18 \cdot 10^6$	–
17	0,15	$10^2$	$10^4$	–	–	–	–	–
18	0,15	$10^3$	$10^5$	–	–	–	–	2,05
19	0,15	$10^4$	$10^6$	87,46	21,26	88,09	371,03	2062
20	0,2	0	$10^3$	–	–	–	–	–
21	0,2	$-10^4$	$10^4$	89,35	111,11	89,53	1,64	–
22	0,2	$-10^5$	$10^5$	87,82	33,04	88,45	195,67	2,75
23	0,2	$-10^6$	$10^6$	81,58	8,49	83,97	$3,46 \cdot 10^4$	2751
24	0,2	$-10^4$	0	89,37	114,28	89,55	1,52	–
25	0,2	$-10^5$	0	88,00	36,02	88,58	152,31	–
26	0,2	$-10^6$	0	83,63	11,25	85,50	$1,53 \cdot 10^4$	–
27	0,2	$-10^7$	0	67,86	3,09	74,92	$1,63 \cdot 10^6$	–
28	0,3	0	$10^3$	–	–	–	–	–
29	0,3	$-10^4$	$10^4$	89,06	115,37	89,32	2,47	–
30	0,3	$-10^5$	$10^5$	86,71	32,80	87,68	293,77	4,12
31	0,3	$-10^6$	$10^6$	77,12	8,24	80,84	$5,26 \cdot 10^4$	4136
32	0,3	$-10^4$	0	89,04	113,20	89,33	2,28	–
33	0,3	$-10^5$	0	87,00	35,90	87,88	228,67	–
34	0,3	$-10^6$	0	80,33	11,07	83,21	$2,32 \cdot 10^4$	–
35	0,3	$-10^7$	0	–	–	–	–	–



Прокомментируем их на основе зависимостей  $f_n(\alpha)$  (рис. 3) и  $F_{res}(\alpha)$  (рис. 4) для случая  $a = 0,15$  м,  $F_w^0 = 10^5$  Н,  $M_w^0 = 10^5$  Н·м (поз. 3 в таблице). Как следует из графиков, угол  $\alpha_{кр} = 88,4^\circ$  является критическим, поскольку при этом значении переменная  $f_n(\alpha)$  оказалась равной нулю. Область  $\alpha < \alpha_{кр}$ , соответствующая силам  $f_n < 0$ , реализуется в устойчивых состояниях стержня, в них упругая спираль расправляется и принимает исходную прямолинейную форму. Как следует из рис. 3, для их поддержания необходимо прикладывать очень большие отрицательные силы  $f_n$ , при этом в стержне возникают большие изгибающие моменты  $M_u, M_v$ . Случаи  $f_n > 0$  являются закритическими, в них спиральный стержень силой  $F_w^0$  и моментом  $M_w^0$  прижимается к стенке полости и на линии контакта формируется сила трения  $f_n$ , где  $\mu = 0,2$  – коэффициент трения скольжения. Если сила  $F_w^0$  и момент  $M_w^0$  могут преодолеть возникшую силу трения, то стержень может перемещаться и поворачиваться в полости, в противном случае реализуется так называемый прихват.

С помощью графика на рис. 3 найдено значение  $\alpha_{max} = 88,83^\circ$ , при котором сила  $f_n$  нормального давления на стенку полости достигает максимального значения  $f_n^{max} = 146,7$  Н/м. В этом случае максимальная распределенная сила трения равна 29,3 Н/м, хотя перерезывающая сила  $F_{res}^{max} = 2,05$  Н – небольшая.

Шаг осевой линии спирали подсчитывается с помощью равенства  $l_{кр} = 2 a \operatorname{tg} \alpha$ . В критическом состоянии он равен  $l_{кр} = 32,96$  м.

С уменьшением  $F_w^0, M_w^0$  (поз. 2 в таблице) закритическое состояние достигается при большем значении угла  $\alpha$  с большим шагом  $l_{кр}$  и меньших силах  $f_n$  и  $F_{res}$ . Если  $F_w^0 = 0, M_w^0 = 10^3$  Нм (поз. 1), критические состояния не реализуются вообще.

В случаях, когда осевая сила  $F_w^0 = 0$  и деформирование осуществляется только за счет крутящего момента  $M_w^0$  (поз. 9–12), зависимости  $f_n, F_{res}(\alpha)$  несколько усложняются и на них появляются два критических значения  $\alpha_{кр}$  (рис. 5 для поз. 12), из которых, однако, только большее представляет практический интерес. Для соответствующих величин  $M_w^0$  шаги осевой линии спирали увеличиваются, а возникающие силовые факторы  $f_n^{max}, F_{res}^{max}$  уменьшаются.

Преднапряжение стержня растягивающей силой  $F_w^0$  связано со стабилизацией его равновесных состояний (поз. 17–19). В этом случае его

потеря устойчивости происходит при довольно большом моменте  $M_w^0 = 10^6$  Нм с шагом спирали  $l_{кр} = 21,26$  м и малым значением  $f_n^{max} = 371,03$  Н/м.

Увеличение радиуса осевой линии спирали до  $a = 0,2$  м (поз. 20–27) приводит к уменьшению значений критического угла  $\alpha_{кр}$  и некоторому увеличению сил контактного взаимодействия  $f_n^{max}$ . Эта тенденция оказывается более заметной при увеличении радиуса  $a$  до 0,3 м (поз. 28–35).

### Выводы.

- На основе теории гибких криволинейных стержней поставлена обратная задача о теоретическом моделировании закритических состояний бурильных колонн в цилиндрических полостях нефтяных и газовых скважин.
- Построены аналитические решения задачи, определяющие критические значения внешней растягивающей или сжимающей продольной силы и крутящего момента при заданной разности диаметров полости и бурильной колонны, установлены зоны закритических состояний БК.
- Полученные решения могут быть использованы для прогнозирования критических и закритических состояний бурильных колонн как в вертикальных, так и в наклонно-направленных нефтяных и газовых скважинах.

- 
- [1] *Iyoho A.W., Meize R.A., Millheim K.K., Crumrine M.J.* Lessons from integrated analysis of GOM drilling performance // SPE Drilling & Completion, 2005. – V. 20. – № 3. – P. 6–16.
  - [2] *Lubinski A.* Developments in Petroleum Engineering, V.1 Houston, TX, USA: Gulf Publishing Company, 1987. – 438 p.
  - [3] *Chao Sun, Stanislaw Lukasiewicz.* A new model on the buckling of a rod in tubing // Journal of Petroleum Science and Engineering, 2006. – V.50. – P. 78–82.
  - [4] *Cunha J.C.* Buckling of tubulars inside wellbores: a review on recent theoretical and experimental works // SPE Drilling & Completion, 2004. – V. 19. – № 1. – P. 13–19.
  - [5] *Robert F. Mitchell, Stefan Miska.* Helical buckling of pipe with connectors and torque // SPE Drilling & Completion, 2006. – V. 21. – № 2. – P. 108–115.
  - [6] *Robert F. Mitchell.* The twist and shear of helically buckled pipe // SPE Drilling & Completion, 2004. – V.19. – № 1. – P. 20–28.
  - [7] *Гуляев В.И., Гайдайчук В.В., Соловьев И.Л., Горбунович И.В.* Квазистатические критические состояния колонн глубокого бурения // Проблемы прочности. – 2006. – № 5. – С. 109–119.

Надійшла 08.10.2007 р. 

УДК 539.3

## НОВИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ТЕОРІЇ РОЗРАХУНКУ ВИСЯЧИХ СИСТЕМ СКІНЧЕННОЇ ЖОРСТКОСТІ

Розроблений підхід до розрахунку криволінійного стрижня з перемінною жорсткістю. Отримані рівняння рівноваги елементів системи скінченної жорсткості з урахуванням просторового зовнішнього навантаження. Для досліджень використаний метод скінченних різниць.

The approach for calculation of the curvilinear bar with variable rigidity has been developed. The equilibrium equations of elements in finite rigidity system with taking into consideration the spatial external loading have been derived. The finite differences method for researches was used as well.

**Ключові слова:** криволінійний стрижень, метод скінченних різниць, рівняння рівноваги.

Останнім часом у світовій практиці будівництва набули широкого застосування висячі конструкції, основним несучим елементом яких є нитки. Ці системи мають як переваги, так і недоліки. До переваг можна віднести малу чутливість до різних перевантажень, сейсмічних впливів, переміщень і нерівномірного зсуву опор, до недоліків – підвищену деформативність. Для вирішення цієї проблеми застосовуються висячі системи скінченної жорсткості, розрахунковою моделлю яких є нитки скінченної жорсткості.

В якості основного елемента висячої системи розглянемо стрижень двоякої кривини і перемінної жорсткості  $D_y$ ,  $D_z$  (рис. 1), який зна-

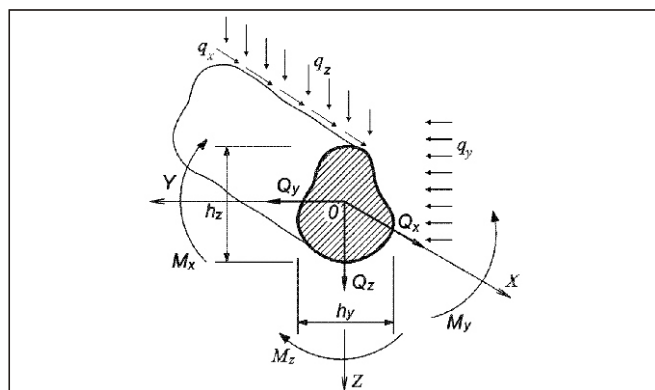


Рис. 1. Розрахункова схема стрижня



**Г.В. Ленда**  
аспірантка  
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція  
ім. В.М. Шимановського»



**Б.М. Лисицин**  
провідний науковий співробітник  
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція  
ім. В.М. Шимановського»,  
д.т.н., професор

ходиться під дією розподілених у трьох взаємоперпендикулярних напрямках навантажень інтенсивністю  $q_x(x, z)$ ,  $q_y(x, z)$ ,  $q_z(x, y)$ . До початку навантаження усі внутрішні зусилля в стрижні відсутні.

Припустимо, що до навантаження вісь стрижня (рис. 2) в площині  $XOZ$  задана функцією  $z = f(x)$ , а в площині  $XOY$  – функцією  $y = \varphi(x)$ , при цьому висота стрижня по відношенню до радіусів кривини  $R_{XOZ}$ ,  $R_{XOY}$  знаходиться у межах  $h < 1/5$ , а співвідношення довжини стрижня до стріли прогину –  $l/f > 20$ . Такі вихідні передум-

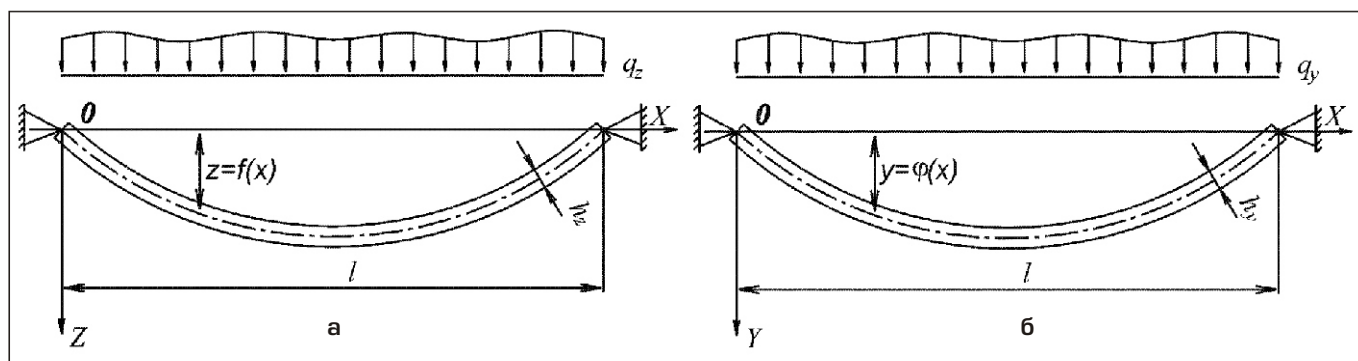


Рис. 2. Розрахункова схема стрижня в площинах  $XOZ$  (а) і  $XOY$  (б)

мови дозволяють із достатнім ступенем точності застосувати основні залежності між компонентами напружено-деформованого стану прямого стрижня [1, 2], у т.ч. формули, що зв'язують згинальні моменти з переміщеннями,

$$M_y = D_y \frac{d^2 W}{dx^2}; M_z = D_z \frac{d^2 V}{dx^2}. \quad (1)$$

Застосуємо принцип незалежності дії сил і припустимо, що погонна інтенсивність розподілених навантажень не змінюється при зміні форми стрижня. У перерізах стрижня, перпендикулярних до осі  $OX$ , розглянемо дію результуючих зосереджених внутрішніх сил  $F_x, F_y, F_z$  і згинальних моментів  $M_x, M_y, M_z$ .

**Рівняння рівноваги.** В площині  $XOZ$  (рис. 3) стрижень знаходиться під впливом навантажень  $q_x(x, z)$  і  $q_z(x, y)$ . Умову рівності нулю суми моментів відносно осі  $OY$  записуємо у виді

$$M_y = M_y + M_y \frac{dM_y}{dx} dx + F_z \frac{dF_z}{dx} dx dx$$

$$F_x \frac{dF_x}{dx} dx + f \frac{df}{dx} dx + W \frac{dW}{dx} dx + f W$$

$$M_y(q_z) - M_y(q_x) = 0,$$

де  $M_y(q_z), M_y(q_x)$  – моменти від навантажень  $q_z, q_x$  відносно осі  $OY$ .

Із цього рівняння після приведення подібних і нехтування членами більш високого порядку малості отримаємо

$$F_z \frac{dM_y}{dx} - F_x \frac{dW}{dx} - \frac{df}{dx} = 0. \quad (2)$$

Суму проєкцій на вісь  $Z$  можна записати таким чином:

$$Z = F_z - F_z \frac{dF_z}{dx} dx + Z(q_z) = 0 \text{ або}$$

$$\frac{dF_z}{dx} - \frac{Z(q_z)}{dx} = 0, \quad (3)$$

де  $Z(q_z)$  – проєкція навантаження  $q_z(x)$  на вісь  $OZ$ .

Із рівняння (2) після його диференціювання одержимо вираз

$$\frac{dF_z}{dx} \frac{d^2 M_y}{dx^2} - \frac{dF_x}{dx} \frac{dW}{dx} - F_x \frac{d^2 W}{dx^2} - \frac{dF_x}{dx} \frac{df}{dx} - F_x \frac{d^2 f}{dx^2},$$

після підстановки якого в (3) і врахування (1) прийдемо до першого рівняння рівноваги стрижня з функцією  $W(x)$  в якості невідомої:

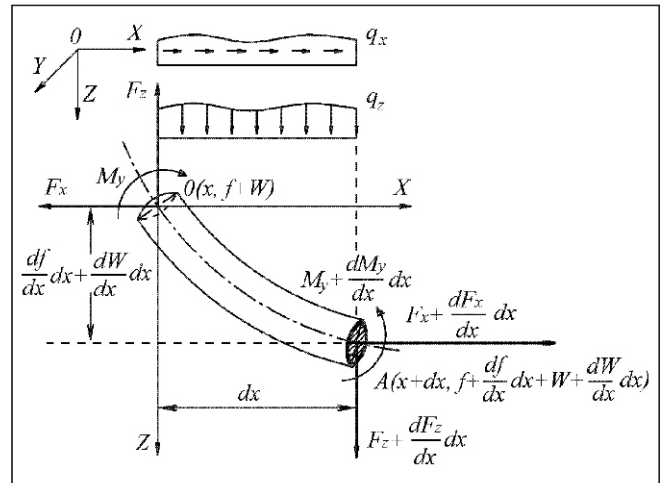


Рис. 3. Вигин стрижня у вертикальній площині

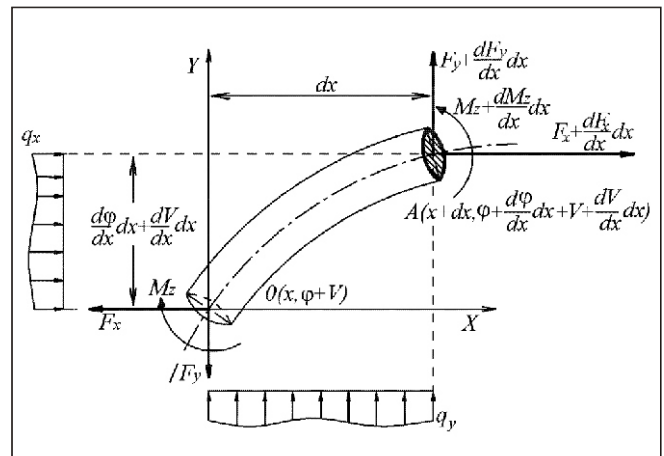


Рис. 4. Вигин стрижня в горизонтальній площині

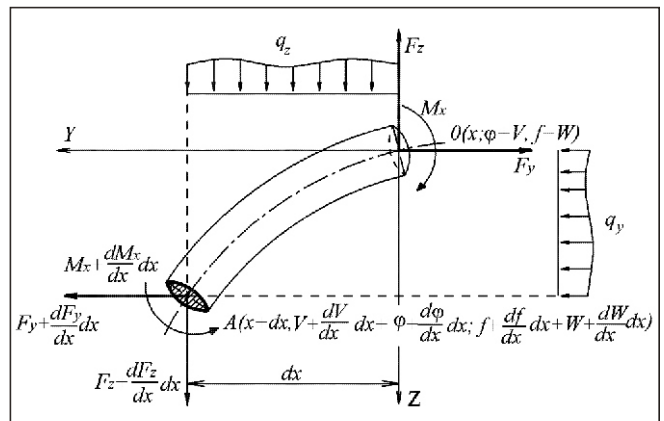


Рис. 5. Деформація стрижня в площині YOZ

$$D_y \frac{d^4 W}{dx^4} - 2 \frac{dD_y}{dx} \frac{d^3 W}{dx^3} - \frac{d^2 D_y}{dx^2} F_x \frac{d^2 W}{dx^2} - \frac{dF_x}{dx} \frac{dW}{dx} - F_x \frac{d^2 f}{dx^2} - \frac{dF_x}{dx} \frac{df}{dx} - \frac{Z(q_z)}{dx} = 0. \quad (4)$$

Відзначимо, що останнє рівняння зводиться до відомого рівняння [3]

$$\frac{d^4 W}{dx^4} - \frac{H}{EI} \frac{d^2 W}{dx^2} - \frac{q}{EI} = 0$$

у випадку постійних жорсткості  $D_y = EI$ , розпору  $F_x = H$  і вертикального навантаження

$$q_z = q \frac{Z(q_z)}{dx} - \frac{q dx}{dx} = q \cdot$$

Під впливом горизонтального навантаження  $q_y(x, z)$  стрижень деформується у площині  $XOY$  (рис. 4). Із рівняння

$$M_z = M_z + M_z \frac{dM_z}{dx} dx - F_y \frac{dF_y}{dx} dx = dx$$

$$F_x \frac{dF_x}{dx} dx = \frac{d}{dx} dx - V \frac{dV}{dx} dx = V$$

$$M_z(q_y) = M_z(q_x) = 0$$

після аналогічних спрощень отримаємо

$$F_y \frac{dM_z}{dx} - F_x \frac{dV}{dx} - F_x \frac{d}{dx} \quad (5)$$

або

$$\frac{dF_y}{dx} - \frac{d^2 M_z}{dx^2} - \frac{dF_x}{dx} \frac{dV}{dx} - F_x \frac{d^2 V}{dx^2} - \frac{dF_x}{dx} \frac{d}{dx} - F_x \frac{d^2}{dx^2},$$

де  $V(x)$  – функція прогинів у площині  $XOY$ .

Підставимо вираз (5) у рівняння

$$Y = F_y - F_y \frac{dF_y}{dx} dx - Y(q_y) \frac{dF_y}{dx} - Y(q_y) = 0$$

і отримаємо

$$\frac{d^2 M_z}{dx^2} - \frac{dF_x}{dx} \frac{dV}{dx} - F_x \frac{d^2 V}{dx^2} - \frac{dF_x}{dx} \frac{d}{dx} - F_x \frac{d^2}{dx^2} - \frac{Y(q_y)}{dx} = 0.$$

Після підстановки у це рівняння виразу (1) одержимо друге рівняння рівноваги стрижня з функцією  $V(x)$  в якості невідомої:

$$D_z \frac{d^4 V}{dx^4} - 2 \frac{dD_z}{dx} \frac{d^3 V}{dx^3} - \frac{d^2 D_z}{dx^2} - F_x \frac{d^2 V}{dx^2} - \frac{dF_x}{dx} \frac{dV}{dx} - \frac{Y(q_y)}{dx} - F_x \frac{d^2}{dx^2} - \frac{dF_x}{dx} \frac{d}{dx} \quad (6)$$

Третє рівняння рівноваги отримаємо з умови рівності нулю суми моментів відносно осі  $OX$  (рис. 5):

$$M_x = M_x + M_x \frac{dM_x}{dx} dx$$

$$F_y \frac{dF_y}{dx} dx = f \frac{df}{dx} dx - W \frac{dW}{dx} dx = f - W$$

$$F_z \frac{dF_z}{dx} dx = V \frac{dV}{dx} dx = \frac{d}{dx} dx - V$$

$$M_x(q_z) = M_x(q_y) = 0.$$

Звідси після спрощень, приведення подібних і нехтування членами більш високого порядку малості маємо:

$$\frac{dM_x}{dx} - \frac{dM_y}{dx} - \frac{dV}{dx} - \frac{d}{dx} - \frac{dM_z}{dx} - \frac{dW}{dx} - \frac{df}{dx} = 0. \quad (7)$$

Вважаючи, що величина  $M_x$  із достатнім ступенем точності виражає крутний момент у перерізах стрижня, підставимо в (6) вирази

$$M_x = D_{кр}(x) \frac{d}{dx}, M_y = D_y \frac{d^2 W}{dx^2}, M_z = D_z \frac{d^2 V}{dx^2},$$

де  $D_{кр}(x) = GI_p(x)$  – жорсткість при крутінні,  $\alpha$  – кут закручування перерізу, і отримаємо:

$$D_{кр} \frac{d^2}{dx^2} - \frac{dD_{кр}}{dx} \frac{d}{dx} - D_y \frac{d^3 W}{dx^3} - \frac{dV}{dx} - \frac{dD_y}{dx} \frac{d^2 W}{dx^2} - \frac{dV}{dx} - D_y \frac{d^3 W}{dx^3} - \frac{d}{dx} - \frac{dD_y}{dx} \frac{d^2 W}{dx^2} - \frac{d}{dx} - D_z \frac{d^3 V}{dx^3} - \frac{dW}{dx} - \frac{dD_z}{dx} \frac{d^2 V}{dx^2} - \frac{df}{dx} - \frac{dD_z}{dx} \frac{d^2 V}{dx^2} - \frac{df}{dx}. \quad (8)$$

Рівняння (4), (6), (8) являють собою систему трьох рівнянь рівноваги кривого стрижня перемінного перерізу під дією довільно орієнтованого в просторі навантаження. У ці рівняння входять три невідомих: два переміщення  $W, V$  і кут повороту за умови, що функція  $F_x$  (розпір) попередньо визначена. Для знаходження величини  $F_x$  зручно застосувати метод сил і потім використати рівняння

$$X = F_x - F_x \frac{dF_x}{dx} dx - X(q_x) = 0, \quad (9)$$

з якого при  $x = a$  випливає

$$F_x = \int_0^a X(q_x) dx + C. \quad (10)$$

Якщо відоме значення  $F_x = F_0$  при  $x = 0$ , то  $C = F_0$ .

Для розв'язання рівнянь (4), (6), (8) застосуємо метод скінченних різниць: спочатку з (4),

у якому права частина включає відомі величини  $F_x, dF_x/dx, df/dx, d^2f/dx^2$  і  $Z(q_z)$ , визначимо переміщення  $W(x)$ , потім із (6) – переміщення  $V(x)$  і, нарешті, після підстановки вже відомих значень  $W(x), V(x)$  і похідних цих функцій в обраних вузлах у рівняння (8) обчислимо значення  $(x)$ . При цьому необхідно пам'ятати, що диференціальні рівняння (4), (6) вигину кривого стрижня включають похідні від функцій переміщень  $W(x), V(x)$  до четвертого порядку включно, тому в граничних вузлах  $x = 0, x = l$  повинні бути задані по дві граничні умови. Для вирішення рівняння (8) у кожному граничному вузлі досить задати значення функції  $(x)$  чи її першої похідної.

**Модель пружного затиснення стрижня.** У теорії вигину кривих стрижнів звичайно розглядаються три основних типи закріплення. Запишемо ці умови стосовно площини  $XOZ$  із функцією переміщень  $W(x)$  для перерізу  $x = 0$  (рис. 2):

– вільне обпирання

$$W = 0, M_x = D \frac{d^2W}{dx^2} = 0; \quad (11)$$

– жорстке затиснення

$$W = 0, \frac{dW}{dx} = 0; \quad (12)$$

– пружне затиснення

$$W = 0, \frac{dW}{dx} = M_x = D_y \frac{d^2W}{dx^2}, \quad (13)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що залежить від ступеня затиснення. Якщо затиснення достатньо тверде, величина  $\alpha$  зменшується й умова (13) для  $dW/dx$  наближається до (12). При збільшенні величина  $M_x = \frac{1}{\alpha} \frac{dW}{dx}$  зменшується і умова (13) стає ідентичною (11).

Розглянемо процедуру визначення коефіцієнта  $\alpha$  на прикладі стрижня малої кривини, коли вигин стрижня з достатньою точністю (жорсткість  $D_y$  постійна) описується рівнянням [2]

$$\frac{d^4W}{dx^4} = \frac{q}{D}. \quad (14)$$

Загальне рівняння (14) із урахуванням умов (11), (12) для  $W$  можна записати у виді

$$W = \frac{q}{24D_y}(x^4 - xl^3) + \frac{1}{6}C_1(x^3 - xl^2) + \frac{1}{2}C_2(x^2 - xl),$$

$$\text{звідки} \quad (15) \\ \frac{dW}{dx} = \frac{q}{24D_y}(4x^3 - l^3) + \frac{1}{6}C_1(3x^2 - l^2) + \frac{1}{2}C_2(2x - l);$$

$$\frac{d^2W}{dx^2} = \frac{dx^2}{2D_y} C_1x + C_2. \quad (16)$$

$$\text{Із (13) випливає, що} \quad \frac{d^2W}{dx^2} = D_y \frac{d^3W}{dx^3} \text{ і,}$$

так як  $D_y \frac{d^3W}{dx^3} = Q$ , одержимо:

$$\frac{d^2W}{dx^2} = Q. \quad (17)$$

Якщо навантаження  $q = \text{const}$  рівномірно розподілене по всьому прольоту  $l$ , то поперечні сили в опорних перерізах визначаються в такий спосіб:

$$Q_{x=0} = 0,5ql, Q_{x=l} = 0,5ql. \quad (18)$$

На підставі (16), (17) і з урахуванням (18) записуємо умови для опорних перерізів

$$x=0: \tilde{N}_2 = \frac{ql}{2}; x=l: \tilde{N}_1 = \frac{ql^2}{2D_y} - \tilde{N}_1l = \frac{ql}{2} - \frac{ql}{2},$$

$$\text{звідки} \quad \tilde{N}_2 = \frac{ql}{2}, \tilde{N}_1 = q - \frac{ql}{2D_y}. \quad (19)$$

Після підстановки виразів (15), (16) при  $x=0$  з урахуванням (19) у рівняння (13) одержимо вираз із величиною  $\alpha$  в якості невідомої  $\frac{D_y ql}{2} = \frac{ql^2}{12} - \frac{ql^3}{24D_y} = 0$ , звідки

$$\frac{(1 - \sqrt{13})l}{12D_y} = \frac{(1 - 3,6)l}{12D_y}. \quad (20)$$

Так як позитивні напрямки кута повороту і відповідного йому згинального моменту в перерізі  $x = 0$  збігаються, приймемо позитивне значення  $\alpha = 0,383 l/D_y$ .

При вирішенні граничної задачі для рівняння (4) в скінченних різницях його різницевий аналог записуємо в усіх внутрішніх вузлах, а також у граничному вузлі  $K$  (рис. 6) відповідно до (13) при пружному затисненні  $W_K = 0$ :

$$\frac{dW}{dx} \Big|_K = D_y \frac{d^2W}{dx^2} \Big|_K = 0,383l \frac{d^2W}{dx^2} \Big|_K. \quad (21)$$

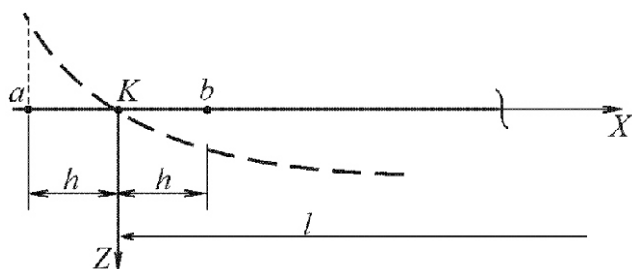


Рис. 6. До визначення похідної функції в кінцевих різницях

Підставивши в (21) відомі вирази для похідних у скінченних різницях, отримаємо:

$$\frac{dW}{dx} \Big|_K = \frac{W_b - W_a}{2h};$$

$$\frac{d^2W}{dx^2} \Big|_K = \frac{W_a - 2W_K + W_b}{h^2} = \frac{W_a - W_b}{h^2}.$$

Виражаючи величину прогину  $W_a$  в «за контурному» вузлі  $a$  через прогин  $W_b$  у внутрішньому вузлі  $b$ , прийдемо до співвідношення

$$W_a = \frac{1 - \frac{0,766l}{h}}{1 + \frac{0,766l}{h}} W_b. \quad (22)$$

Відзначимо, що при вільному обпиранні  $W_a = -W_b$ , а при жорсткому –  $W_a = W_b$ .

На підставі відомих значень  $W(x)$ ,  $V(x)$ ,  $(x)$  в обраних вузлах можна обчислити вузлові значення  $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$  та  $M_x^{(H)}, M_y^{(H)}, M_z^{(H)}$ , нормальну силу  $F_x^{(H)}$  і сили  $Q_y^{(H)}, Q_z^{(H)}$  у перерізах, перпендикулярних до осі деформованого стрижня. Приведемо необхідні формули без доказу (крутінням зневажаємо):

$$\begin{aligned} Q_x^{(H)} &= (F_x \cos(\alpha) - F_z \sin(\alpha)) \cos(\beta) - F_y \sin(\beta); \\ Q_y^{(H)} &= (F_x \cos(\alpha) - F_z \sin(\alpha)) \sin(\beta) + F_y \cos(\beta); \\ Q_z^{(H)} &= F_x \sin(\alpha) + F_z \cos(\alpha); \\ M_x^{(H)} &= (M_x \cos(\alpha) - M_z \sin(\alpha)) \cos(\beta) - M_y \sin(\beta); \\ M_y^{(H)} &= M_y \cos(\beta) + (M_x \cos(\alpha) - M_z \sin(\alpha)) \sin(\beta); \\ M_z^{(H)} &= M_z \cos(\alpha) + M_x \sin(\alpha), \end{aligned} \quad (23)$$

де кути  $(\alpha)$  і  $(\beta)$  задані функціями  $z = f(x)$ ,  $y = (x)$ , що описують координати точок осі кривого стрижня до прикладення зовнішнього навантаження, а кути  $(\alpha)$  і  $(\beta)$  визначаються вузловими значеннями шуканих функцій  $W(x)$  і  $V(x)$ . При необхідності роздільного включення функцій кутів у (23) застосовуємо відомі формули для функцій суми кутів. Наприклад, для кутів  $\alpha$  і  $\beta$  маємо:

$$\begin{aligned} \sin(\alpha + \beta) &= \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta; \\ \cos(\alpha + \beta) &= \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta. \end{aligned}$$

**Область застосовності пропонованої теорії.** Для оцінки області застосовності отриманих результатів розглянемо вирази для тригонометричних функцій кутів повороту перерізів стрижня через першу похідну функції відповідних переміщень на прикладі функції  $f(x)$  і кута  $(\alpha)$ :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{df}{dx}; \quad \sin \alpha = \frac{df}{dx} \sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2}; \\ \cos \alpha &= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2}}. \end{aligned} \quad (24)$$

Нехай вісь кривого стрижня до деформації в площині  $XOZ$  задана квадратною параболою  $f(x) = (4f_z/l)(x - x^2/l)$  і  $f_z = Kl$ .

Тоді  $df/dx = (4f_z/l)(1 - 2x/l)$  і максимальне значення  $(df/dx)_{\max} = 4f_z/l$

$$\frac{df}{dx} \Big|_{\max} = \frac{4f_z}{l} = \frac{4Kl}{l} = 4K, \quad (25)$$

так як на всьому напіввідкритому інтервалі  $(0, l]$  перемінна  $x$  приймає позитивні значення. Підставимо вираз (25) під знак кореня

$\sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2} = \sqrt{1 + (4K)^2} = \sqrt{1 + 16K^2}$ . Якщо знехтувати величиною  $(df/dx)^2$ , то формули (24) матимуть вид:  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{df}{dx}$ ,  $\cos \alpha = 1$ . При цьому відносна похибка значення  $\sqrt{1 + (df/dx)^2}$  по відношенню до точного значення складе

$$\frac{\sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2} - \sqrt{1 + 0}}{\sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2}} = 100 \frac{\sqrt{1 + 16K^2} - 1}{\sqrt{1 + 16K^2}} = 100 \frac{1}{\sqrt{1 + 16K^2}}.$$

Значення похибки в залежності від співвідношення  $f_z/l$  наведені в таблиці.

**Відносні похибки значень**

$f_z/l$	1	0,5	0,25	0,1	0,075	0,05	0,025	0,01
%	75,8	55,2	29,3	7,2	4,15	1,94	0,50	0,08

У такому випадку, якщо вважати припустимою похибку 5 %, формули (23) можна застосовувати в дуже спрощеному виді для кривих стрижнів із початковою стрілою прогину (до навантаження)  $f \approx l/12$  із урахуванням переміщень від зовнішніх навантажень. Аналогічними є результати аналізу стрижня, вісь якого описана по дузі кола.

Формули (1) також є результатом спрощення точної формули, що пов'язує функцію прогинів стрижня з його жорсткістю і згинальним моментом. У площині XOZ для прогинів  $W(x)$  ця формула має вид [4]:

$$M_y = \sqrt{1 + \frac{D_y}{\frac{dW}{dx}}^2} \frac{d^2W}{dx^2}, \quad (26)$$

тобто формула (1) для  $M_y$  впливає з (26) при  $(dW/dx)^2 = 0$ . Аналіз, подібний приведенному вище, свідчить, що спрощення формули (26) до виду (1) призводить до похибки менше 5 % при максимальному прогині стрижня  $W < l/20$ .

**Висновки.** Таким чином, результати дослідження можуть цілком обґрунтовано застосовуватися для розрахунку елементів висячих систем скінченної жорсткості в широкому діапазоні конструктивних форм, схем навантаження і жорсткісних характеристик.

- [1] Шимановский А.В., Оглобля А.И. Теория и расчет несущих элементов большепролетных пространственных конструкций. – К.: Сталь, 2002. – 368 с.
- [2] Биргер И.А., Пановко Я.Г. и др. Прочность, устойчивость, колебания. – Т.1. – М.: Машиностроение, 1968. – 831 с.
- [3] Качурин В.К. Статический расчет вантовых систем. – Л.: Стройиздат, 1969. – 141 с.
- [4] Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Гостехиздат, 1962. – 856 с.
- [5] Карякин Н.И. Основы расчета тонкостенных конструкций. – М.: Высш. шк., 1960. – 239 с.
- [6] Щедров В.С. Основы механики гибкой нити. – М.: Машгиз, 1961. – 172 с.

Надійшла 21.01.2008 р.

УДК 539.37

## РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ СИСТЕМ

Предлагается численно-аналитический метод расчета напряженно-деформированного состояния, колебаний и устойчивости нелинейно деформируемых (физически, геометрически, конструктивно и пр.) пространственных стержневых и континуальных систем, а также методов их оптимизации.

**Ключевые слова:** пространственные стержневые и континуальные системы, физическая нелинейность.

При решении задач расчета строительных конструкций с физической нелинейностью в большинстве известных исследований применяется гипотеза о нелинейно-упругом материале, согласно которой диаграммы напряжение–деформация при нагрузке и разгрузке тождественны и имеют идеализированный вид. Как правило, вводятся гипотезы о простом (однопараметрическом) нагружении и активной деформации, используются гипотезы плоских сечений и прямых нормалей, пренебрегается изменением формы и размеров поперечного сечения стержневых элементов. Кроме того, расчет



**Е.М. Сидорович**  
профессор кафедры строительной механики Белорусского национального технического университета, д.т.н., профессор



**А.А. Борисевич**  
заведующий кафедрой строительной механики Белорусского национального технического университета, д.т.н., профессор

физически нелинейных систем часто ведется по недеформированному состоянию без учета явлений, связанных с геометрической нелинейностью.

В предлагаемом методе расчета учет физической нелинейности производится с использованием нелинейных зависимостей между напряжениями и деформациями, математические модели которых строятся в аналитической или в табличной форме с применением экспериментально полученных диаграмм растяжения–сжатия конструкционных материалов. Последнее обстоятельство не только дает возможность применения реальных диаграмм деформирования в любых напряженно-деформированных состояниях, но и является основным отличием разработанного метода расчета от известных решений других авторов.

Закон физической нелинейности может быть как симметричным относительно растяжения–сжатия, так и несимметричным. Разработана методика учета остаточных деформаций материала при его повторно-переменном нагружении. Численным экспериментом выявлено явление знакопеременности нелинейных деформаций даже при монотонном росте нагрузки (простом нагружении). Установлен критерий устойчивости мгновенных состояний равновесия нелинейно деформируемых систем, в составе которых находятся элементы с почти нулевой жесткостью (в пластическом состоянии) и элементы с почти нулевой податливостью (близкие к бесконечно жестким).

Анализ устойчивости таких систем сводится к исследованию знаковой определенности составной квадратичной формы, одно из слагаемых которой выражено через обобщенные перемещения и текущие усилия во всех элементах, а второе – через обобщенные приращения усилий только в податливых элементах, при этом элементы с нулевой податливостью автоматически исключаются из рассмотрения.

Учет конструктивной нелинейности сводится к частному случаю физической нелинейности, который описывается диаграммами деформирования, моделирующими люфты и натяги в элементах сооружения, их выключение из работы или разрушение, что позволяет исключить разработку специальных алгоритмов и программных модулей для учета односторонних связей.

В предлагаемом методе расчета рассматриваются большие перемещения и деформации. Последнее составляет еще одно отличие учета геометрической нелинейности по сравнению с другими известными подходами, в которых рассматриваются большие перемещения и малые деформации, и которые не позволяют учитывать некоторые особенности деформированной схемы сооружения (разрушение элемента, сохранение усилия в элементе при его вытягивании через блок и т. д.).

В динамических задачах приняты к рассмотрению не только вязкое трение, но и произвольные нелинейные законы демпфирования. Учтены различные динамические нагрузки и рассмотрены переходные процессы, а не только установившиеся режимы гармонических колебаний. Реализованы алгоритмы и составлены программные комплексы, дающие возможность учета пространственной инерционности любых элементов, в т.ч. и таких гибких как оттяжки мачт, затяжки арок и элементы подвески.

Во многих известных программных комплексах инерционностью оттяжек пренебрегают. Более того, полагают, что такие элементы как ванты, гибкие нити и подвески не сопротивляются кинематическим перемещениям, нормальным к хорде элемента. В предлагаемом методе учитывается как продольная, так и поперечная жесткость провисающих оттяжек и других растянутых элементов, а также снижение поперечной жесткости сжатых элементов.

На основе созданной теории точного расчета нелинейно деформируемых шарнирно-стержневых систем [1] разработаны физические и математические модели нелинейно деформируемых изгибаемых стержневых и пластинчатых систем. Основное отличие разработанных моделей заключается в том, что физически и геометрически нелинейный стержень, подвергаемый действию растяжения–сжатия, изгиба и кручения, моделируется нелинейно деформируемой шарнирно-стержневой структурой. При этом не только не вводятся дополнительные предположения, но и не учитываются гипотезы плоских сечений и прямых нормалей. Возможен также учет армирующих элементов (продольных, поперечных и наклонных) и действительного процесса деформирования.

Созданы компьютерные программные комплексы расчета нелинейно деформируемых шар-



нирно-стержневых систем на статические и динамические нагрузки и тепловые воздействия численными методами четвертого и пятого порядков точности, основанные на применении метода непрерывного продолжения нелинейного решения по параметру с использованием нелинейных стержневых конечных элементов. Основное отличие разработанных комплексов заключается в автоматическом учете при деформировании сооружения возникающих в нем нелинейных эффектов любого вида (физическая, конструктивная и геометрическая нелинейности, большие перемещения и большие деформации) с одновременным исследованием устойчивости равновесия.

С целью подтверждения достоверности получаемых результатов разработан альтернативный алгоритм прямого интегрирования дифференциальных уравнений движения геометрически и физически нелинейных деформируемых систем, составлена и отлажена базовая компьютерная программа численного расчета таких систем в режиме переходных процессов на произвольные динамические и статические воздействия. Уравнения движения деформируемой системы решаются без дополнительных преобразований одношаговыми методами до четвертого порядка точности. Численным экспериментом доказана устойчивость вычислительного процесса решения. Решена проблема учета недеформируемых связей без нарушения структуры глобальной матрицы жесткости, что позволяет исследовать реальные процессы деформирования при динамическом и статическом нагружениях.

Предложен подход к решению задач оптимального проектирования конструкций (одно-, двух- и трехмерных), основанный на идеях стержневой аппроксимации исследуемых объектов. Реализация указанного подхода выполнена с применением критерия соответствия объекта оригинала как трехмерной системы и заменяющего его объекта в виде пространственной шарнирно-стержневой системы, а также методики оптимизации шарнирно-стержневых систем, материал которых обладает нелинейными механическими характеристиками.

В работе [2] изложен метод стержневой аппроксимации в задачах анализа напряженно-деформированного состояния стержневых и континуальных систем, получено выражение для определения матрицы упругих коэффициентов шарнирно-стержневой системы, элемен-

тарной ячейкой которой является кубическая решетка с диагоналями граней и внутренними диагоналями. Сопоставляя матрицы упругих коэффициентов сплошной среды и упругих коэффициентов стержневой системы, можно определить жесткости стержней. С целью уменьшения объема вычислений из соотношений эквивалентности двух схем устанавливаются рациональные параметры ячейки, их возможные сочетания, влияние параметров на достоверность результатов, коррелирующие зависимости к точному определению перемещений и напряжений по заменяющей схеме.


Для физически нелинейной системы с монотонно изменяющимися механическими характеристиками материалов математические модели, алгоритмы и программы оптимального проектирования конструкций построены на основе соответствующих научных положений для линейно деформируемых систем.

Формирование ограничений производится с помощью общих уравнений строительной механики. На каждом шаге в качестве вложенной процедуры вычислений выполняется решение подзадачи статического расчета нелинейной системы при ступенчато нарастающей до конечного значения нагрузке. Задача оптимизации решается на линеаризованном участке, соответствующем последнему этапу догружения. Длина этого участка определяет предельные интервалы изменения переменных за один шаг оптимизации. Таким образом, задача поиска оптимального проекта сводится к изменению (как правило, уменьшению) параметров проектирования.

Разработанные программные комплексы использованы при расчетах на прочность, жесткость и устойчивость железобетонных оболочек отрицательной гауссовой кривизны, пространственного предварительно напряженного двухпоясного вантового покрытия, сплошных и сквозных арок массового применения, ряда мачтовых сооружений, рекламно-информационных панно на гибких подвесках.

[1] Сидорович Е.М. Нелинейное деформирование, статическая и динамическая устойчивость пространственных стержневых систем. – Минск: Изд-во БГПА, 1999. – 200 с.

[2] Борисевич А.А. Оптимизация нелинейно-упругих стержневых систем по методу локальных линеаризованных областей. – Брест: Изд-во БГТУ, 2001. – 104 с.

Надійшла 08.10.2007 р. 

УДК 69.059

## РЕИНЖИНИРИНГ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Описаны структура количественных и качественных показателей при технической эксплуатации производственных объектов по фактическому состоянию, выбор режима технического контроля и разработки при необходимости корректирующих мер для поддержания эксплуатационных свойств объектов с учетом показателей ремонтпригодности конструкций в коррозионных средах. Сформулировано условие обеспечения технологической безопасности по критерию эффективности затрат на восстановление работоспособности за расчетным сроком службы объектов, установлена характеристика пропускной способности регулирования ресурса конструкций. Обоснованы меры по предупреждению аварийных ситуаций на объектном уровне, включающие разработку стандартов предприятий по менеджменту технологической безопасности.

The structure of quantitative and qualitative indices of the used industrial facilities according to the observed state is given. The necessity of choice of the technical control mode and development is given for the case of necessity of using the corrective measures for maintenance of structure running ability taking into account maintainability of structures in corrosive environment. The condition of the technical safety according to the criterion of the efficiency of the serviceability rehabilitation costs beyond the structure projected service life is formulated for assurance of industrial process stability and continuity. The characteristic of capacity of structure resource adjustment is specified. The authors justified measures for facility emergency prevention including the development of the local standard for technological safety management.

**Ключевые слова:** ресурс конструкций, степень критичности дефектов и повреждений, уровень уязвимости, технологическая безопасность.

**З**а три года, прошедшие с момента утверждения государственной научно-технической программы «Ресурс» (постановление Кабинета Министров Украины № 1331 от 8 октября 2004 г.), проведена значительная организационная, методическая и научно-техническая работа, направленная на обеспечение необходимого уровня безопасности жизненно важных объектов экономики. Актуальность и значимость полученных результатов касается в первую очередь реализации научных подходов к оценке остаточного ресурса и научно-технического сопровождения объектов, определенных национальной составляющей программы [1]. Вместе с тем очевидно, что для радикального изменения ситуации и разработки методов управления, позволяющих своевременно предупреждать негативное развитие процессов снижения эксплуатационных свойств конструкций зданий и сооружений, необходимо отказаться от устаревших методов организации технического контроля и надзора за состоянием строительных объектов. Большинство существующих нормативно-технических документов, регламентирующих требования к их эксплуатации, были разработаны без учета возможностей современного диагностического оборудования, методов контроля и расчетной оценки напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов, материалов и технологий для выполнения ремонтно-восстановительных работ. В значительной степени изменились методические подходы к стандартизации систем менеджмента качества, сертификации строительных



**В.П. Королёв**

директор Донбасского центра технологической безопасности, член Межведомственного совета по проблемам коррозии и противокоррозионной защиты при президиуме НАН Украины, д.т.н., профессор



**О.Б. Лотоцкий**

первый заместитель министра по вопросам жилищно-коммунального хозяйства Украины



**Ю.В. Филатов**

председатель наблюдательного совета ЗАО «Донецксталь – металлургический завод»

изделий и конструкций, управлению промышленной и информационной безопасностью.

В современных условиях промышленная безопасность представляет комплексную систему требований, отражающих все сферы промышленного производства – от охраны труда и безопасности оборудования, машин и механизмов до безопасности выпускаемой продукции. Поэтому комплексное управление промышленной безопасностью и обеспечение технологической безопасности конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей осуществляется с учетом требований положений Директивы

Европейского парламента и Совета 2001/95/ЕС от 3 декабря 2001 г. «Обеспечение общей безопасности продукции». Организационная структура, планирование, виды деятельности, процедуры, рабочие процессы и ресурсы для развития, внедрения, достижения результатов и поддержания в рабочем состоянии политики конкретного предприятия в области профессиональной безопасности и здоровья должны соответствовать стандарту OHSAS 18001:1999 «Система оценки профессиональной безопасности и здоровья».

Среди приоритетов отраслевой и региональной составляющих концепции государственной программы обеспечения технологической безопасности в основных отраслях экономики, одобренной распоряжением Кабинета Министров Украины № 351 от 11 июня 2003 г., следует выделить следующие меры, призванные способствовать предупреждению аварий и чрезвычайных ситуаций:

- разработка новых норм, правил, стандартов и технических регламентов, устанавливающих количественные и качественные показатели надежности и безопасности, вероятностные характеристики отказов и критерии допустимых рисков;
- пересмотр строительных норм в части нагрузок и воздействий, проектирования и изготовления металлических конструкций с учетом требований стандартов EN и ISO по защите от коррозии и старения;
- развитие региональных центров научно-технического и информационного сопровождения проблем ресурса, комплектование диагностических и испытательных лабораторий по контролю качества и эксплуатационных свойств объектов различного назначения;
- повышение ответственности владельцев объектов за соблюдение предусмотренного нормативной, проектной и эксплуатационной документацией режима эксплуатации и надлежащих правил технического обслуживания зданий и сооружений;
- выполнение контроля, паспортизации и мониторинга технического состояния, определение остаточного ресурса и ремонтпригодности для проведения модернизации, реконструкции и продления сроков эксплуатации объектов;

- создание системы подготовки, повышения квалификации и аттестации специалистов в области технологической безопасности конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей.

Краткий анализ состояния проблемы обеспечения безаварийной эксплуатации позволяет сделать вывод о том, что кроме вопросов, связанных с научно-техническим сопровождением и применением международного опыта регулирования безопасности, важное значение имеет отказ от механизмов управления и организационных структур, для которых не установлены границы ответственности и не определены необходимые ресурсы по поддержанию в работоспособном состоянии объектов различного назначения. В сложившихся обстоятельствах для предупреждения аварийных ситуаций на объектом уровне необходимо подвергнуть «реинжинирингу» систему устаревших правил, которые не соответствуют требованиям контроля и надзора при техническом обслуживании конструкций зданий и сооружений по фактическому состоянию. Известный американский специалист в области информационных технологий М. Хаммер, определяя сущность реинжиниринга для оптимального построения бизнес-процессов, констатировал: «Если мы не меняем эти правила, мы просто переставляем стулья на палубе «Титаника» [2].

#### Оценка степени риска при продлении ресурса.

К сожалению, подводной частью айсберга для проблемы ресурса конструкций зданий и сооружений остаются вопросы коррозии и противокоррозионной защиты [3, 4]. Действующие нормы [5, 6] не решают задач нормативного обеспечения технологической безопасности в современных условиях. Поэтому при обосновании технических решений противокоррозионной защиты на многих предприятиях используют процедуры, определенные международным стандартом ISO12944 [7]. Отсутствие государственных строительных норм по защите от коррозии стальных конструкций повышает уровень риска при эксплуатации промышленных объектов.

Разработанный специалистами Донбасского центра технологической безопасности (ДонЦТБ) ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» методический подход предусматривает основные этапы определения уровня риска по технологической безопасности ( $R_i$ , балл) для конструкций зданий и сооружений:

- выбор режима контроля параметров конструкций по результатам оценки повреждаемости и допустимым интервальным значениям ремонтпригодности;
- количественная оценка показателя ремонтпригодности  $T_{\theta,j}$  на основании расчета стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность;
- анализ уровня уязвимости стальных конструкций в зависимости от степени критичности (категории) дефектов и повреждений;
- оценивание угроз (категории технического состояния) при эксплуатации по фактическому состоянию для установленных значений ремонтпригодности стальных конструкций;
- восстановление эксплуатационных свойств, продление ресурса стальных конструкций и понижение уровня риска при реализации мер ПОН производственных зданий и сооружений.

Основной характеристикой для определения ресурса стальных конструкций при воздействии агрессивных сред является характеристическое значение годовых коррозионных потерь  $A_n$ , г/м<sup>2</sup>, условно приведенное к незащищенной поверхности стали класса С 235. Расчетное значение годовых коррозионных потерь ( $A$ , г/м<sup>2</sup>) устанавливается с использованием зависимости

$$A = f_k A_n / 8760, \quad (1)$$

где – продолжительность воздействия коррозионно-активных компонентов, час/год;  $f_k$  – коэффициент надежности по воздействиям, зависящий от степени агрессивности и категории размещения конструкций.

Теоретические и экспериментальные исследования, связанные с разработкой аналитического описания изменения отношения резерва надежности ( $\Gamma$ ) при агрессивных воздействиях  $A_n$ , позволяют формализовать задачу расчетно-экспериментального определения коэффициента надежности противокоррозионной защиты стальных конструкций с учетом характера и интенсивности коррозионных повреждений.

Результатом моделирования коррозионного состояния стальных конструкций являются массивы значений коэффициента  $\gamma_{zf}$  для различных значений показателей коррозионной стойкости ( $K$ , мм/год) и промежутков времени ( $T$ , год) эксплуатации элементов конструкций

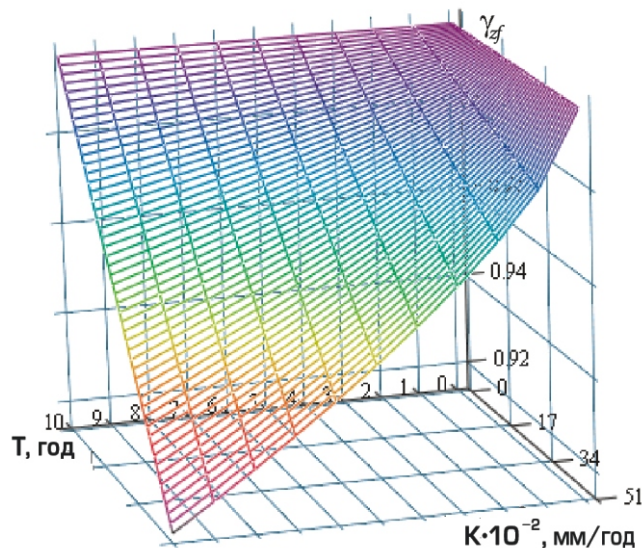


Рис. 1. Значения  $\gamma_{zf}$  в зависимости от степени агрессивности среды, срока службы и отношения резерва надежности ( $\Gamma$ ) конструктивного элемента

(рис. 1). Оценка остаточного ресурса ( $T_r$ ) выполняется с учетом значений коэффициента  $\gamma_{zf}$  для обоснования стратегии технического обслуживания стальных конструкций в агрессивных средах.

Стабильность и непрерывность производственных процессов при негативных воздействиях обеспечивается условием технологической безопасности, которое может быть представлено в виде зависимостей

$$\min_{i=1, N} U_i - \min_{j=1, M} f(T_{\theta,j}) \quad (2)$$

где  $U_i$  – затраты на поддержание  $i$ -го конструктивного элемента выборки ( $N$ ) в работоспособном состоянии, обеспечивающие требования технологических процессов зданий и сооружений, грн./год;  $S_{d,i}$  – потери, вызванные физическим износом, грн./год;  $S_{c,i}$  – потери в результате морального старения, грн./год;  $T_{\theta,j}$  – показатель ремонтпригодности, определяющий промежуток времени, необходимый для восстановления работоспособности при минимальных затратах  $j$ -го конструктивного элемента выборки ( $M$ ), степень критичности выявленных дефектов и повреждений которого выше предельного уровня повреждаемости.

Степень критичности дефектов и повреждений конструкций ( $\nu_f$ ) устанавливается с помощью весовой характеристики несовершенств конструкции ( $\nu_i$ ):

$$\nu_f = \sum \nu_i \nu_i \quad (3)$$

где  $\nu_i$  – относительная частота выявления дефектов и повреждений, 1/год.

Обеспечение ремонтпригодности при продлении ресурса имеет целью поддержание работоспособного состояния на основании оценивания соответствия и разработки в случае необходимости корректирующих мер по техническому контролю и восстановлению эксплуатационных показателей конструкций.

На основании мониторинга технического состояния, регистрации дефектов и повреждений назначается режим непрерывного или выборочного контроля (табл. 1) в зависимости от категории несовершенств. Выборочный контроль может быть трех видов: *усиленный, нормальный и ослабленный*. Показатель ремонтпригодности ( $T_\delta$ ) определяется по формуле

$$T_\delta = T_o + T_y \quad (4)$$

где  $T_o$  – продолжительность контроля при выявлении дефектов и повреждений, год;  $T_y$  – продолжительность технического обслуживания и ремонта, год.

Степень интенсивности коррозионных воздействий, состояние противокоррозионных покрытий, показатели коррозионного износа, оценка рисков при выявлении дефектов и повреждений стальных конструкций определены по результатам обследования коррозионного

состояния однородных зон эксплуатации объектов ОАО «Донецксталь – металлургический завод».

Данные контроля коррозионного состояния объектов (параметры «выхода» системы) позволяют произвести анализ требований технологической безопасности (параметры «входа») для обоснования регламента ремонтно-восстановительных работ с учетом показателей ремонтпригодности и послеремонтной несущей способности. Задание критериев предельных состояний при продлении ресурса по результатам оценки фактического состояния выполняется с помощью коэффициента обратной связи режима эксплуатации конструкций ( $\gamma$ ) на основании зависимости

$$N \leq \Phi / (\gamma \cdot \nu_f) \quad (5)$$

где  $N$  – наибольшее расчетное усилие в конструктивном элементе;  $\Phi$  – предельное усилие, которое может воспринять элемент с характеристикой повреждаемости  $\nu_f$ .

Использование коэффициента обратной связи режима эксплуатации ( $\gamma$ ) обеспечивает реализацию кибернетического подхода к управлению технологической безопасностью, формирование программ обеспечения надежности на основе решения задач анализа возможных причин, последствий отказов (FMEA) и оценки критичности отказов (FMESA). При этом критерием технологической безопасности конструкций является характеристика ( $\gamma$ ), определяющая пропускную способность регулирования ресурса,

$$\gamma = 1 / (\nu_f \cdot T_\delta) \quad (6)$$

Таблица 1

**Режим контроля технического состояния и восстановления эксплуатационных свойств конструкций**

Группа ремонтпригодности	Показатель ремонтпригодности, $T_\delta$ , год	Режим контроля	Характеристика вида дефектов и повреждений
I	$0 < T_\delta \leq 0,02$	Непрерывный	Наличие хотя бы одного критического дефекта или повреждения (категория «А»). Допускаются (или могут отсутствовать) несовершенства категорий «Б», «В».
II	$0,02 < T_\delta \leq 0,08$	Усиленный	Несовершенства категории «А» отсутствуют. Имеются один или несколько значительных дефектов или повреждений (категория «Б»). Допускаются несовершенства категории «В».
III	$0,08 < T_\delta \leq 0,5$	Нормальный	Несовершенства категории «А», «Б» отсутствуют. Имеются малозначительные дефекты или повреждения (категория «В»)
IV	$T_\delta > 0,5$	Ослабленный	Дефекты и повреждения категорий «А», «Б», «В» отсутствуют.

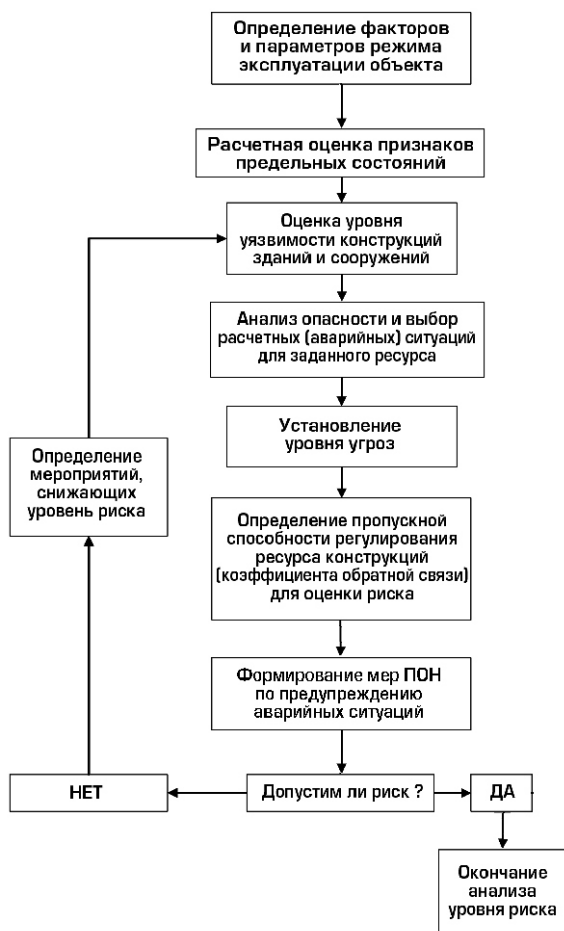


Рис. 2. Схема управления технологической безопасностью при продлении ресурса конструкций зданий и сооружений

При накоплении повреждений  $f$  коэффициент обратной связи  $(\ )$  характеризует снижение эксплуатационных показателей стальных конструкций при установленном проектном значении отношения резерва надежности  $(\Gamma)$ . Возмущающие воздействия негативных внешних факторов  $A(L, G, S)$  и внутренних параметров  $A(f)$  вызывают коррозионное разрушение и появление признаков предельных состояний конструкций. Пропускная способность регулирования ресурса характеризует допустимое изменение проектного значения отношения резерва надежности  $(\Gamma)$  для восстановления работоспособного состояния и продления ресурса за счет конструктивно-технологических ограничений и методов обеспечения требуемой послеремонтной несущей способности. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния стальных конструкций при оценке показателей ресурса  $(\ , \ )$  выполняется с использованием интегрированного расчетного комплекса Structure CAD 7.29.

Неопределенность и вероятностные характеристики объектно-субъектных взаимосвязей при техническом обслуживании и ремонтных работах по фактическому состоянию требуют создания организационной структуры, обеспечивающей построение управленческой информации с учетом коэффициента обратной связи  $(\ )$ . Для мониторинга, оценки, контроля и надзора, определения характеристик рисков используется информационная база данных «Ресурс», состав и функции которой регламентированы положениями «Интегрированной системы управления качеством, экологией и охраной труда» стандарта предприятия СТП 101С-6.3-05-2007 «Обеспечение технологической безопасности при эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений».

Результаты расчетной оценки показателей ремонтпригодности и послеремонтной несущей способности для продления срока службы конструкций в коррозионных средах обрабатываются в соответствии с установленной иерархией построения информационных баз данных объектов (рис. 2). Систематизация признаков выполняется в зависимости от уровня уязвимостей и угроз, групп ответственности по технологической безопасности, эффективности существующих и планируемых средств инженерной защиты объектов (табл. 2, 3). Количественный показатель уровня уязвимости измеряется по шкале от 1 до 8 баллов в зависимости от степени критичности повреждений. Группа конструкций по показателям ремонтпригодности, определяющая возможность и сроки восстановления технического ресурса, устанавливается в зависимости от режима функционирования объекта. Категория дефекта или повреждения определяется по табл. 13 ДБН 362-92.

Таблица 2

Уровень уязвимости конструкций зданий и сооружений

Категория дефекта или повреждения	Группа ремонтпригодности		
	I	II	III
A	6–8	–	–
B	–	3–5	–
B	–	–	1–2

Уровень уязвимости классифицируется по трем подгруппам:

- низкий (Н). . . . . от 1 до 3 баллов;
- средний (С) . . . . . от 4 до 6 баллов;
- высокий (В) . . . . . от 7 до 8 баллов.

Таблица 3

**Уровни рисков по технологической безопасности ( $R_i$ ) в зависимости от групп ответственности, уровня угроз и уязвимости конструкций зданий и сооружений**

Группы ответственности по технологической безопасности	Уровень угрозы (категория технического состояния)											
	Низкий ( I )			Низкий ( II )			Средний ( III )			Высокий ( IV )		
	Оценка уязвимости конструкций											
	Н	С	В	Н	С	В	Н	С	В	Н	С	В
Объекты с функциями обслуживания непромышленного назначения (R5)	1	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	6
Объекты с функциями обслуживания промышленного назначения (R4)	2	3	3	3	4	5	4	5	6	5	6	7
Вспомогательные объекты (R3)	3	3	4	4	5	6	5	6	7	6	7	8
Основные объекты, допускающие ремонт и техническое обслуживание без технологической остановки (R2)	4	4	5	5	5	7	6	7	8	7	8	9
Основные объекты, для которых ремонт и техническое обслуживание выполняются при технологической остановке (R1)	5	5	6	5	6	7	7	8	8	8	9	10

Группа ремонтпригодности определяет вид контроля и сроки проведения работ по восстановлению работоспособности конструктивных элементов.

В соответствии с требованиями СТП 101С-6.3-05-2007 определены основные задачи менеджмента технологической безопасности:

- минимизация затрат на техническое обслуживание и ремонт при эксплуатации по фактическому состоянию;
- сбор и анализ данных о фактических затратах для последующего использования на этапах принятия инвестиционных решений;
- обеспечение технологической безопасности в процессе мониторинга технического состояния конструкций зданий и сооружений;
- паспортизация и разработка программы обеспечения надежности (ПОН) строительных конструкций в паспортном режиме и при заданных конструктивно-технологических ограничениях;
- определение состава и последовательности мер при обслуживании и ремонтах конструкций.

Обязательные положения разработанного стандарта предприятия включают следующие требования к специалистам служб технического надзора, цеховых служб технической эксплуатации и служб по ремонту и строительству:

- знание документов стандарта и соблюдение установленных требований для обеспечения технологической безопасности;
- реализация установленных правил при организации мер по повышению надежности и долговечности конструкций зданий и сооружений;
- обеспечение контроля соблюдения стандарта предприятия при принятии решений по вопросам эксплуатации, техническому обслуживанию и выполнению ремонтно-строительных работ.

**Кадровый ресурс при обеспечении технологической безопасности.** Для успешного руководства и управления безопасностью необходимо повышать квалификацию специалистов, к компетенции которых относятся вопросы безаварийной эксплуатации конструкций зданий и сооружений, в т.ч. для объектов, близких к исчерпанию нормативных сроков эксплуатации.

Методологические основы оценки технологической безопасности конструкций зданий и сооружений использованы для разработки рабочей программы курсов по направлению «Безопасность и надежность эксплуатации конструкций, технологического оборудования, зданий и сооружений». Программа разработана ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» совместно со специалистами Национального университета «Львовская политехника» и включает вопросы оценки технического состо-

яния и мониторинга промышленных объектов на основе требований стандартов предприятия, использование информационных баз данных при управлении технологической безопасностью конструкций зданий и сооружений.

Целью программы является повышение квалификации руководителей и профессиональная подготовка специалистов-экспертов, деятельность которых связана с оценкой технического состояния, разработкой проектной документации на ремонт, усиление и реконструкцию зданий и сооружений, объектов повышенной опасности. Программа направлена на реализацию мероприятий, утвержденных распоряжением КМУ № 100-р от 1 марта в 2004 г. «О мероприятиях по усилению контроля за проектированием, новым строительством, реконструкцией, капитальным ремонтом и эксплуатацией зданий и сооружений», Постановлением КМУ от 8 октября в 2004 г. № 1331 «Об утверждении Государственной научно-технической программы «Ресурс».

В октябре 2007 г. при поддержке научно-координационного и экспертного совета по вопросам ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин при президиуме НАН Украины, Национального университета «Львовская политехника» и ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» в пгт Мисхор АР Крым были проведены краткосрочные курсы повышения квалификации по программе «Менеджмент технологической безопасности зданий и сооружений».

Учебно-методическое обеспечение работы курсов включало следующие вопросы:

- стратегия обеспечения технологической безопасности на основе ISO 9001:2000 ;
- система управления ремонтпригодностью конструкций зданий и сооружений;
- оценка уровня рисков в соответствии с требованиями OHSAS 18001.

В программу курсов повышения квалификации специалистов вошли спецкурсы:

- **«Техническая эксплуатация зданий и сооружений, инженерных сетей»** – для специалистов цехового персонала промышленных и гражданских объектов;
- **«Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений инженерных сетей»** – для персонала служб технического надзора и инженерно-технических работников специализированных организаций;

- **«Управление безопасностью строительных объектов на основе диагностики, паспортизации и мониторинга конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей»** – для руководящих работников.

Слушатели курсов были ознакомлены с нормативными документами и практическим опытом технического обслуживания конструкций по фактическому состоянию, среди которых следует выделить следующую тематику:

- требования международных стандартов и Директивы европейского парламента и Совета 2001/ 95/ЕС от 3 декабря 2001 г. применительно к действующим в Украине нормам;
- оценка остаточного ресурса конструкций и практическое применение современных технологий для предупреждения аварийных ситуаций на ведущих предприятиях Украины;
- вопросы законодательного, нормативного и правового регулирования мер, направленных на реализацию требований инженерной защиты конструкций, разработку программ обеспечения надежности гражданских и промышленных объектов;
- примеры реализации разработок в области технологической безопасности, связанные с деятельностью Донбасского и Львовского центров технологической безопасности ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского».

Рассматривались практические примеры внедрения стандартов предприятий по обеспечению технологической безопасности конструкций зданий и сооружений, использования баз данных «Ресурс» для выявления ресурса работы конструкций, разработки программ обеспечения надежности при продлении сроков эксплуатации объектов, исчерпавших установленный нормативный ресурс.

Участникам курсов, среди которых руководители предприятий, служб технического надзора и инженерно-технический персонал в области диагностики технического состояния конструкций ЗАО «Донецксталь – металлургический завод», ЗАО «Макеевкокс», ОАО «Запорожский металлургический комбинат «Запорожсталь», ЗАО ММЗ «Истил-Украина», ОАО Доучаевский флюсодоломитный комбинат, ПНПФ «Стройиндустрия-Л», были вручены сертификаты в заявленной ими области.



Необходимо отметить, что практика проведения таких курсов имеет важное значение для повышения технологической безопасности предприятий. Организация теоретической и практической подготовки в объеме нормативных документов по обследованию, паспортизации, безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений является обязательной для должностных лиц и инженерно-технического персонала с образовательно-квалификационным уровнем политехнических специальностей, служебными обязанностями которых предусматривается контроль и принятие решений по вопросам технической эксплуатации и обслуживания зданий и сооружений.

#### Выводы.

- Промышленные предприятия, инженерные коммуникации, объекты жилищно-коммунального хозяйства и транспортной инфраструктуры включают сооружения, конструкции, машины и оборудование, которые при ухудшении эксплуатационных свойств могут переходить в категорию объектов повышенной опасности. Как правило, это становится реальностью по причинам сложного экономического и финансового состояния большинства субъектов хозяйственной деятельности, значительного уровня физического износа и отсутствия регламентных сроков обновления основных фондов.
- Разработанная система показателей для оценивания риска при продлении ресурса стальных конструкций включает характеристики уровня уязвимости и угроз, групп ответственности объектов по технологической безопасности. Для принятия решения о возможности дальнейшей эксплуатации за расчетным сроком службы обоснована методика диагностики и мониторинга стальных конструкций в агрессивных средах по результатам определения ремонтпригодности и послеремонтной несущей способности.
- Эффективность мер по обеспечению технологической безопасности зависит в первую очередь от внедрения стандартов предприятий, включающих регламентные требования по процедурам предупреждения аварийных ситуаций, технологиям экспертной

оценки эксплуатационных свойств конструкций на основе баз данных технического состояния объектов. С целью усиления профессиональной подготовки кадров необходимо рассмотреть вопрос о введении инженерного курса «Безопасность и надежность эксплуатации конструкций, технологического оборудования, зданий и сооружений» для специальностей политехнического профиля. Без широкой образовательной базы по проблеме ресурса конструкций зданий и сооружений нельзя в полной мере реализовать задачи государственной программы «Ресурс». Среди первоочередных мер – сертификация специалистов-экспертов, деятельность которых связана с оценкой технического состояния, разработкой проектной документации на восстановление, усиление и реконструкцию зданий и сооружений, объектов повышенной опасности, а также организация системы повышения квалификации специалистов в области технологической безопасности.

- 
- [1] Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. / Цільова комплексна програма НАН України. Наук. кер. акад. Б.Є. Патон. // Зб. наук. статей. – Київ, ІЕЗ ім. Є.О. Патона. – 589 с.
  - [2] Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate by Michael Hammer. – Harvard Business Review, July-August 1990.
  - [3] Корольов В.П., Гибаленко О.М., Шевченко О.М. Удосконалення нормативних вимог до засобів і методів протикорозійного захисту будівельних металоконструкцій. – Будівництво України, № 7, 2003. – С. 19–23.
  - [4] Шимановський О.В., Гордеев В.М., Оглобля О.І., Корольов В.П. Забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівельних металоконструкцій. – Будівництво України, № 3, 2004. С. 15–18.
  - [5] СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии.
  - [6] СНиП 3.04.03-86 Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии.
  - [7] ИСО 12944:1998 Лаки и краски – защита от коррозии стальных конструкций.
  - [8] Матеріали школи-семінару з програми «Менеджмент технологічної безпеки будівель та споруд»/ 8–12 жовтня 2007, смт Місхор АР Крим. Вип.1. – Київ-Львів, 2007.

Надійшла 20.11.2007 р. 



## EUROCORR 2007 THE EUROPEAN CORROSION CONGRESS

**В** сентябре 2007 г. в г. Фрайбург (Германия) проходил самый крупный и наиболее известный форум Европейской федерации специалистов по борьбе с коррозией (EFC). В подготовке и организации работы

EUROCORR 2007 приняли участие Общество специалистов по коррозионной защите (GfKORR) и Общество специалистов химического машиностроения и биотехнологии (DECHEMA).

Коррозия оказывает существенное влияние на экономику всех промышленно развитых стран. Ежегодные потери Европейского Союза из-за коррозионных повреждений составляют 4–5 % валового внутреннего продукта (ВВП), США – 3,1 % ВВП или около \$276 млн. В рамках заседаний конгресса и выставки современных противокоррозионных технологий были продемонстрированы широкие возможности для повышения безопасности, надежности и долговечности конструкций зданий, сооружений, технологического оборудования и инженерной инфраструктуры промышленных объектов.

Более 600 специалистов из 57 стран представили доклады по 18 тематическим направлениям секций. Основные материалы конгресса и выставки включали разделы:

- Коррозия и ингибиторы коррозии.
- Морская коррозия.
- Коррозия в условиях высокотемпературных газов и продуктов сгорания.
- Коррозия арматуры в бетоне.
- Коррозионное растрескивание.
- Коррозия в нефтяной и газовой промышленности.
- Ядерная коррозия.
- Покрытия.
- Коррозионный мониторинг ядерных объектов.
- Коррозия в нефтеперерабатывающей промышленности.
- Коррозионная стойкость металлов и сплавов.
- Катодная защита.
- Повышение квалификации в области защиты от коррозии и компьютерное обучение.
- Автомобильная коррозия.
- Физико-химические методы в коррозионных испытаниях.
- Био- и трибоккоррозия.
- Коррозия в системах питьевого водоснабжения.

Участники конгресса обсудили результаты последних исследований, охватывающих практически все области коррозии, включая вопросы приоритетного развития средств и методов защиты промышленных объектов. На основе исследований установлено, что в химической и других отраслях перерабатывающей промышленности, таких как производство электроэнергии и материалов, нефтехимия, для которых надежность и долговечность конструкций имеет определяющее значение для безопасности технологических процессов, более 60% всех механических повреждений происходит в результате коррозионного разрушения. Коррозия является основным сдерживающим фактором для ресурса многих изделий от микроэлектроники до деталей самолетов, химических реакторов и транспортных сооружений в промышленном производстве и строительстве.

В работе EUROCORR 2007 приняли участие ученые и специалисты Украинской ассоциации коррозионистов (УАК), представляющие Физико-механический институт им. Г.В. Карпенко (г. Львов), ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» (г. Киев). Результаты исследований по совершенствованию критериев оценки эксплуатационного состояния и продлению ресурса работы строительных металлоконструкций в коррозионных средах представили специалисты по противокоррозионной защите Донбасского центра технологической безопасности (ДонЦТБ) ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» доктора технических наук, профессора Королёв В.П. и Высокый Ю.Б.

Научные контакты и обмен информацией имеют важнейшее значение для реализации научных подходов к оценке остаточного ресурса и научно-техническому сопровождению объектов по программе «Ресурс». Мировой опыт свидетельствует, что 25 % повреждений, вызывающих аварии и чрезвычайные ситуации техногенного характера, можно предотвратить путем правильного выбора средств и методов противокоррозионной защиты, выполнения коррозионного контроля конструкций сооружений, машин и технологического оборудования с использованием средств технической диагностики и мониторинга эксплуатационного состояния в коррозионных средах.

Тезисы докладов опубликованы в сборнике материалов конгресса, а полный текст докладов по проблемам защиты от коррозии представлен в электронном варианте на компакт диске. Более подробную информацию относительно коррозионных исследований и разработки мер противокоррозионной защиты можно получить в испытательной лаборатории средств и методов противокоррозионной защиты «Антикор-Дон» ДонЦТБ ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского» (г. Макеевка, ул. Фонтанная, 44). Контактный телефон: 8-(062)-348-24-55.

**Королёв В.П., директор ДонЦТБ ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского», член Межведомственного совета по проблемам коррозии и противокоррозионной защиты при президиуме НАН Украины, д.т.н., профессор.**

## ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, КЕРУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ДОМЕННІЙ ПЕЧІ № 9 «КРИВОРІЖСТАЛЬ»

(Закінчення. Початок див. у № 1, 2008 р.)

**С**истема автоматичного керування «САК завантаження», що розроблена і змонтована на ДП № 9 Криворізького державного гірничо-металургійного комбінату «Криворіжсталь», заслуговує на особливу увагу.

Технологічна схема завантаження доменної печі складається із нижньої (шихтоподача) та верхньої систем (БЗП). Система автоматичного керування «САК завантаження» виконана як єдина система нижньої і верхньої систем завантаження доменної печі.

Система автоматичного керування (САК) електроприводів доменної печі № 9 містить у собі наступні підсистеми:

- САК механізмами шихтоподачі;
- САК механізмами тракту відведення дріб'язку;
- САК безконусним завантажувальним пристроєм (БЗП);
- САК головним похилим конвеєром КД-1;
- САК конвеєрами КП-1, КП-2;
- САК підвищувальної насосної станції;
- САК тракту відведення граншлаку;
- САК витяжної станції ливарного двору;
- САК витяжної станції шихтоподачі;
- система візуалізації.

Серед важливих технологічних задач, які вирішуються системою «САК завантаження», можна виділити такі як формування завдання сортності порцій завантажувальних шихтових матеріалів та конфігурації її на похилому конвеєрі, забезпечення неперервності і місця положення порції на конвеєрі та інтерфейс між обслуговуючим персоналом і «САК завантаження».

За результатами обстеження та аналізу технологічних функціональних вимог до технології виплавки чавуну в доменній печі № 9 щодо збереження футерування, зниження максимальної температури в печі, зменшення енергоресурсів на тонну виплавленого чавуну тощо ці технологічні вимоги потребували змін у технології й структурі готування шихтової маси, яку



**А.М. Родін**  
директор з розвитку  
Компанії «Будлайн груп»



**О.О. Помазановський**  
начальник відділу  
ВАТ «Важпромелектропроект»



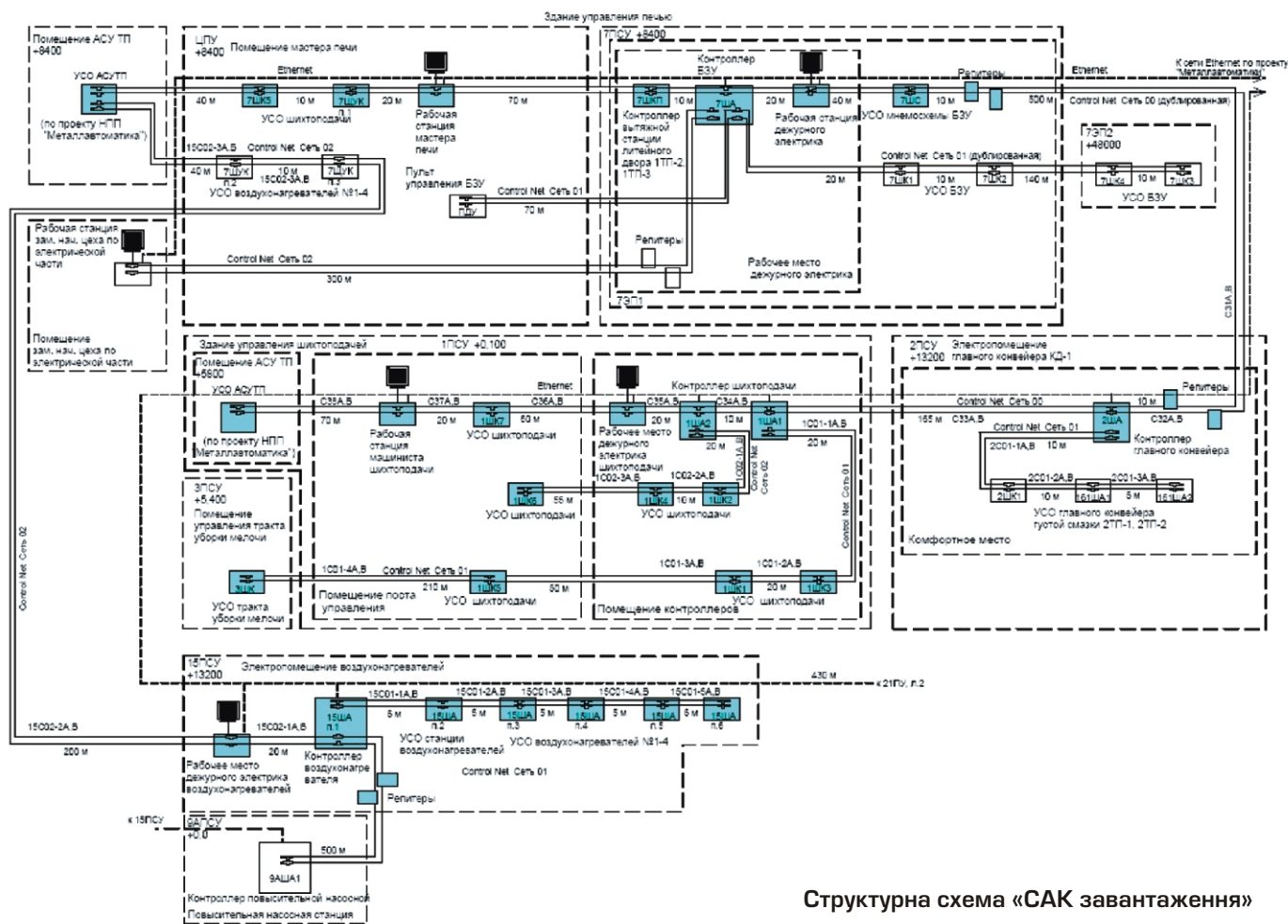
**Ю.Ф. Левандовський**  
головний спеціаліст відділу  
ВАТ «Важпромелектропроект»

завантажували у піч. Ефективність доменної плавки визначається в значній мірі якістю й рівнем підготовки шихтової маси до доменної плавки.

До порції шихтових матеріалів, що завантажуються в доменну піч, ставляться технологічні й технічні вимоги, а саме:

- ефективного просіювання основних компонентів шихти;
- точне дозування й зважування порцій шихтових матеріалів;
- формування порцій у вигляді «пошарового пиріжка» із заданим розташуванням матеріалів;
- формування «голови» порції;
- пошарове змішування в порції.

Існуюча конвеєрна система шихтоподачі й головний конвеєр ДП № 9 дозволили виконати технологічні й технічні умови дозування й формування порцій шихтових матеріалів для доменної плавки.



Структурна схема «САК завантаження»

На ДП № 9 уперше в Україні реалізовано формування порції у вигляді «пошарового пірїжка» із заданим розташуванням матеріалів по довжині порції, шари якої змішуються при перевантаженні на головний конвеєр і далі подаються в проміжний бункер і піч.

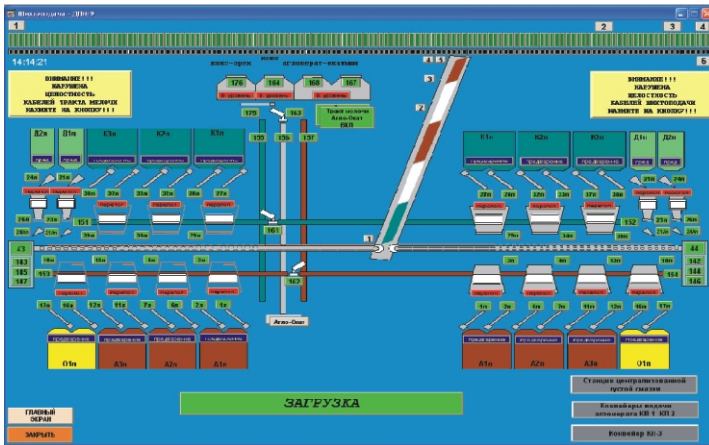
Задання виду сортності кожної порції й кутів нахилу розподільного лотка БЗП при завантаженні її в піч встановлюються на робочій станції майстрів печі й шихтоподачі.

Поточний набір сортності завантаження печі формується з урахуванням фактичної наявності шихтових матеріалів у бункерах бункерної естакади і готовності до роботи механізмів необхідних бункерів – набір послідовності бункерів, з яких потрібно вивантажити шихтові матеріали для даної порції (порція – компоненти шихти для завантаження в один проміжний бункер завантажувального пристрою, розташована на головному конвеєрі). При цьому оператор встановлює прапорці у відповідних осередках матриці.

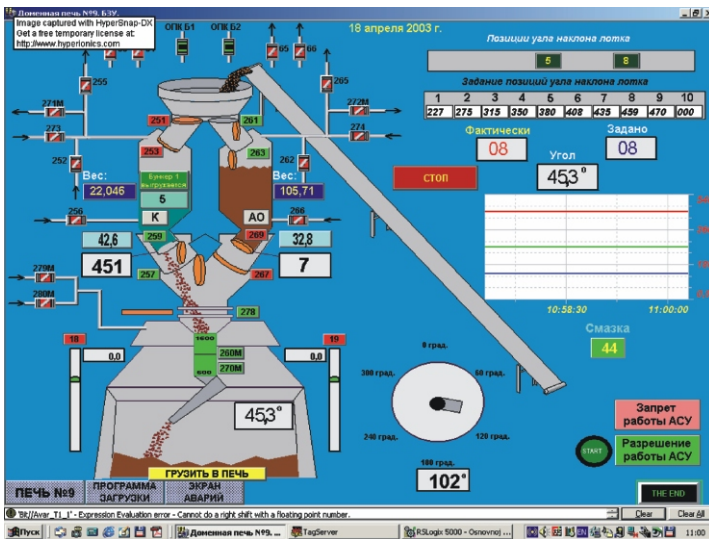
Матриця складається з 20 стовпців, із яких 19 визначають номери послідовності порцій, а 20-й стовпець – позачергову порцію, і 7 рядків, у яких зазначаються номери бункерів, з яких формується порція, кути нахилу розподільного лотка, вид матеріалу і параметри формування порції.

Вивантаження порцій відбувається циклами, починаючи з першої до 19 порції включно або до порції, в якій не зазначені кути нахилу розподільного лотка. Послідовність порції задається майстром печі або машиністом шихтоподачі. На їх робочій станції відображаються набір сортності, кути нахилу лотка і вид матеріалу, а також розташування компонентів на конвеєрі всіх заданих порцій.

Компоненти шихти вивантажуються з вагових воронки на горизонтальні конвеєри правої та лівої сторін із наступним перевантаженням на головний конвеєр. Порція одночасно може включати компоненти шихти як лівої, так і правої сторони шихтоподачі.



Шихтоподача



Безконусний завантажувальний пристрій

Якщо вагові воронки, що формують порцію, готові до вивантаження, то першою вивантажується на горизонтальний конвеєр вагова воронка, максимально віддалена від місця перевантаження шихти на головний конвеєр.

Після вивантаження вагової воронки система розраховує час, через який має початися вивантаження наступної максимально віддаленої вагової воронки. Такий алгоритм вивантаження забезпечує цілісність (без розриву) порції на головному конвеєрі.

«Голова» і задане розташування окремих компонентів у порції визначаються пошаровим формуванням порції. При цьому затвор кожної вагової воронки відкривається на задане положення.

По мірі вивантаження вагових воронки на конвеєр їхні вагові вставки обновлюються або підтверджуються, після чого воронки завантажуються знову.

Видача на конвеєр кожної наступної порції визначається темпом завантаження (темпом сходу шихти в печі, плавки чавуну), готовністю вагових воронки, які беруть участь у формуванні порції, та можливістю розташування порції на конвеєрі без розриву, з урахуванням дефектів стрічки конвеєра, тобто на головному конвеєрі одночасно може знаходитись кілька порцій.

Перед завантаженням порції в піч її параметри (номер, тип матеріалу і кути нахилу лотка БЗП, під якими порція повинна завантажуватися в піч) від початку вивантаження шихтових компонентів із вагових воронки ідентифікуються і супроводжуються аж до моменту завантаження в піч.

Параметри кожної порції, завантаженої в проміжні бункери, відображаються на робочій станції майстра печі. Для надання інформації щодо роботи системи автоматичного керування окремими електроприводами і системи «САК завантаження» в цілому розроблена система візуалізації й діагностики. Система включає ряд відеокadrів, на яких зображені технологічні процеси і надана вся необхідна інформація, наприклад, головний відеокadr системи візуалізації й діагностики верхньої системи завантаження.

Для відображення необхідних числових значень використовуються цифрові індикатори, розташовані в необхідних місцях екрана. На індикатори виводиться наступна інформація:

- задані позиції нахилу лотка та його фактична позиція;
- кути нахилу та повороту лотка;
- лічильник змащення лотка;
- задані кути відкриття ШЗБ (від контролера АСУТП);
- фактичні кути відкриття ШЗБ;
- час вивантаження проміжних бункерів БЗП;
- вага шихти в проміжних бункерах.

Шихтовий матеріал у бункері виділяється умовними кольорами – зелений для коксу, коричневий – для руди.

Всі контрольовані механізми оснащені кнопками з номером. Зелений колір кнопки вказує на готовність механізму до роботи і його роботу, червоний – на відсутність такої готовності або аварійний стан. При натисканні відповідної

кнопки активується екран із відображенням стану всіх елементів, що впливають на роботу розглянутого механізму.

Червоними кольорами виділяються елементи в ланцюзі керування, що вказують на причину, через яку механізм не може бути уведений у роботу.

Крім візуального передбачена можливість введення з робочої станції значень заданих позицій кута нахилу лотка, а також видачі дозволу або заборони на взаємодію (спільної роботи) системи автоматичного керування електроприладами БЗП із АСУ ТП.

За допомогою програми візуалізації протоколюється й зберігається інформація, яка необхідна для аналізу роботи БЗП (числові значення).

**Введення в дію програмного забезпечення системи автоматичного керування «САК завантаження».** Пусконаладжувальні роботи з введення «САК завантаження» необхідно було виконати у досить стислий термін.

Роботи виконувались на трьох об'єктах:

- На полігоні ВАТ «Важпромелектропроект» (м. Харків) були встановлені програмувальні контролери типу ControlLogix фірми «ALLEN BRADLEY» і робочі станції (персональний комп'ютер) та розроблені математичні моделі основних технологічних ділянок доменної печі № 9.  
На базі розроблених математичних моделей були налагоджені програми основних технологічних задач, таких як:
  - формування порції шихтових матеріалів заданої конфігурації;
  - задання виду сорту шихтових матеріалів (матриця);
  - автоматичне керування механізмами БЗП фірми «PAUL WURTH» та інші завдання.
- На ділянці виробництва шаф у м. Харків було налагоджено шафи та виконано конфігурування й тестування устаткування.
- На полігоні ДП № 9 для дослідження сумісності устаткування автоматизації фірми «ALLEN BRADLEY» з обладнанням фірми «PAUL WURTH» була змонтована тимчасова резервна система автоматичного керування БЗП на базі контролера типу ControlLogix і робочої станції, а система візуалізації була розроблена на базі пакета SCADA фірми «Rockwell Automation»:

- на тимчасовій резервній системі було налагоджено і введено в експлуатацію програмне забезпечення автоматичного керування основними механізмами БЗП. Після зупинки печі на капітальний ремонт тимчасова резервна система використовувалась як полігон, на якому формувалась значна частка програмного забезпечення «САК завантаження» (у т.ч. система візуалізації), а також велася підготовка й навчання оперативного й ремонтного персоналу;

- виконувались пусконаладжувальні роботи, які полягали у перевірці: виконаного монтажу відповідно до проектної документації; програмного забезпечення систем керування окремими механізмами; окремих систем автоматичного керування систем нижнього рівня, наприклад «САК механізмів шихтоподачі», а також технологічно зв'язаних систем нижнього рівня «САК завантаження».

У процесі налагоджувальних робіт коректувалося програмне забезпечення, в основному пов'язане з особливостями умов роботи механізмів, які неможливо було передбачити при розробленні сучасної системи автоматичного керування «САК завантаження».

Значна частина налагоджувальних робіт була виконана на полігонах, на об'єкті перевірялись відповідність монтажу та проектної документації та комплексного налагодження програмного забезпечення системи на реальному устаткуванні систем автоматизації, включаючи виконавчі механізми. Це дозволило значно скоротити строки налагодження й введення в експлуатацію наукоємної сучасної системи автоматичного керування «САК завантаження».

При виконанні проектних робіт, а також при проведенні пусконаладжувальних робіт велика увага приділялась підготовці оперативного й ремонтного персоналу цеху, що обслуговує систему «САК завантаження», який був включений у групу з виконання налагоджувальних робіт.

**Природоохоронні заходи.** Загальновідомо, що всі заходи, пов'язані з охороною довкілля, значно збільшують собівартість виробленого продукту, а саме:

- витрати на будівництво та наступні ремонти;
- експлуатаційні витрати.

Незважаючи на це, було виконано ремонт електрофільтрів та витяжних станцій ливарного двору та ділянки шихтоподачі, а також системи пиловидалення ДП № 9.

Після капітального ремонту встановлена потужність електроприймачів природоохоронних об'єктів збільшилася на 2000 кВт, було встановлено привідні двигуни димососів значно більшої потужності, модернізовано схему керування збудженням синхронних двигунів.

Згідно з планом ремонту електрофільтрів ливарного двору було замінено електроустаткування та кабельно-провідникову продукцію електрофільтрів № 2 і № 3 типу АТПОМ-400.

Основні технічні характеристики зазначеного типу електрофільтрів:

Об'єм витрат повітря . . . . . 650 м<sup>3</sup>/год  
Ефективність очищення . . . . . 94,7 %  
Кількість пилу, що вилучається . . 39 т/добу.

Також згідно з планом ремонту виконана заміна електроустаткування та кабельно-провідникової продукції електрофільтра № 2 типу АТПОМ-1000.

Основні технічні характеристики вказаного типу електрофільтрів:

Об'єм витрат повітря . . . . . 1726 м<sup>3</sup>/год  
Ефективність очищення . . . . . 96 %  
Кількість пилу, що вилучається . . 80 т/добу.

**Розрахунок економічної ефективності.** Роботи в умовах діючого цеху, у приміщеннях із вибухонебезпечним середовищем виконувалися за спеціально розробленими графіками і за узгодженням із пожежною охороною та службою газорятівників.

Виключення тимчасових мереж електропостачання дало економічний ефект у сумі 450253,20 грн.

У зв'язку з тим, що виробничі бази електромонтажних організацій знаходились на великій відстані від ДП № 9, створення майстерні на його будмайданчику дозволило заощадити витрати на перевезення виробів у сумі 68888,40 грн.

При прокладанні кабельних комунікацій у деяких випадках кабелі в металевих трубах були замінені на кабель у спеціальних коробах, що значно скоротило терміни виробництва електромонтажних робіт і дало економічний ефект у сумі 110598,0 грн.

Слід зазначити, що всі електричні розподільні щити та щити станцій керування, шафи контролерів, пости місцевого керування та інших електричних апаратів установлювалися безпосередньо на підлозі або на стіні, тобто без застосування заставних деталей і конструкцій для кріплення на стіні, а за допомогою розпірних дюбелів серії НТ.

З огляду на велику кількість електроустаткування (щитів станцій керування – 97 шт., електричних апаратів різного призначення – 2720 шт.) цей спосіб монтажу значно зменшив термін виконання електромонтажних робіт і дав економію у сумі 204098,40 грн.

Усі проведені заходи, як технічні, так і організаційні, забезпечили надійне електропостачання на період ремонту та своєчасне введення в експлуатацію доменної печі з новим рівнем автоматизації технологічного процесу доменного виробництва.

Розрахунки показали, що впровадження запропонованих заходів скоротило нормативний термін виробництва електромонтажних робіт на 15985 чол./год і дало економію коштів у сумі 1043646 грн.

Організаційні та інженерно-технічні заходи щодо своєчасного і якісного виконання монтажних і налагоджувальних робіт із автоматизації дали можливість скоротити нормативний термін виробництва електромонтажних робіт на 15963 чол./год і зекономити 327948 грн.

При цьому орієнтовне зниження собівартості становило близько 10 %, на 4 % зменшилась кількість робочих місць.

Прогнозований міжремонтний термін збільшився до 15 років, замість звичайних 10 років. Опосередковане збільшення випуску готової продукції (можливість збільшення подачі шихтових матеріалів у піч за рахунок зменшення циклу роботи механізмів, продуктивності печі в таких саме об'ємах) становить 5 %.

На 30 % зменшується потреба у кабельній продукції, у три рази скорочується термін виконання пусконаладжувальних робіт за рахунок відмови від частини релейно-контактної апаратури і використання програмних пристроїв.

Скорочення нормативного часу виконання ремонтних робіт склало 31948 чол./год.

**Початкові дані для розрахунку економічного ефекту.** Річний випуск чавуну до капремонту – 40000000 т. Собівартість тонни чавуну – 800 грн., відпускна ціна – 1590 грн. Частка витрат на паливо в собівартості продукції – 0,4 800 = 320 грн. Зниження загального споживання електроенергії, в т.ч. за рахунок використання пускових тиристорних пристроїв, а також зменшення кількості релейно-контакторної апаратури – 2,65 млн. кВт год/рік. Вартість електроенергії – 225 грн. за 1000 кВт. Зменшення кількості робітників на ДП № 9 після капремонту – 800 чол. при середній заробітній платі 1600 грн. Питомі

витрати умовного палива на тонну чавуну – 750 кг. Зниження витрат умовного палива на тонну чавуну – 12 кг.

**Загальний економічний ефект.** Зведена економія коштів за рік, у т.ч. за рахунок: зменшення витрат на електроенергію  $2650000 - 224/1000 = 593\ 600$  грн.; зростання випуску чавуну  $4000000 \cdot 0,05 \cdot (1590 - 800) = 158150000$  грн.; зниження витрат на заробітну плату при зменшенні чисельності робітників  $800 \cdot 1600 \cdot 12 = 15360000$  грн.; зниження витрат умовного палива на тонну чавуну  $320 \cdot 4000000 \cdot 1,05 \cdot 12/750 = 21504000$  грн.

Досягнутий економічний ефект за рік забезпечив економію коштів у сумі **195600000 грн.**

Робота з введення в дію ДП № 9 КДГМК «Криворіжсталь» після капітального ремонту була завершена в 2003 р. Найбільш вагомий внесок у розробку та впровадження нових рішень та застосування передових технологій при її реконструкції внесли: ВАТ «Важпромелектропроект», ЗАТ «Променергоавтоматика» та управління електромонтажних робіт «Укрелектромонтаж» Державної корпорації «Укрмонтаж-спецбуд».

Надійшла 27.09.2007 р.



**Відкрите акціонерне товариство Український науково-дослідний та проектний інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського**

### **ОГОЛОШУЄ ПРИЙОМ ДО АСПІРАНТУРИ**

зі спеціальностей: **05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди;**  
**05.23.17 – будівельна механіка.**

До аспірантури на конкурсній основі приймаються особи, які мають вищу освіту і кваліфікацію спеціаліста або магістра. Вступники складають іспити зі спеціальності, філософії та іноземної мови.

Заява про вступ до аспірантури подається на ім'я голови правління товариства. До заяви додаються:

- 1) особовий листок з обліку кадрів;
- 2) реферат з обраної спеціальності або список опублікованих наукових праць, авторських свідоцтв на винаходи;
- 3) копія диплома про вищу освіту;
- 4) медична довідка про стан здоров'я за формою 286-у;
- 5) копія довідки про присвоєння ідентифікаційного номера;
- 6) фотокартка розміром 3 4 см;
- 7) копія паспорта.

*Документи приймаються до 10 вересня 2008 року*

### **ОГОЛОШУЄ ПРИЙОМ ДО ДОКТОРАНТУРИ**

зі спеціальностей: **05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди;**  
**05.23.17 – будівельна механіка.**

До докторантури приймаються особи, які мають науковий ступінь кандидата технічних наук, для завершення досліджень за темою дисертації.

Заява про вступ до докторантури подається на ім'я голови правління товариства. До заяви додаються:

- 1) особовий листок з обліку кадрів;
- 2) список опублікованих наукових праць, авторських свідоцтв на винаходи;
- 3) розгорнутий план дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук;
- 4) копія диплома про присудження наукового ступеня кандидата технічних наук;
- 5) копія диплома про вищу освіту з додатком;
- 6) копія довідки про присвоєння ідентифікаційного номера;
- 7) фотокартка розміром 3 4 см;
- 8) копія паспорта.

*Документи приймаються до 1 грудня 2008 року*

**Київ, проспект Визволителів, 1, ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського», к. 407.**  
**Тел.: (044) 501-87-79, 543-98-46.**

**Додаткова інформація на сторінці веб-сайта: <http://urdisc.com.ua>**



## ОСОБЛИВОСТІ ОБЛІКУ ТА ОПОДАТКУВАННЯ ДОВГОСТРОКОВИХ ДОГОВОРІВ У ГАЛУЗІ БУДІВНИЦТВА



**В.П. Кергет**  
виконавчий директор  
з фінансово-економічних питань  
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція  
ім. В.М. Шимановського»

У практиці виконання проектних та будівельно-монтажних робіт існують різні види договорів. Як правило, ці договори укладаються за стандартними схемами з віддзеркаленням усіх обов'язкових умов. У той же час, податкове законодавство України дозволяє оптимізувати сплату податків до бюджету за умови укладання специфічного виду договору, який отримав назву «довгостроковий». На сьогоднішній день багато будівельних та проектних організацій не наважуються у своїй господарській діяльності використовувати довгострокові договори у зв'язку з цілою низкою властивих їм особливостей.

Поняття довгострокових договорів наведено у п. 7.10.2 [1] – «довгостроковий договір (контракт) є будь-яким договором на виготовлення, будівництво, установку або монтаж матеріальних цінностей, які входять до складу основних фондів, а також на створення нематеріальних активів, пов'язаних із таким виготовленням, будівництвом, установкою або монтажем (послуг типу «інжиніринг», науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт і розробок), за умови якщо такий контракт не планується завершити раніше, ніж через 9 місяців від моменту здійснення перших витрат або отримання авансу (попередоплати)». Щоб договір вважався довгостроковим, він повинен відповідати певним умовам, які відображені в табл. 1.

Таблиця 1

Критерії і характеристика довгострокових договорів

Критерії	Характеристика	
Тривалість	Від дати здійснення перших витрат або отримання авансу до запланованої дати завершення договору повинно пройти не менше 9 місяців	
Види робіт	Виготовлення, будівництво, установка, монтаж	Створення
Результат робіт	Основні фонди замовника або їх складові	Нематеріальні активи, пов'язані з основними фондами
Статус і наміри замовника	Замовник зобов'язаний мати статус, що дозволяє утримувати на балансі основні фонди [визначено п. 8.2.1 [1], а також мати намір використовувати те, що буде виконавець, саме як основні фонди	

Може скластися враження, що норма п. 8.2.1 [1] вводить додаткові обмеження на застосування довгострокових договорів, оскільки тут під терміном «платник податку» розуміється «платник податку на прибуток», а не платник податків взагалі. Тому з числа замовників начебто випадають нерезиденти, платники єдиного податку і фізичні особи.

Основним аргументом проти такої позиції є той факт, що п. 8.2.1 [1] використовується з метою оподаткування основних фондів і не може регулювати норми спеціального п. 7.10 [1]. Ще одним аргументом є суперечність другому абзацу п. 7.10.11 [1], де мова йде про те, що коли «об'єкт будівництва не входить до складу основних фондів замовника, останній збільшує свої валові витрати на суму понесених витрат». Цю точку зору також підтримує Держкомпідприємництва у своїх листах № 2-221/5977 від 10.12.2002 р. і № 2904 від 18.04.2005 р.

Таким чином, платник податків має право, але не зобов'язаний вибрати особливий порядок оподаткування щодо кожного окремого договору. Тому одночасно він може враховувати різні будівельні контракти за окремою або за загальною формою оподаткування.

**Бухгалтерський і податковий облік замовника** має звичайний характер, а будівництво ведеться господарським або підрядним способом. При господарському способі довгостроковий договір не може бути реалізований оскільки замовник і виконавець – одна особа. В цьому випадку у податковому обліку замовника валові витрати не нараховуються, а сума використаних у будівництві інших матеріалів методом «сторно» знімається з витрат цього податкового періоду. Але якщо відомо, що запаси будуть використані у будівництві, то валових витрат не повинно бути спочатку. При цьому податковий кредит із податку на додану вартість (ПДВ) відображається у звичайному порядку, оскільки право на податковий кредит із ПДВ у замовника виникає за умови подальшого обов'язкового використання основних фондів у господарській діяльності.

При веденні робіт підрядним способом бухгалтерський облік у замовника ведеться аналогічно. Особливістю цього випадку є те, що часто замовник повністю або частково забезпечує виконавця необхідними матеріалами (без передачі права власності), про що вказується у договорі.

*Приклад* (табл. 2). Відповідно до умов договору замовник передав виконавцеві для будівництва за актом приймання-передачі матеріали для виконання будівельних робіт, які не були повністю використані. Операція передачі матеріалів виконавцеві і повернення не використаних ним матеріалів замовнику у податковому обліку не відбивається, оскільки не відбувається перехід права власності, а товароматеріальні цінності залишаються на балансі замовника.

Таблиця 2

**Бухгалтерський облік замовника при будівництві підрядним способом при передачі матеріалів виконавцю**

Зміст господарської операції	Бухгалтерський облік		
	дебет рахунків	кредит рахунків	сума, грн.
Передача замовником будівельних матеріалів виконавцю для використання у будівництві	206	2051	150000
Списання використаних виконавцем матеріалів	151	206	140000
Повернення невикористаних залишків замовнику	2051	206	10000
Підписання Акта виконаних робіт із виконавцем (витрати у складі капітальних інвестицій)	151	631,685	180000
	641	631,685	36000
Оплата за виконані роботи	631	311	216000
Уведення в експлуатацію	151	205	320000

Якщо виконавець використовує облік довгострокових договорів відповідно до п.7.10 [1], то у замовника право на податковий кредит виникає тільки при отриманні податкової накладної від виконавця довгострокового договору. Згідно з п. 7.5.4 [2] датою виникнення права замовника на податковий кредит із договорів, що є довгостроковими, є дата збільшення валових витрат замовника довгострокового договору! Але при спорудженні основних фондів валових витрат у замовника не виникає!

Звідси, на перший погляд, впливає висновок, що замовник довгострокового договору не має права на податковий кредит. Але це не так! Відповідно до третього і четвертого абзаців п. 7.4.1 [2] право на податковий кредит є, якщо побудовані (придбані) замовником основні фонди планується використовувати у господарській діяльності, тобто амортизація цих основних фондів буде впливати на зменшення оподаткування об'єкта.

Крім того, щодо права на податковий кредит у замовника довгострокового договору є роз'яснення в листі ДПАУ № 10125/7/16-1617 від 22.05.2007 р., згідно з яким замовник формує податковий кредит із ПДВ, визначений і вказаний у виписаній на дату виникнення податкових зобов'язань виконавцем довгострокових договорів податковій накладній, на дату отримання такої накладної.

**Бухгалтерський облік виконавця** будівельного контракту має свої особливості. Згідно з п. 3 [4]: «доходи і витрати протягом виконання будівельного контракту признаються з урахуванням ступеня завершеності робіт на дату балансу, якщо кінцевий фінансовий результат цього контракту може бути достовірно оцінений». Таким чином, у бухгалтерському обліку аванси, отримані від замовника, не включаються до складу доходів від виконання контракту. Вони просто збільшують зобов'язання виконавця, а після завершення виконання контракту і визнання доходу – зменшуються.

На практиці у більшості випадків ступінь завершеності робіт на дату балансу визначається методом оцінки виконаних робіт. Цей метод передбачає фактичний обмір виконаних робіт і їх оцінку згідно з кошторисною вартістю робіт. Виконавець щомісячно веде облік виконаних робіт у Журналі обліку ведення виконаних робіт (ф. № КБ-б); на підставі записів складаються Акт прийому виконаних робіт (ф. № КБ-2А) і Довідка про вартість підрядних робіт (ф. № КБ-3). Сума доходів вже визначена у цих документах.

Згідно з п. 10 [4] до доходу від будівельного контракту включаються контрактна ціна, сума відхилень, претензій і заохочувальних виплат. Бухгалтерські проводки довгострокового договору наведені у табл. 3.

Таблиця 3

**Бухгалтерські проводки виконавця довгострокового договору**

Зміст операції	Дебет рахунків	Кредит рахунків
Підписання Акта виконаних будівельних робіт, на підставі якого виставлений рахунок до сплати	36 – Розрахунки з покупцями, замовниками	703 – Доходи від реалізації робіт, послуг
Виникнення податкових зобов'язань із ПДВ	703 – Доходи від реалізації робіт, послуг	641 – Розрахунки за податками
Однотимчасне відображення рахунку замовника (без ПДВ)	238 – Незавершені будівельні контракти	239 – Проміжні рахунки
Сума доходу від виконання контракту, списана на фінансовий результат	703 – Доходи від реалізації робіт, послуг	791 – Результат основної діяльності
Оплата рахунку замовником	31 – Рахунки в банках	36 – Розрахунки з покупцями, замовниками

Виконавець робіт при обранні особливого порядку оподаткування для визначення валових доходів повинен застосувати оцінювальний коефіцієнт  $K_{оц}$  виконання довгострокового договору, який обчислюється за формулою  $K_{оц} = B_{ф} / B_{з}$ , де  $B_{ф}$  – фактичні витрати звітного періоду, сплачені або нараховані за першою подією, а  $B_{з}$  – загальні витрати, які виконавець планує здійснити.

Таким чином, у виконавця повинен бути плановий кошторис (приклад якого наведений у табл. 4) до договору, який обліковується як довгостроковий, що складається зі статей витрат, які прямо або побічно включаються у фактичні витрати звітного періоду.

Загальногосподарські і адміністративні витрати, як непрямі витрати, плануються у відсотках до витрат на оплату праці або до будь-якої іншої бази розрахунку і списуються на довгостроковий договір кожного податкового періоду. Так само слід чинити і з фактичними витратами, тобто необхідно спланувати, які з них визначатимуться за методом нарахування (заробітна плата, відрахування до фондів), а які за фактом оплати (контрагенти, субпідрядники, відрядження, матеріальні витрати тощо). Крім того, слід визначити (оскільки законодавчо затверджені норми з цього питання відсутні) чи вестиметься облік витрат матеріалів із застосуванням п. 5.9 [1], тобто, чи будуть матеріали списуватися на витрати у міру їх використання.

**Плановий кошторис до довгострокового договору**

Статті витрат	Вартість, тис. грн.	Непрямі витрати, %
Витрати на оплату праці	586,4	—
Відрахування на соціальні заходи (36,8 %)	215,8	—
Матеріали	6,2	—
Витрати на відрядження	10,0	—
Спеціальні придбання для проектних чи дослідних робіт	—	—
Витрати на роботи, які виконують сторонні організації	17606,1	—
Інші прямі витрати	21,5	—
Загальновиробничі витрати	44,8	7,64
Адміністративні витрати	267,5	45,62
Усього собівартість	18758,3	—
Прибуток	560,3	—
Разом кошторисна вартість	19318,6	—

Усіх прийнятих методів із обліку витрат довгострокового договору необхідно дотримуватись протягом усього терміну його виконання і відображати у спеціальному наказі.

Доходи звітного періоду  $D_z$  виконавець визначає за формулою  $D_z = C_d K_{oc}$ , де  $C_d$  – договірна ціна довгострокового договору (загальна сума коштів, яку замовник повинен виплатити виконавцеві за весь обсяг робіт без ПДВ).

Таким чином, отримана попередплата (аванс) не включається у всій сумі до складу валових доходів виконавця, а тільки за проведенням розрахунком. У даному випадку правило першої події не діє, що також стосується і ПДВ.

Доцільно щомісячно проводити розрахунок витрат і доходів із кожного довгострокового договору за наступною схемою:

1. Сума планових витрат довгострокового договору згідно із затвердженим кошторисом – 18758300,00 грн.

2. Сума фактичних витрат за квітень 2007 року (без ПДВ), у тому числі:

- витрати на оплату праці – 50000,00 грн.;
- відрахування до фондів соціального страхування та Пенсійного фонду України (36,8 %) – 18400,00 грн.;
- витрати на оплату робіт, виконаних субпідрядними організаціями – 1606464,67 грн.;
- загальновиробничі витрати (44,9 % від ФОП) – 22450,00 грн.;
- адміністративні витрати (7,6 % від ФОП) – 3800,00 грн.;
- витрати на відрядження – 3171,66 грн.

Усього витрат за звітний період – 1704286,33 грн.

3. Оцінювальний коефіцієнт виконання довгострокового договору згідно з п.7.10.4 [1] (п. 2/п. 1)  $K_{oc} = 1704286,33 / 18758300,00 = 0,09086$ .

4. Договірна ціна довгострокового договору (без ПДВ) – 19318600,00 грн.

5. Валовий дохід за звітний період (п. 4 п. 3)  $D_z = 19318600,00 \cdot 0,09086 = 1755288$  грн.

*Довідково:* сума ПДВ із довгострокового договору за звітний період дорівнює  $1755288 \cdot 0,2 = 351058$  грн.

**Облік податку на додану вартість.** Згідно з п. 7.3.7 [2] у виконавця довгострокового договору податкові зобов'язання виникають із дати (і суми) збільшення валових доходів. З огляду на те, що податкові зобов'язання розраховуються щомісячно, існує потреба розраховувати валові доходи також щомісячно.

Лист ДПАУ № 8193/6/15-2415-26 від 01.10.2003 р. пов'язує, що відповідає [1], податкові зобов'язання з ПДВ і дату збільшення валових доходів виконавця довгострокового договору. Згідно з п. 7.5.4 [2] у замовника довгострокового договору податковий кредит виникає з дати і суми збільшення валових витрат замовника. Але це практично неможливо, оскільки виконавець може дати податкову накладну тільки на розрахункову суму своїх податкових зобов'язань. Тому з суми перерахованих авансів виконавцеві замовник одразу не отримує податковий кредит у повній сумі.

**Довгостроковий перерахунок.** Після завершення кожного довгострокового договору п. 7.10.9 ст. 7 [1] вимагає здійснити «перерахунок сум податкових зобов'язань, заздалегідь визначених ... за наслідками кожного податкового періоду протягом терміну виконання такого довгострокового договору (контракту)». Суть перерахунку полягає в тому, щоб замість планових показників, використаних у попередніх розрахунках, застосувати фактичні. Після виконання перерахунку і визначення уточнених сум валового доходу для кожного періоду, необхідно порівняти їх із сумами валового доходу, отриманими в результаті попередніх розрахунків. При цьому отримана різниця може бути як позитивною, так і негативною.

Якщо за результатами перерахунку виявляється, що платник податку завищив або занижив суму податкових зобов'язань, розраховану за результатами будь-якого попереднього податкового періоду протягом виконання довгострокового договору, то вказане завищення або заниження враховується відповідно зменшенням або збільшенням валового доходу платника податку в податковому періоді завершення довгострокового договору шляхом застосування до розрахованої суми різниці відсотка (величина якого дорівнює 120 % ставки Національного банку України, що діяла на момент здійснення такого перерахунку) за термін дії такої переоплати або недоплати.

За період виконання довгострокового договору розмір ставки може змінюватися декілька разів, але для перерахунку це не має значення. У п. 7.10.9 ст. 7 [1] вказано, що використовувати слід ставку, що діє «на момент здійснення такого перерахунку». Якщо розуміти це формулювання буквально, то «моментом» може бути будь-який день між датою фактичного завершення договору (підписанням відповідного акта) і датою подання податкової декларації за цей період. Наприклад, договір завершений 10 січня, а декларація надана 7 травня. За цей час розміри ставок можуть змінитися, отже, у платника податків може з'явитися можливість вибору найбільш вигідної ставки. При цьому очевидно, що якщо в результаті перерахунку необхідно буде збільшити валовий дохід, потрібно брати найменшу з можливих ставок. Якщо ж дохід треба буде зменшувати, то навпаки – найбільшу.

Відсоток нараховується за весь період, протягом якого мали місце переоплата або недоплата [1]. Оскільки перерахунок виконується по кожному кварталу окремо, то і період, про який йдеться, буде не один. Їх буде стільки, скільки календарних кварталів продовжувалося виконання довгострокового договору, мінус один – останній. При цьому кожен подальший період (якщо першим вважати період здійснення перших витрат за договором) буде коротший попереднього приблизно на 90 днів.

Крім того, в [1] чітко не встановлено, що ж вважати моментом виникнення переоплати або недоплати. Логічно припустити, що це не дата фактичної сплати податку за відповідний період, а дата, яку законодавство називає граничним терміном сплати для даного податку. Тоді період, протягом якого мали місце переоплата або недоплата, – це період, який починається зі вказаної дати і закінчується датою фактичної сплати уточненої суми податкових зобов'язань після завершення виконання договору. Одиницею вимірювання такого періоду можуть бути тільки дні.

Алгоритм перерахунку після завершення довгострокового будівельного контракту має наступний вид. Фактичний коефіцієнт виконання довгострокового договору  $K_{\phi}$  дорівнює:  $K_{\phi} = P_{\phi,n} / P_{\phi,заг}$ , де  $P_{\phi,n}$  – фактичні витрати відповідного періоду, а  $P_{\phi,заг}$  – фактичні загальні витрати при виконанні довгострокового договору. Фактичний дохід  $D_{\phi}$  відповідних податкових періодів визначається як  $D_{\phi} = C_k / K_{\phi}$ , де  $C_k$  – кінцева ціна довгострокового договору.

Розглянемо три випадки, які можуть виникнути при аналізі відхилень фактичних і розрахункових показників.

1. *Суми заздалегідь розрахованих податкових зобов'язань співпадають із фактичними* – ніяких коригувань у податковому обліку не потрібно.

2. *Сума податкових зобов'язань завищена* – завищення податкових зобов'язань визначається як різниця між заздалегідь визначеним податковим зобов'язанням і податковим зобов'язанням, визначеним за наслідками перерахунку.

Сума зменшення податкових зобов'язань при завершенні довгострокового договору визначається множенням трьох складових: сума завищення податкових зобов'язань помножується на 120 % облікової ставки НБУ на момент перерахунку, яка ділиться на 365, і на число календарних днів переплати.

3. *Сума податкових зобов'язань занижена* – заниження податкових зобов'язань визначається як різниця між податковим зобов'язанням, визначеним за наслідками перерахунку і заздалегідь визначеним податковим зобов'язанням.

Сума збільшення податкових зобов'язань при завершенні довгострокового договору визначається множенням трьох складових: сума заниження податкових зобов'язань помножується на 120 % облікової ставки НБУ на момент перерахунку, яка ділиться на 365, і на число календарних днів переплати.

Таким чином, порядок перерахунку валових доходів повністю відповідає чинній нормі [1]. Щодо ПДВ, то п. 7.3.7 [2] прив'язує податкові зобов'язання з ПДВ до валових доходів. Отже, якщо після проведення перерахунку після закінчення довгострокового договору валові доходи змінюються (збільшуються або зменшуються), то в цьому податковому періоді повинні бути також відповідним чином відкориговані і податкові зобов'язання з ПДВ. Ось тільки застосовувати до різниці облікову ставку НБУ, збільшену на 120 %, немає потреби.

**Терміни давності довгострокових договорів.** У п. 7.10.9 ст. 7 [1] вказано, що «відлік терміну позовної давності починається з податкового періоду, в якому завершується довгостроковий договір (контракт)». Тому згідно з п. 15.1.1 ст. 15 [3] податковий орган має право самостійно визначити суму податкових зобов'язань платника податків не пізніше закінчення 1095 дня, наступного за останнім днем граничного терміну подання податкової декларації, а у випадку, якщо така податкова декларація була представлена пізніше – за днем її фактичного надання.

Припустимо, що при складанні декларації за I квартал 2002 р. платник податків невірно розрахував оцінювальний коефіцієнт із одного з довгострокових договорів, що призвело до заниження суми валового доходу з цієї операції і загальної суми податкових зобов'язань. Граничним терміном подання податкової декларації за цей період є 10 травня 2002 р., мінус 1095 днів – 10 травня 2005 року. Якщо будь-які інші операції, відображені у податковій декларації, не були перевірені податковим органом, то перевіряти їх після цієї дати вже безглуздо – термін закінчився.

Проте це не стосується довгострокового договору, оскільки для нього обчислення терміну позовної податкової давності до вказаної дати могло ще навіть не початися. І якщо допущена умовна помилка буде виявлена, наприклад, у 2006 р., коли договір ще не завершений, то уникнути штрафних санкцій із посиланням на термін давності платникові податків не вдасться. Не вдасться їх уникнути і у тому випадку, якщо до моменту перевірки договір завершений, але термін давності з податкової декларації, в якій відображені результати перерахунку за цим договором, ще не закінчився.

[1] Закон України «Про оподаткування прибутку підприємств» № 283/97-ВР від 22.05.1997 р., зі змінами та доповненнями.

[2] Закон України «Про податок на додану вартість» № 168/97-ВР від 03.04.1997 р., зі змінами та доповненнями.

[3] Закон України «Про порядок погашення зобов'язань платників податків перед бюджетами і державними цільовими фондами» № 2181-III від 21.12.2000 р., зі змінами та доповненнями.

[4] Положення (стандарт) бухгалтерського обліку № 18 «Будівельні контракти»/Затверджено наказом Міністерства фінансів України № 205 від 28.04.2001 р.

*Поздравляем с 75-летием*

## **АНАТОЛИЯ ВИКТОРОВИЧА ПЕРЕЛЬМУТЕРА**

**известного ученого, доктора технических наук,  
действительного члена Академии строительства  
Украины, иностранного члена Российской академии  
архитектуры и строительных наук,  
члена Национального комитета Украины  
по теоретической и прикладной механике,  
действительного члена Международной академии  
наук комплексной безопасности**



Перельмутер А.В. окончил Киевский национальный университет строительства и архитектуры (1955). Позже работал профессором кафедры металлических и деревянных конструкций университета. Его инженерная и научная деятельность связана с институтом «УкрНИИпроект-стальконструкция им. В.Н. Шимановского», Институтом исследований окружающей среды и ресурсов при СНБО Украины, научно-производственной компанией СКАД Софт. Много лет он работал в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, где закончил аспирантуру, защитил кандидатскую (1969) и докторскую (1987) диссертации.

Как инженер-проектировщик Анатолий Викторович принимал участие и руководил созданием многих важных объектов, среди которых проекты ряда значимых высотных сооружений (телевизионные башни в Санкт-Петербурге, Тбилиси, Ереване и Киеве, мачтовые сооружения радиостанций Багдада и Гаванны, башни и мачты многих специальных объектов связи), проекты таких промышленных объектов, как сборочный корпус Запорожского трансформаторного завода и электросталеплавильный цех Электростали, разработка оригинальных методов борьбы с вибрациями. Перельмутер А.В. автор ряда изобретений в области усовершенствования конструктивных форм строительных конструкций. Всего с его участием запроектировано более 35 тысяч тонн строительных металлоконструкций.

Научная деятельность Перельмутера А.В. связана с несколькими актуальными направлениями исследований: нелинейные проблемы строительной механики, теория устойчивости равновесия, проблемы надежности и безопасности строительных конструкций, оценка технического состояния эксплуатируемых конструкций, методика автоматизированного проектирования. Цикл работ Перельмутера А.В. посвящен автоматизации расчетов и созданию программных средств для их реализации. Программная система SCAD Office, в разработке которой он принимал участие в качестве научного руководителя и постановщика задач, нашла широкое применение в разных странах. Многие исследования Анатолия Викторовича в области теории надежности несущих конструкций, оценки остаточного ресурса, продления сроков службы зданий и сооружений были положены в основу ряда нормативных документов СССР, Украины и России.

Перельмутер А.В. опубликовал более 250 научных работ, в том числе 28 книг, 14 изобретений, 11 нормативных документов. Заслуженной популярностью пользуются написанные им книги «Основы расчета вантово-стержневых систем» (1969), «Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций» (1999, 2000 и 2007), «Расчетные модели сооружений и возможность их анализа» (в соавторстве с В.И. Сливкером, 2001, 2002 и 2007). Под его редакцией написаны книги «Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні» (2002) и «Нагрузки и воздействия на здания и сооружения» (2005 и 2006). Работы Перельмутера А.В. хорошо известны в нашей стране и за рубежом. Анатолий Викторович Перельмутер – участник многих международных конференций и симпозиумов, его работы были опубликованы в Польше, Германии, США, Литве, Чехии, Италии.

**Сердечно поздравляем Анатолия Викторовича Перельмутера  
с юбилеем, желаем ему здоровья, бодрости и многих лет плодотворного творчества.  
Коллеги, редколлегия журнала**

**ДО ВІДОМА ДОПИСУВАЧІВ ЖУРНАЛУ !**

**Вимоги щодо публікації статей:**

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

**ДО ВІДОМА РЕКЛАМОДАВЦІВ !**

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

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

**ОБКЛАДИНКА (190 x 220 мм):**

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

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

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

Рекомендовано до друку вченою радою ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського» (протокол № 4 від 22.05.2008 р.)

**Адреса редакції та видавця:** просп. Визволителів, 1, Київ, 02660,  
ВАТ «УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського»  
**тел. (044) 516-52-85, e-mail: redakpbis@urdisc.com.ua**

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

Підписано до друку 10.06.2008 р. Формат 60 84/8. Папір крейдяний. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 8,1.  
Тираж 300 прим.

**Віддруковано ТОВ «Друкарня «Бізнесполіграф»**, вул. Віскозна, 8, м. Київ, 02094, тел. 503-00-45  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2715 від 07.12.2006 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