



Товариство з обмеженою відповідальністю
«Український інститут сталевих конструкцій
імені В. М. Шимановського»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
Українського інституту сталевих конструкцій
імені В. М. Шимановського



Під загальною редакцією
заслуженого діяча науки і техніки України,
доктора технічних наук,
професора О. В. Шимановського

Науковий збірник

Випуск 7

Видавництво «Сталь»
Київ – 2011

УДК 061.62+624.014

ББК 30.43-415

З-415 Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського / Під загальною редакцією заслуженого діяча науки і техніки України, д. т. н., професора О. В. Шимановського. – К. : Сталь, 2011. – Вип. 7 – **268** с.

ISBN 978-966-1555-57-9

У збірнику наведено статті з результатами досліджень у галузі розрахунку та проектування конструкцій, теоретичної та будівельної механіки, теорії пружності та пластичності. Особливу увагу приділено розвитку методів розрахунку і проектування конструкцій, будівель та споруд, розробленню раціональних типів конструкцій, експериментально-теоретичним дослідженням роботи елементів і з'єднань, удосконаленню матеріалів, технології виготовлення і монтажу, ремонту і реконструкцій будівель і споруд, розвитку та вдосконаленню нормативної бази в галузі будівництва, а також дослідженням напружено-деформованого стану тіл складної структури при постійних і змінних у часі навантаженнях, включаючи випадкові впливи. Для наукових працівників, аспірантів та інженерів, зайнятих у різних галузях науки і техніки.

УДК 061.62+624.014

ББК 30.4

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Шимановський О.В., д.т.н. (відп. редактор); Адріанов В.П.; Божко В.А., к.т.н.; Гайдайчук В.В., д.т.н.; Голоднов О.І., д.т.н. (відп. секретар); Гордеев В.М., д.т.н. (заст. відп. редактора); Гром А.А., к.т.н.; Гуляев В.І., д.т.н.; Кириллов В.В.; Корольов В.П., д.т.н.; Лисицин Б.М., д.т.н.; Лебедич І.М., к.т.н.; Оглобля О.І., д.т.н.; Цихановський В.К., д.т.н.

АДРЕСА РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

вул. В. Шимановського, 2/1,
м. Київ, 02660,
ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»
тел. 543-97-40, e-mail: icbmc@urdisc.com.ua

ISBN 978-966-1555-57-9

© ТОВ «Укрінсталькон ім.
В.М. Шимановського»

ЗМІСТ

Ажермачёва К. С. О причинах наклона опытного ледостойкого основания в акватории Азовского моря.....	6
Ажермачев Г. А., Ажермачев С. Г., Молошный В. В. Разработка морских месторождений углеводородов на шельфе Черного моря и вопросы экологии.....	12
Білик С. І., Володимирський В. О., Білик А. С. Період повторюваності для конструкцій з короткими строками служби.....	19
Білик С. І., Білик А. С., Усенко М. В., Золотопольський О. Е. Стійкість холодногнутих швелерів з урахуванням пластичних властивостей маловуглецевих сталей.....	26
Билык С. И., Пашун Л. А., Балакина С. В., Остапчук-Петровская Л. Б., Войцеховская Г. А. К 100-летию со дня рождения Жербина Михаила Михайловича...	36
Волошин В. С. Задачи совершенствования подготовки кадров по направлениям промышленной и технологической безопасности	42
Куземко В. В., Нужний В. В., Орешин Г. Ю. Ефективні сталеві кроквяні системи для модернізації покриттів типових адміністративних багатоповерхових будівель зі збірного залізобетону.....	48
Похмурський В. І., Маруха В. І., Зінь І. М. Захист від корозії сталевій арматурі пошкодженого тріщинами залізобетону.....	53
Похмурський В. І. Про стан захисту металопонду України від корозії.....	64
Пічугін С. Ф., Семко О. В., Гасенко А. В., Дрижирук Ю. В. Вплив прибудов на несучу здатність конструкцій легкого покриття виробничого цеху.....	70

Склярів І. О., Білик С. І.

Реалізація принципу концентрації матеріалу на прикладі проектування рамних конструкцій змінного перерізу з двотаврів з гнучкою стінкою..... 78

Колесниченко С. В.

Принципы определения остаточного ресурса строительных конструкций в условиях их длительной эксплуатации..... 86

Гайдаєнко А. С.

Влияние технологических факторов на безопасность эксплуатации конструкций зданий и сооружений..... 96

Королёв В. П., Кущенко И. В.

Анализ рисков и предупреждение аварийных ситуаций по критериям технологической безопасности конструкций зданий и сооружений..... 103

Корольов В. П., Кущенко І. В., Магунова Н. Г.

Підтвердження відповідності проектних рішень протикорозійного захисту розрахунковому строку служби алюмінієвих конструкцій у корозійних середовищах..... 111

Королёв В. П.

Корпоративная система подготовки специалистов-экспертов по вопросам технологической безопасности конструкций зданий и сооружений..... 118

Карповский М. Г., Тихомиров В. П.

Полиэтиленовые колодцы для подземных коммуникаций..... 124

Королёв В. П.

Критические функции безопасности при анализе рисков коррозионного разрушения стальных конструкций..... 133

Попов С.В., Брагинский В. Г., Куликова Т. Н.

Расчетно-экспериментальный метод определения морозостойкости бетона на заполнителе из золошлаковой смеси ТЭС..... 141

Нілова Т. О. Компонування моносиметричних перерізів двотаврових елементів із поперечно-гофрованими стінками рамних систем.....	145
Селютин Ю. В., Стрелкова А. Ю. Статические испытания опорных элементов для защиты от вибрации стальных конструкций.....	153
Колесниченко С. В., Кулик А. А., Суярко В. А. Структура стандарта предприятия обеспечения технологической безопасности предприятия.....	160
Топоров А. А., Трет'яков П. В., Боровлев В. М. К вопросу обеспечения технологической и экологической безопасности агрегатов переработки жидких углеродистых масс..	168
Тур В. И., Тур А. В. Автоматизация процесса подготовки исходных данных при расчете сетчатых куполов на все виды нагрузений.....	177
Вимоги до оформлення статей.....	181

УДК 624.041.42

О причинах наклона опытного ледостойкого основания в акватории Азовского моря

Ажермачёва К. С.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, Украина

Аннотация. Рассматриваются причины наклона опорной части морской платформы при подвижке ледовых полей в Азовском море. Показано влияние условий закрепления опорной части на устойчивость сооружения. Указаны пути повышения надежности морских сооружений при ледовых и волновых воздействиях.

Анотація. Розглядаються причини нахилу опорної частини морської платформи при переміщенні льодових полів у Азовському морі. Показано вплив умов закріплення опорної частини на стійкість споруди. Вказані шляхи підвищення надійності морських споруд при льодових і хвильових діях.

Abstract. The reasons of inclination for offshore structure supporting during Azov sea ice field movement are considered. An influence of supporting anchorage conditions for all structure stability is shown. The ways of reliability increasing for offshore structures under ice and water-wave actions are determined.

Ключевые слова: основание, свая, грунт, размыв, ледовые воздействия.

Введение. Добыча углеводородов на Азово-Черноморском шельфе началась с 70-х годов прошлого века. Первая скважина была пробурена на Голицинском месторождении примерно в 80 километрах северозападнее Тарханкутского полуострова на глубине моря 30–40 м.

В это же время геологи открыли Стрелковское месторождение газа с большими запасами в акватории Азовского моря. Это месторождение привлекало внимание специалистов не только своими большими запасами, но и малой глубиной моря.

Азовское море имеет глубину до 14–15 м с относительно суровым ледовым режимом, который определяет, в основном, характер и интенсивность атмосферных процессов, а также постоянно действующие факторы: географическое положение, мелководность, относительно небольшая соленость и слабый глубинный обмен с Черным морем. Все эти обстоятельства способствуют быстрому образованию льда высокой прочности и длительному ледоставу. Слабая защищенность акватории от ветров способствует частым подвижкам ледяных полей и образованию торосов. В связи с этим для разведки и добычи углеводородов на шельфе

Азовского моря необходимы специальные ледостойкие морские сооружения [1, 2, 3, 4].

Однако опыта проектирования и строительства морских сооружений в таких условиях у отечественных специалистов не было. Недостаточно было информации о характере воздействия льда на морские объекты, отсутствовали данные о прочностных свойствах льдов Азовского моря. Все это затрудняло проектирование морских сооружений для разведки и добычи углеводородов в условиях замерзающих морей.

В связи с этим в 1975 г. Мингазпромом СССР было осуществлено строительство опытного ледостойкого основания на Стрелковском газовом месторождении на расстоянии 1,4 км от берега при глубине моря 5 м. Предполагалось на опытном сооружении в натуральную величину определить ледовые нагрузки, которые возникают при подвижке ледовых полей под воздействием ветров.

Цель исследования – определение причин наклона опорной части опытной морской платформы.

Конструкция опытного ледостойкого основания была разработана специалистами отраслевой научно-исследовательской лаборатории морских нефтепромысловых гидротехнических сооружений МИСИ совместно с лабораторией морского промыслового дела ВНИИгаза в соответствии с действующими в то время СНиП 11-57-75 [5].

Опытная опора ледостойкого сооружения представляла собой восьмигранную пустотелую призму высотой 11,7 м, образованную из девяти железобетонных колец высотой 1,3 м каждый. В плане опора имела следующие размеры: ширина по граням – 7,26 м, диаметр внешней описанной окружности восьмигранника – 7,84 м, длина внешней стороны восьмигранника – 3 м. (рис. 1).

Закрепление опорного блока к морскому основанию осуществлялось 16 стальными трубчатыми сваями. Для этого в железобетонных кольцах толщиной 1 м предусматривалось 16 вертикальных отверстий, по два на каждую сторону восьмигранника, диаметром 530 мм для забивки через них стальных труб диаметром 426 мм на глубину 10–12 м. Для обеспечения заданной устойчивости опоры на глубину 25 м были забиты бурозаливные сваи с анкерами из труб 325 мм и 245 мм. Железобетонные кольца опоры и сваи по длине омоноличивались под давлением цементным раствором [6].

Для измерения горизонтальных ледовых нагрузок были специально изготовлены измерительные щиты, установленные по периметру опоры в зоне воздействия льда.

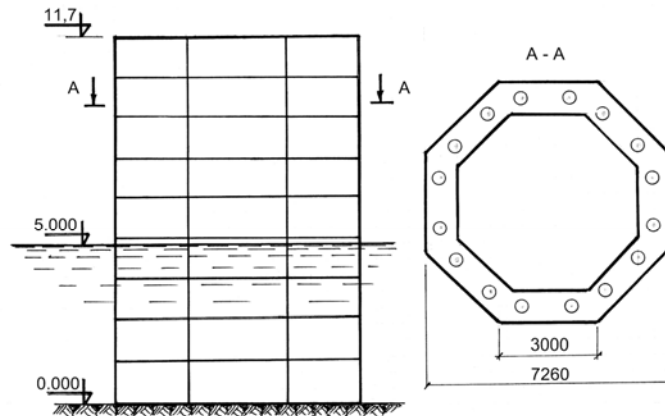


Рис. 1. Общий вид железобетонной опоры

Исследования показали, что максимальная ледовая нагрузка на всю опору составляет 435–478 тс в зависимости от направления воздействия льда. В то время как ледовая нагрузка на опору, определенная по СНиП 11-57-75, должна составлять 240–250 тс, а с учетом коэффициента торосистости составляла бы 312–325 тс.

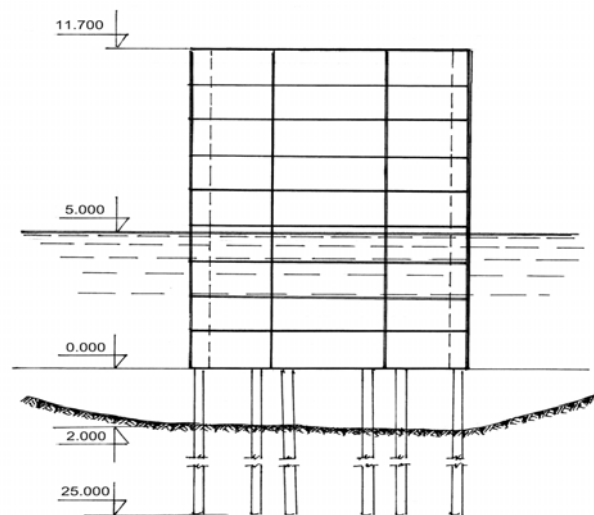


Рис. 2. Размыв грунта под опорой в результате воздействия волн

Таким образом, действительная ледовая нагрузка, определенная экспериментально, превышала расчетную, определенную по [5], на 40–

50%. Главная причина в том, что существовавшие тогда СНиП нечетко учитывали смерзание льда с опорой и соотношение размеров диаметра опоры и толщины льда. Если бы были учтены эти факторы, то расчетная ледовая нагрузка могла составлять 441–476 тс, что почти совпадает с результатами эксперимента.

В результате свайное основание, закрепляющее опору к морскому дну, работало в запредельном режиме.

При разработке проекта опоры не была учтена возможность размыва грунта вокруг опоры под действием морских волн. Между основанием опоры и дном в результате размыва образовался зазор. При волнении моря уровень воды внутри опоры изменялся, происходило «всасывание» воды при набеге волн, а это значительно ускоряло размыв грунта вокруг опоры и внутри нее. Сваи оголились и работали в режиме высокого ростверка. Обследование придонной части опоры, проведенное в июле 1977 г., показало, что отдельные сваи оголились на высоту до 2 м, а площадь размыва у опоры оставляла около 100 м², при этом было вымыто грунта около 750 м³ (рис. 2).

Проведенные обследования показали, что при строительстве морских сооружений с большой теневой площадью для волн необходимо обеспечивать защиту сооружения от возможного размыва грунта у его основания. Это может быть каменная наброска на несколько метров вокруг сооружения, укрепление грунта специальными синтетическими матами, заглубление сооружения на несколько метров при помощи специальных бортовых ножей и т. п.



Рис. 3. Наклон железобетонной опоры при подвижке льда (Азовское море)

Последующие зимы были достаточно суровы, и при подвижке льда опора наклонилась (рис. 3) в результате изгиба свай и деформации грунта (верхние слои грунта представляли собой илы).

После проведенных исследований были сделаны выводы, что придонная часть платформы для данных условий должна быть «прозрачной» для волн и течений, а верхняя часть должна создавать минимальную горизонтальную нагрузку при воздействии льда.

При разработке проекта первой ледостойкой рабочей морской платформы в СССР для условий Азовского моря специалисты ВНИИПИшельф предложили конструктивное решение с учетом вышеуказанных требований (рис. 4). Придонный блок сделали в виде пространственной решетчатой конструкции, которая свободно пропускает волны и течения. Основные опоры, поддерживающие рабочую палубу и вертолетную площадку, сделали из стальных труб диаметром 1420 мм, а для повышения прочности опор соосно установили трубы диаметром 1220 мм и 1020 мм. С целью обеспечения совместной работы всех труб межтрубные пространства заполнили бетоном.



Рис. 4. Конструктивное решение опорной части первой морской ледостойкой платформы для условий Азовского моря

Морская ледостойкая платформа закрепляется к основанию 20 стальными сваями из труб. Она была построена на Стрелковом месторождении в 1982 году и добывает газ в настоящее время.

Выводы

1. Опорные конструкции ледостойкой морской платформы должны создавать минимальные горизонтальные нагрузки от ледовых полей при их подвижке.

2. Конструктивное решение придонных блоков морских платформ не должно создавать условия для размыва грунта в зоне закрепления к основанию.

Литература

- [1] Асур А. Воздействия льда на вертикальные сооружения / А. Асур // Лед и его воздействия на гидротехнические сооружения : труды симпозиума. – Л., 1972. – С. 119–128.
- [2] Афанасьев В. П. Давления льда на морские отдельно стоящие опоры / В. П. Афанасьев, Ю. В. Долгополов, З. И. Швайштейн // Труды ААНИИ. –Л. : Гидрометиоиздат, 1972. – Том 300. – С. 61–80.
- [3] Вершинин С. А. Давление льда на отдельно стоящие опоры по лабораторным и натурным исследованиям / С. А. Вершинин, Е. М. Копайгородский, В. В. Панов, З. И. Швайштейн // Труды ААНИИ. – Л. : Гидрометиоиздат, 1975. – Том 326. – С. 56–66.
- [4] Копайгородский Е. М. Исследования ледовых воздействий на цилиндрические опоры при подвижке ледового поля / Е. М. Копайгородский, С. А. Вершинин // Гидротехническое строительство. – 1973. – № 9. – С. 12–14.
- [5] СНиП 11-57-75. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – М. : Стройиздат, 1976. – 40 с.
- [6] Дудик Э. Ф. Исследование ледовых нагрузок на морские газопромысловые сооружения в Азовском море / Э. Ф. Дудик, В. И. Макаенко, Е. М. Копайгородский, Г. Н. Евдокимов // Нефтегазопромысловые сооружения. – 1978. – № 10. – С. 7–10.

УДК 624.047.2:622.24.085;502.1

Разработка морских месторождений углеводородов на шельфе Черного моря и вопросы экологии

Ажермачев Г.А., к.т.н., Ажермачев С.Г., к.т.н., Молошный В.В. инженер
Национальная академия природоохранного и курортного строительства, Украина

Анотация. Рассматриваются особенности морской добычи углеводородов. Показаны случаи аварий, приведших к большим материальным потерям, человеческим жертвам и экологическим катастрофам. Даются рекомендации, позволяющие уменьшить риск аварий.

Анотація. Розглядаються особливості морського видобутку вуглеводнів. Показані випадки аварій, що привели до великих матеріальних втрат, людських жертв і екологічних катастроф. Даються рекомендації, що дозволяють зменшити ризик аварій.

Abstract. Peculiarities of sea hydrocarbons production are examined. The hazards which were the reasons of big human and property losses, as well as environmental disasters are shown. Recommendations for risk hazards decreasing are provided.

Ключевые слова: углеводороды, добыча, морские платформы, аварии, ущерб.

Введение. Потребность в углеводородах в мире возрастает с каждым годом. Объем добываемой нефти и газа на суше не удовлетворяет эту потребность. Уже 25 ÷ 30% всех извлекаемых углеводородов добывается на шельфах морей, несмотря на то, что эта добыча обходится в 5 ÷ 10 раз дороже, чем на суше. Если в первой половине XX века морские месторождения разрабатывались при глубинах моря, в основном, 50 ÷ 150 м, то к концу XX века были покорены глубины 250 ÷ 500 м и более.

Анализ действительных условий работы сооружений континентального шельфа. Разведка и добыча углеводородов на шельфе морей ведется, как правило, с использованием морских платформ стационарного или мобильного типа. На стоимость разработки углеводородных месторождений на шельфе морей влияют глубина моря, наличие ледового режима, гидрогеологические условия региона, тип морской платформы, способы ее монтажа и другие факторы [1, 2, 3, 4]. Стоимость построенных морских платформ составляет от нескольких десятков миллионов долларов, а иногда превышает миллиард.

Морские платформы – угроза экологии региона.

При создании морских платформ для разведки и добычи углеводородов на шельфе морей специалисты решают многие задачи и в первую очередь:

- обеспечение прочности конструкций при воздействии гидрометеорологических, технологических и других экстремальных факторов;
- транспортировку добываемых углеводородов от места добычи до материковых баз;
- обеспечение экологического равновесия в регионе при монтаже и эксплуатации сооружения.

Однако за полем зрения проектирования часто остаются проблемы, которые могут возникнуть в процессе разведки или добычи полезных ископаемых, так называемые «нештатные ситуации», которые могут затруднить технологический процесс или привести к катастрофам с соответствующими последствиями.

Появление таких ситуаций может показаться на первый взгляд невероятным, однако, как при подготовке космических кораблей к полетам, они должны быть рассмотрены и оценены, а это современная техника уже позволяет сделать. При необходимости должны быть составлены правила или инструкции для действий персонала, эксплуатирующего объект.

Количественный парк морских платформ превышает три тысячи единиц. Только в Мексиканском заливе находятся в эксплуатации более двух с половиной тысяч морских платформ. И чем больше становится платформ, тем больше аварий происходит на этих сооружениях.

Здесь приведем несколько примеров крупных аварий морских платформ, которые привели к большим экономическим потерям, человеческим жертвам и оказали заметные отрицательные последствия на экологию региона.

В 1964 году в Мексиканском заливе на платформе «СП Байкер» компании «Пан-Америкен Петролеум» произошел пожар вследствие выброса нефти и сопутствующего газа через скважину, 22 человека погибли.

В 1977 году в Северном море на платформе «Экофик Браво» компании «Филипс Петролеум» по техническим причинам произошла авария, сопровождавшаяся разливом 28000 тонн нефти. К счастью, вышедшие из скважины нефть и газ не воспламенились. Устранить аварию удалось через неделю. Это самая крупная авария в Северном море за время разработки углеводородных месторождений.

В 1979 году в Мексиканском заливе на платформе «Седко 135 Ф» компании «Петролеос Мехико» по техническим причинам произошла авария, при которой 480000 тонн нефти попало в воды залива. Вышедшие на поверхность газ и нефть воспламенились. В итоге платформа затонула, 120000 тонн нефти осели на дно залива. Авария произошла в 270 км от побережья США, однако побережья Техаса оказались серьезно загрязненными. Вылов биоресурсов сократился на 50–70%.

В 1988 году в Северном море на платформе «Пайпер Альфа» компании «Оксидент» произошла авария, унесшая жизни 162 человек. Утечка газа вызвала взрыв и пожар. Размер ущерба составил 1,3 миллиарда долларов.

21 апреля 2010 года в Мексиканском заливе на платформе «Дипуотер Хорайзн» компании «Бритиш Петролеум» произошла авария, в результате в залив вылилось 670000 тонн нефти, из которых только 110000 тонн нефти были подняты всеми средствами борьбы с разливом. Нефтяное пятно распространилось на площади порядка 75000 квадратных километров.

Для сравнения – это примерно 20% поверхности Черного моря, при том, что более ста судов боролись с разливом нефтяного пятна.

Согласно предварительным оценкам на ликвидацию последствий экологической катастрофы потребуется 30–40 лет или даже больше.

Аварию на платформе «Дипуотер Хорайзн» специалисты называют «Нефтяной Чернобыль».

Только несколько примеров, взятые из сотен известных аварий, показывают, что безаварийная добыча углеводородов на шельфе морей по сей день остается большой проблемой.

Особенности освоения Черноморского шельфа. По данным геологов, Черноморский шельф Украины имеет большие запасы углеводородов [5, 6]. Но несмотря на это, Украина испытывает большой дефицит в нефти и газе, мало внимания уделяется собственной добыче углеводородов, при этом затрачиваются большие средства на их покупку у соседних государств.

В то же время Румыния активно развивает добычу углеводорода на шельфе Черного моря. Сейчас трудно определить, из каких месторождений на Черном море газ идет в Румынию, учитывая, что шельфы Украины и Румынии граничат.

В настоящее время Украина подписала соглашения с компанией США «Шеврон» и с компанией «Роснефть» России на разведку и эксплуатацию месторождений углеводородов на шельфе Черного моря. Это соглашение

позволит Украине снять зависимость от других государств, а может даже стать поставщиком углеводородов в другие страны.

Однако, учитывая вышесказанное, необходимо, чтобы соответствующие компании решили все вопросы, связанные с разведкой и эксплуатацией месторождений со стопроцентной безопасностью не только для морских платформ, но и для шельфа Черного моря.

Если Мексиканский залив и Северное море имеют поверхность и объем воды в несколько раз больше, чем Черное море, при этом их акватории открыты для течений и смены объемов вод, то Черное море представляет собой полузакрытый водоем, где смена воды происходит крайне медленно. А это даже при малых авариях на морских платформах может вызвать больше отрицательные последствия не только для самого моря, но и для стран, которые располагаются вокруг него.

Кроме того, Черное море имеет другие, свои особенности. Около 87% объема вод Черного моря насыщены сероводородом. Время от времени он в больших концентрациях выходит на поверхность моря и загорается. Что произойдет, если в этом случае на поверхности моря будут разливы нефти или будет фонтанировать газ, пожалуй, в настоящее время никто не может сказать.

Наличие сероводорода, растворенного в воде, пагубно влияет на прочность стали. В контакте с сероводородом сталь наводороживается, становится хрупкой и при определенных условиях элементы могут разрушаться при напряжениях значительно меньше, чем усталостная прочность в обычных условиях [1, 8]. Поэтому, кроме всего прочего, необходимо при проектировании принимать соответствующие стали и исключать конструктивные решения элементов и соединений с высокими значениями коэффициентов концентрации напряжений.

Черное море расположено в зоне высокой сейсмической опасности. Здесь могут происходить землетрясения силой $7 \div 9$ баллов по шкале Рихтера. Поэтому морские платформы на шельфе Черного моря должны обладать соответствующей сейсмостойкостью. Сейсмостойкость морских платформ для разведки и добычи углеводородов на шельфе Черного моря зависит от многих факторов, главными из которых можно считать:

- конструктивную схему платформы;
- условия закрепления опорной части платформы к морскому дну;
- выбор материалов для основных конструкций и соединений;
- глубину моря.

Если первые три фактора, как правило, рассматриваются в той или иной степени при проектировании зданий и сооружений в «сухопутных условиях», то четвертый фактор относится только к морским сооружениям.

При колебании грунта морского дна опорные конструкции платформы будут выходить из положения вертикального равновесия и начнут совершать колебания относительно вертикальной оси. На колебания опорной части будут оказывать влияние морская вода: с одной стороны она будет оказывать сопротивление перемещениям конструкций в воде, а с другой стороны – увеличивать колеблющую массу за счет присоединения объема воды к элементам опорной конструкции.

В настоящее время нет рабочих методик определения действительного влияния воды на колебание опорных конструкций морских платформ при землетрясениях. Эти методики должны учитывать не только конструктивное решение и динамическую жесткость опорной части, ее элементов и узлов соединений, но и глубину моря. При «малой» и «большой» глубинах будет совершенно разная картина колебаний опорной части платформы. Отсюда возможны наложения собственных частот колебаний платформы и грунта, при которых могут появиться резонансные явления с соответствующими последствиями.

Следует остановить внимание еще на важном аспекте – сейсмичности участка строительства морского сооружения и последствиях, которые могут повлиять на его сейсмостойкость.

При определении характера и силы данного сотрясения задача сильно усложняется, т. к. в этом случае необходимо учесть многие факторы, которые не встречаются в обычных условиях. Определяя сейсмическую опасность на шельфе морей, необходимо решить, по крайней мере, следующие вопросы:

- Влияние рыхлости и обводненности грунтов при сейсмических воздействиях и их разжижение.
- Влияние изменения сейсмического режима в районе добычи углеводородов на месторождении, т. к. может наблюдаться эффект наведений сейсмичности, который может значительно увеличить величину прогнозируемой опасности.
- Влияние толщины водного слоя на интенсивность сотрясения дна.
- Оценить возможность гидравлического удара при различных интенсивностях сотрясений дна и возможность возникновения повторных ударов за счет интерференционных явлений в слое воды.

- Оценить возможность возникновения подводных оползней [9] и т. п.

На Азово-Черноморском шельфе Украины исследований по указанным выше позициям до настоящего времени не проводилось. Однако некоторые исследования, проведенные специалистами России на шельфе Охотского моря, показали, что к этим проблемам следует относиться серьезно [10, 11, 2, 13].

По нашему мнению, при разработке проекта морской платформы, ее возведении и эксплуатации должны быть рассмотрены все возможные ситуации, которые могут привести к малым или большим аварийным ситуациям, и на каждый рассмотренный случай должны быть составлены указания для обслуживающего персонала, что нужно делать, чтобы не допустить аварии и избежать катастрофы.

Авария 21 апреля 2010 года на платформе «Дипуотер Хорайзн» в Мексиканском заливе показала, что такие указания не были разработаны, в результате нефть из скважины фонтанировала три месяца, пока велись попытки остановить ее. Если бы была заранее рассмотрена такая ситуация, то последствия аварии были бы значительно меньше.

Окончательный возможный ущерб от происшедшей катастрофы еще не подсчитан, но он будет значительно больше 40 миллиардов долларов.

Выводы

Морская добыча углеводородов требует больших материальных затрат.

Стоимость добычи одной тонны углеводородного топлива на шельфе стоит в 5 ÷ 10 раз дороже, чем на суше.

Прочность основных несущих конструкций должна быть обеспечена на весь период эксплуатации платформы.

Технологические процессы при разведке и разработке месторождений углеводородов не должны создавать аварийных ситуаций

Требование к сохранению экологического равновесия в регионе должно быть самым главным.

Литература

- [1] Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе / [Симаков Г. В., Шхинек К. Н. Смелов В. А. и др.]. – Л. : Судостроение, 1989. – 328 с.
- [2] Возний В. Р. Морські нафтогазові споруди / В. Р. Возний, М. К. Ільницький, Р. С. Яремійчук. – Львів : Світ, 1997. – 343 с.

- [3] Даусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа / Т. Даусон. – Л. : Судостроение, 1986. – 286 с.
- [4] Ажермачев Г. А. Морские сооружения для добычи нефти и газа на континентальном шельфе Азово-Черноморского региона / Г. А. Ажермачев // Металлические конструкции. – Киев, 1998. – Том1. – С. 47–49.
- [5] Ажермачев Г. А. Стратегия увеличения добычи углеводородов на шельфе Украины / Г. А. Ажермачев, С. И. Иванов // Строительство и техногенная безопасность : сб. науч. трудов : В. 6. : КАПКС. – Симферополь, 2002. – С. 144–147.
- [6] Ажермачев Г. А. Пути повышения добычи углеводородов на Азово-Черноморском шельфе / Г. А. Ажермачев // Строительство и техногенная безопасность : сб. науч. Трудов : В. 32. : НАПКС. – Симферополь, 2010. – С. 21–26.
- [7] Ажермачев Г. А. Проблемы строительства глубоководных объектов нефтегазового комплекса на шельфе Черного моря / Г. А. Ажермачев // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее : тезисы докл. / УПСК. – Киев, 2004. – С. 49–55.
- [8] Ажермачев Г. А. К вопросу о повышении коррозионной стойкости конструкций морских сооружений / Г. А. Ажермачев // Новини науки Придніпров'я. – 2001. – №4. – С. 7–9.
- [9] Юдин В. В. Неогеодинамика Крымско-Черноморского региона / В. В. Юдин, Ю. Г. Юровский // Строительство и техногенная безопасность : сборник науч. трудов междунар. конф. «Геодинамика сейсмическая, сейсмостойкость сооружений». – Симферополь, 2011. – Вып. 35. – С.50–56.
- [10] Пустовитенко Б. Г. Модели очагов и сейсмичности северо-запада Черного моря / Б. Г. Пустовитенко, В. Е. Кульчицкий, А. А. Пустовитенко // Строительство и техногенная безопасность : сборник науч. трудов междунар. конф. «Геодинамика, сейсмическая опасность, сейсмостойкость сооружений» – Симферополь, 2011. – Вып. 35. – С. 90–97.
- [11] Иващенко А. Н. Определение сейсмической опасности на шельфе / А. Н. Иващенко, Ч. У. Ким, М. С. Федоришин // Сейсмическое районирование шельфа. – Владивосток, 1990. – С. 5–21.
- [12] Кузин И. П. О сейсмическом районировании шельфа (на примере охотского моря) / И. П. Кузин // Сейсмическое районирование шельфа. – Владивосток, 1990. – С. 5–21.
- [13] Ковалев С. А. Об оценке сейсмической опасности и сейсмическом районировании участков строительства морских сооружений на слабосейсмических акваториях / С. А. Ковалев, И. П. Кузин, Л. И. Лобковский // Вулканология и сейсмология. – 2009. – №32. – С. 67–80.

УДК 624.014

Період повторюваності для конструкцій з короткими строками служби

Білик С.І., д.т.н., **Володимирський В.О.,** к.т.н., **Білик А.С.,** к.т.н.

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Анотація. У статті розглядаються конструкції, термін експлуатації яких менше періоду повторюваності макрометеорологічних піків снігового навантаження. Визначені коефіцієнти надійності для різних випадків.

Аннотация. В статье рассматриваются конструкции, срок эксплуатации которых меньше периода повторяемости макрометеорологических пиков снеговой нагрузки. Определены коэффициенты надежности для различных случаев.

Abstract. In article constructions are considered, which term of exploitation is less than a recurrence period of macrometeorological peaks of snow load. Partial safety factors are specified for different examples.

Ключові слова: снігове навантаження, період повторюваності, коефіцієнт надійності.

Актуальність проблеми. Останнім часом все більшу популярність на ринку завойовують швидкокомтовані конструкції, що використовуються під автосалони, виставкові павільйони, спортивні майданчики тощо, які мають проектний строк експлуатації 5–30 років.

На роботі конструкцій з невисокими проектними строками служби може суттєво позначатися вплив нерівномірності випадкового процесу снігового навантаження внаслідок того, що період експлуатації може припадати на макрометеорологічні піки циклу багатосніжних зим. У результаті розрахунковий період повторюваності навантаження може виявитися меншим від фактичного і норма забезпеченість виявиться недостатньою. У таких випадках доцільно ув'язувати період повторюваності з прогнозованою періодичністю багатосніжних і малосніжних зим.

Огляд останніх досліджень. Розробкою моделей снігового навантаження та їх урахуванням при аналізі надійності конструкцій займалися В. Д. Райзер [8], С. Ф. Пичугін [6], В. В. Власов, О. Г. Виноградов та інші. В сучасних нормах [3, 1] знайшли відображення значення снігових навантажень у результаті опрацювань багаторічних метеорологічних спостережень. Макрометеорологічні максимуми та мінімуми характеризуються періодичністю, що пов'язано з геофізичними та

астрономічними процесами, а також синергетичною здатністю метеосистем до накопичення і вивільнення енергії [9].

Постановка задачі. В якості показника надійності виступає імовірність безвідмовної роботи конструкції протягом заданого строку служби $P^n(S_1)$. Якщо необхідно обчислити імовірність того, що діюче на конструкцію навантаження протягом строку служби не перевищить допустимого рівня, то повстає задача визначення імовірнісних характеристик процесу першого перетинання випадковою функцією заданого порогового рівня (викиду за пороговий рівень протягом n років).

Для визначення максимального снігового навантаження для об'єкта, розрахованого на n років, імовірність перевищення розрахункового граничного значення навантаження записується у вигляді:

$$P(S_n) = P^n(S_1), \quad (1)$$

де S_n – максимум за n років; S_1 – максимум за один рік. Таким чином, здійснюється перехід від максимуму за рік до максимуму за n років.

Період повторюваності для рівня забезпеченості $P^n(S_1)$ при довільній кількості років визначається залежністю:

$$T_n = \frac{n}{1 - P^n(S_1)}. \quad (2)$$

Як правило, період повторюваності дає всю необхідну інформацію для раціонального проектування. Якщо співвідношення між періодом повторюваності і граничним значенням випадкової величини задане, то можна вибрати величину того чи іншого параметра, яка необхідна для забезпеченості потрібного рівня надійності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення задачі ув'язування періоду повторюваності навантаження T з прогнозованою періодичністю багатосніжних зим можна скористатися поняттям вичерпання резерву $T_{рез}$ для періоду повторюваності, запропонованого в роботі [2]. Воно пов'язане зі зміною забезпеченості та періоду повторюваності розрахункового граничного навантаження при зростанні кількості річних періодів n випадкового процесу навантаження.

Згідно з положенням норм [1], граничні розрахункові навантаження є функціями періоду повторюваності значень випадкового процесу навантаження. Для об'єктів масового будівництва допускається середній період повторюваності T приймати таким, що дорівнює встановленому строку експлуатації T_{ef} . Для об'єктів, що мають підвищений рівень відповідальності, період повторюваності обчислюється за формулою (8.6) норм

$$T = T_{ef} K_p \quad (3)$$

і пов'язується з імовірністю $P^n(S_1)$ неперевикнення (забезпеченістю) граничного розрахункового значення навантаження за n років.

Для об'єктів нового будівництва відношення періоду повторюваності навантаження до строку експлуатації представляє собою коефіцієнт $K_p = T / T_{ef}$, який застосовується в формулі (8.6) норм [1]. Отже, ув'язування терміну експлуатації конструкції з періодичністю багатосніжних зим можна трактувати як застосування рекомендацій норм [1] для конструкцій з підвищеним рівнем відповідальності.

Приклад 1. Об'єкт побудований у 2011 р. після багатосніжної зими 2010 р. Встановлений строк служби $T_{ef} = 10$ років. Періодичність багатосніжних зим, що спостерігається у даному регіоні, становить $T = 15$ років. Тоді $T_{рез} > T_{ef}$ і коефіцієнт надійності за навантаженням приймається за [1] $\gamma_{fm} = 0,69$.

Приклад 2. Будівництво об'єкту заплановано на 2020 р. Встановлений строк служби $T_{ef} = 10$ років, а наступний пік циклу навантаження прогнозується на 2025 рік. Тоді $T_{рез} < T_{ef}$ і коефіцієнт надійності за навантаженням приймається за [1] для періоду повторюваності $T = 15$ років $\gamma_{fm} = 0,76$.

Для об'єктів, які працюють після вичерпання проектного строку експлуатації, можна виходити з резерву періоду повторюваності

$$T_{рез} = T - T_{ef} \quad (4)$$

Тоді коефіцієнт $K_p = T_{рез} / T_{ef}$ характеризує імовірність того, що час до першого перевищення розрахункового граничного значення навантаження може виявитися меншим, ніж прийнятий період повторюваності. В табл. 1 наведені розрахунки коефіцієнта K_p для різних рівнів забезпеченості граничного розрахункового значення навантаження $P(S_1)$ при різних заданих строках служби $T_{ef} = n$. Результати цих розрахунків показують, що фактор часу проявляється для будівель і споруд у падінні забезпеченості $P^n(S_1)$ щодо встановленого рівня розрахункового граничного навантаження $P(S_1)$. Наприклад, при прийнятому значенні $P(S_1) < 0,96$ для будівель із прийнятим строком T_{ef} більше 15 років коефіцієнт K_p стає меншим одиниці.

Таблиця 1

Періоди повторюваності навантаження в залежності від забезпеченості розрахункового граничного навантаження і проектного строку служби

Встановлена Забезпеченість за один період $P(S_1)$	Строк служби, років $n = T_{ef}$	Забезпеченість протягом встановленого строку служби $P^n(S_1)$	Період повторюваності, років $T_n = \frac{n}{1 - P^n(S_1)}$	Резерв періоду повторюваності, років $T_{рез} = T_n - T_{ef}$	Коефіцієнт $K_p = \frac{T_{рез}}{T_{ef}}$
0,995	5	0,975	200	195	39
	10	0,951	204	194	19,4
	15	0,928	208	193	12,9
	20	0,905	210	190	9,5
0,99	5	0,951	102	97	19,4
	10	0,904	104	94	9,4
	15	0,860	107	92	6,1
	20	0,818	110	91	4,5
0,98	5	0,904	52	47	9,0
	10	0,817	55	45	4,6
	15	0,739	57	42	2,8
	20	0,668	60	40	2,05
0,97	5	0,859	35	30	6,0
	10	0,737	38	28	2,8
	15	0,633	41	26	1,73

	20	0,543	44	24	1,2
0,96	5	0,815	27	22	4,4
	10	0,665	30	20	2,0
	15	0,542	33	18	1,2
	20	0,441	36	16	0,8
0,95	5	0,774	22	17	3,4
	10	0,599	25	15	1,5
	15	0,463	28	13	0,87
	20	0,358	31	11	0,55
0,94	5	0,734	19	14	2,8
	10	0,539	22	12	1,2
	15	0,395	25	10	0,67
	20	0,290	28	8	0,4
0,93	5	0,696	16	11	2,2
	10	0,484	19	9	0,9
	15	0,337	23	8	0,53
	20	0,235	26	6	0,3
0,90	5	0,590	12	7	1,4
	10	0,349	15	5	0,5
	15	0,206	19	4	0,27
	20	0,122	23	3	0,15
0,85	5	0,444	9	4	0,8
	10	0,197	12	2	0,2
	15	0,087	16	1	0,07
	20	0,034	21	1	0,05

Приклад 3. Термін експлуатації об'єкта вичерпаний у 2011 р. після багатосніжної зими 2010 р. Встановлений подальший строк служби $T_{ef} = 10$ років. Таким чином, протягом строку служби потрібний резерв періоду повторюваності $T_{рез} = 10$ років. За табл. 1 такій ситуації відповідає (за інтерполяцією) значення коефіцієнта $K_p = 1,0$. Тоді розрахунковий період повторюваності становить $T = T_{ef} K_p = 10 \cdot 1,0 = 10$ років і за [1] приймається коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_{fn} = 0,69$. Забезпеченість граничного розрахункового навантаження – 0,933.

Приклад 4. Проектний термін експлуатації об'єкта вичерпується у 2020 р. Встановлено подальший строк служби $T_{ef} = 10$ років, а наступний пік

снігового навантаження прогнозується на 2025 рік. Тоді потрібний резерв часу $T_{рез}$ повинен дорівнювати періодичності багатосніжних зим, що спостерігається у даному регіоні і становить $T = 15$ років. За табл. 1 такій ситуації відповідає значення коефіцієнта $K_p = 1,5$. Тоді розрахунковий період повторюваності становить $T = T_{ef} K_p = 10 \cdot 1,5 = 15$ років і за [1] приймається коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_{fn} = 0,76$. Забезпеченість граничного розрахункового навантаження – 0,95.

Висновки. Урахування при перевірці об'єктів, які працюють після вичерпання проектного строку експлуатації та при новому будівництві макрометеорологічних піків дозволяє більш відповідно визначити забезпеченість та коефіцієнти надійності. Періоди повторюваності T та інші дані щодо макрометеорологічних максимумів та мінімумів снігового навантаження, потрібні при аналізі, можуть бути отримані за даними проведених метеорологічних спостережень у кожному регіоні. Для об'єктів нового будівництва також перспективною уявляється розробка довгострокових прогностичних моделей визначення наступних макрометеорологічних піків. Це може стати тематикою наступних досліджень.

Література

- [1] ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбудархітектури України. – К. : Сталь, 2006 – 59 с.
- [2] Білик С.І. Про безпеку експлуатації будівель після вичерпання встановленого строку служби / С.І. Білик, В.О. Володимирський, А.С. Білик // Ресурсноекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : збірник наук. праць : Вип. 20 – Рівне, 2010.
- [3] EN 1991-1-3. Eurocode 1. Actions on structures : Part 1-3 : General actions - Snow loads.
- [4] Аугусти Г. Вероятностные методы в строительном проектировании / Г. Аугусти, А. Баратэс, Ф. Кашати. – М. : Стройиздат, 1986. – 584 с.
- [5] Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1978. – 239 с.
- [6] Пичугин С. Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий / С. Ф. Пичугин. – Полтава : АСМИ, 2009. – 452 с.
- [7] Болотин В. В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М. : Стройиздат, 1971. – 255 с.
- [8] Райзер В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций / В. Д. Райзер. – М. : Стройиздат, 1995. – 347 с.
- [9] Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен. – М. : Мир, 1991. – 240 с.

Стійкість холодногнутих швелерів з урахуванням пластичних властивостей маловуглецевих сталей

Білик С.І., д.т.н., **Білик А.С.**, к.т.н., **Усенко М.В.**, асистент,
Золотопольський О.Е.

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Анотація: У статті розглянуто практичні питання апроксимації діаграми сталі на ділянці розвитку пластичних деформацій. Визначено критерій опору згинанню для стрижнів постійного перерізу при апроксимації експериментальної діаграми пластичної роботи сталі. Визначено критерій опору згинанню для холодногнутих швелерів в пружній області напружено-деформованого стану для вуглецевої сталі.

Аннотация. Статья содержит практические вопросы аппроксимации диаграммы стали на участке развития пластических деформаций. Определен критерий сопротивления изгибу для стержней постоянного сечения при аппроксимации экспериментальной диаграммы пластической работы стали. Определены критерии сопротивления изгибу для холодногнутых швеллеров в упругой области напряженно-деформированного состояния для углеродистых сталей.

Abstract. The article considers the practical questions on approximation of diagram of steel by sedate dependences. There was the buckling resistance criterion found for the columns with the constant cross-section with approximation of experimental plastic diagram of the steel. There was buckling resistance criterion found of the columns of cold-formed steel channels with inelastic range stress-strain curves of carbon steel.

Ключові слова: холодногнутий швелер, пластичні деформації.

Актуальність проблеми. Широке використання тонкостінних холодногнутих профілів обумовлено переходом на нові ефективні технологічні рішення сталевих конструкцій: арки, прогони, рами, балки змінного перерізу та з гофрованою стінкою [1]. Їх використання дає підстави визначити загальну тенденцію розвитку сучасних сталевих конструкцій будівель різноманітного призначення, а саме – використання універсальних елементів і профілів, високотехнологічних у виготовленні та монтажі, а також компактних у транспортуванні. Але вдосконалення конструктивних рішень і підвищення точності їх розрахунку на стійкість і міцність залежать від точності врахування діаграми розтягу сталі на ділянці розвитку пластичних деформацій, а також від урахування початкових недосконалостей та залишкових напружень [6–9]. Уведення до розрахунку стійкості елементів рам із нових профілів із використанням апроксимацій діаграми розтягу сталі на ділянці розвитку пружно-пластичних деформацій відкриває напрямок створення сучасного теоретичного розрахункового апарату. В подальшому це дасть можливість створити базу наукового обґрунтування власних коефіцієнтів

повздожнього згину для вказаних ефективних конструкцій з урахуванням особливостей технології виготовлення певного обраного заводу.

Огляд останніх досліджень. Питаннями апроксимації діаграми сталі на ділянці розвитку пластичних деформацій присвячені роботи [2–6]. Проте, досліджень у напрямку вдосконалення розрахункового апарату тонкостінних гнутих профілів на стійкість із урахуванням розвитку обмежених пластичних деформацій та апроксимації діаграми розтягу сталі на ділянці розвитку пластичних деформацій, на нашу думку, недостатньо. Для аналітичних та числових досліджень стійкості холодногнутих профілів представляється необхідним розробити узагальнений підхід для апроксимації маловуглецевих сталей та сталей підвищеної міцності. В роботі авторами [7] запропоновано підхід щодо розрахунку коефіцієнтів повздожнього згину центрально-стиснутих стрижнів з урахуванням дійсної діаграми розтягу сталі за умови апроксимації пластичних деформацій степеневою залежністю. Викладені дослідження є продовженням робіт [12–14].

Запропоновано узагальнену апроксимацію діаграми розтягу сталі на ділянці розвитку пластичних та пружно-пластичних деформацій за степеневою залежністю:

$$\sigma_i = a_1 + a_2(\varepsilon_y - \varepsilon_i)^n + a_3(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_i)^m. \quad (1, a)$$

Тепер дотичний модуль приймається через похідну від поточних напружень:

$$E_i = \frac{d\sigma_i}{d\varepsilon} = -na_2(\varepsilon_y - \varepsilon_i)^{n-1} - ma_3(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_i)^{m-1}. \quad (1, б)$$

У формулі (1) через σ_i і ε_i відповідно позначено поточні напруження і відносне видовження в проміжній точці діаграми, через a_1 , a_2 , a_3 позначені невідомі коефіцієнти.

Умовами для визначення невідомих коефіцієнтів a_1 , a_2 , a_3 для маловуглецевих сталей є значення модулів розтягу сталі й відповідних напружень у точках на межі пружної і пластичної роботи, а також кінцеве значення пластичних деформацій і дотичного модуля при розрахунковому опорі сталі. Так, початком розвитку пластичних деформацій є верхня границя пружних напружень і верхня границя пружних деформацій: $\varepsilon_{i=1} = \varepsilon_e$, $\sigma_{i=1} = \sigma_e$, а кінцева точка пластичних деформацій є значення розвитку пластичних деформацій $\varepsilon_{i=n} = \varepsilon_y$, в якій напруження дорівнюють границі текучості сталі σ_y , а модуль пружності – достатньо малій

величині (E_m). Такі умови приводять до наступних рівнянь при використанні апроксимацій (1):

$$\varepsilon_{i=n} = \varepsilon_y \rightarrow \sigma_{i=n} = a_1 + a_2(\varepsilon_y - \varepsilon_i)^n + a_3(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_i)^m = \sigma_y \rightarrow a_1 = \sigma_y. \quad (2)$$

$$\varepsilon_{i=n} = \varepsilon_y \rightarrow E_{i(\varepsilon_{i=n}=\varepsilon_y)} = \frac{d\sigma_i}{d\varepsilon} = -na_2(\varepsilon_y - \varepsilon_y)^{n-1} - ma_3(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_y)^{m-1} = E_m \rightarrow -ma_3(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_y)^{m-1} = E_m. \quad (3)$$

$$\varepsilon_{i=1} = \varepsilon_e \rightarrow E_{i(\varepsilon_{i=1}=\varepsilon_e)} = \frac{d\sigma_i}{d\varepsilon} = -na_2(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^{n-1} - ma_3(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_e)^{m-1} = E. \quad (4)$$

$$\sigma_e = a_1 + a_2(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^n + a_3(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_e)^m. \quad (5)$$

При $m=1$, та за умовами (2, 3), які дають величини невідомих коефіцієнтів $a_1 = \sigma_y$, та $a_3 = -E_m$, рівняння (2, 3, 4, 5) об'єднуються в систему двох рівнянь із двома невідомими.

$$\begin{cases} \sigma_e = \sigma_y + a_2(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^n - E_m(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_e) \\ E_{i(\varepsilon_{i=1}=\varepsilon_e)} = -na_2(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^{n-1} + E_m = E \end{cases} \rightarrow$$

$$\begin{cases} a_2 = \frac{\sigma_e - \sigma_y + E_m(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_e)}{(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^n} \\ a_2 = -\frac{E - E_m}{n(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^{n-1}} \end{cases}. \quad (6)$$

Показник ступеня функції визначається з системи рівнянь (6).

$$\frac{\sigma_e - \sigma_y + E_m(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_e)}{(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^n} = -\frac{E - E_m}{n(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^{n-1}},$$

$$n = \frac{(E - E_m)(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}{\sigma_y - \sigma_e - E_m(\varepsilon_{ym} - \varepsilon_e)}, n = \frac{(E\varepsilon_y / \sigma_y)(1 - E_m / E)(1 - \varepsilon_e / \varepsilon_y)}{1 - \sigma_e / \sigma_y - (E\varepsilon_y / \sigma_y)(E_m / E)(1 - \varepsilon_e / \varepsilon_y)}. \quad (7)$$

При $E_m=0$ раніше була отримана відповідна формула для ступеня: $n = E(\varepsilon_y - \varepsilon_e) / (\sigma_y - \sigma_e)$, що підтверджує достовірність проведених аналітичних досліджень.

Для уніфікованої діаграми розтягу сталі [1]
 $\varepsilon_{ym} = \varepsilon_y = 1,72 \times 0,002 = 0,00344$ коефіцієнт a_2 відповідно буде:

$$a_2 = -\frac{E - E_{tm}}{\frac{(E - E_{tm})(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}{\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}} = -\frac{(E - E_{tm})[\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)]}{(E - E_{tm})(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^n}$$

$$a_2 = -\frac{[\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)]}{\frac{(E - E_{tm})(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}{\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}} \cdot (8)$$

Таким чином, функція апроксимації діаграми сталі на ділянці розвитку пластичних деформацій буде мати вигляд:

$$\sigma_i = \sigma_y - \frac{[\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)]}{\frac{(E - E_{tm})(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}{\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}} (\varepsilon_y - \varepsilon_i)^{\frac{(E - E_{tm})(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}{\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}} - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_i). \quad (9)$$

$$\sigma_i = \sigma_y \left[1 - \frac{1 - \sigma_e / \sigma_y - (E_{tm} / \sigma_y)(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}{\frac{(E - E_{tm})(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}{\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}} (\varepsilon_y - \varepsilon_i)^{\frac{(E - E_{tm})(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}{\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}} - \frac{E_{tm}}{\sigma_y} (\varepsilon_y - \varepsilon_i) \right]. \quad (10)$$

Дотичний модуль у будь-якій точці розвитку пружно-пластичних деформацій за (1, б) з урахуванням залежності (10) дає відношення:

$$E_t = (E - E_{tm}) \frac{(\varepsilon_y - \varepsilon_i)^{\frac{(E - E_{tm})(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}{\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)} - 1}}{\frac{(E - E_{tm})(\varepsilon_y - \varepsilon_e)}{\sigma_y - \sigma_e - E_{tm}(\varepsilon_y - \varepsilon_e)} - 1}} + E_{tm} \quad (11, a)$$

$$\frac{E_t}{E} = \left[\left(1 - \frac{E_{tm}}{E} \right) \left(\frac{1 - \varepsilon_i / \varepsilon_y}{1 - \varepsilon_e / \varepsilon_y} \right)^{n-1} + \frac{E_{tm}}{E} \right] \quad (11, б)$$

Перевірка. За умовами $\varepsilon_i = \varepsilon_e$ маємо $\sigma_{\varepsilon_i = \varepsilon_e} = \sigma_e$, а за $\varepsilon_y = \varepsilon_i$, відповідно, напруження дорівнюють границі текучості сталі $\sigma_{\varepsilon_y = \varepsilon_i} = \sigma_y$.

Виклад основного матеріалу дослідження. На сьогодні існує декілька підходів щодо визначення стійкості центрально-стиснутих сталевих стрижнів з урахуванням пружно-пластичних деформацій. Теоретичні положення дотичного і подвійного модуля [1, 4, 6, 7–9], а також концептуальний підхід Ф. Шенлі сьогодні є основами з визначення несучої здатності центрально-стиснутих і позацентрово-стиснутих металевих стержнів.

Прийнято, що критичні напруження за дотичним модулем згідно з дослідженнями слід визначати за відомим критерієм [2, 3, 4, 6, 10–13, 15]:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2}{\lambda_y^2} E_t. \quad (12)$$

З іншого боку, ці напруження повинні відповідати точці діаграми апроксимації розтягу сталі за формулою [12] (10).

$$\sigma_{cr} = \sigma_i. \quad (13)$$

Для визначення коефіцієнта повздовжнього згину (φ_{yt}) центрально-стиснутого стрижня за дотичним модулем маємо наступне рівняння з урахуванням виконаних досліджень:

$$\varphi_{yt} = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \frac{\pi^2}{\lambda_y^2} \frac{E}{\sigma_y} \left[\left(1 - \frac{E_{tm}}{E}\right) \frac{(\varepsilon_y - \varepsilon_i)^{n-1}}{(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^{n-1}} + \frac{E_{tm}}{E} \right]. \quad (14)$$

У відношенні (14) значення ступеня n обраховують за формулою (7). Рівняння (14) показує, що кожній точці на діаграмі розтягу сталі за умовою розвитку пластичних деформацій за дотичним модулем і відповідному значенні критичних напружень центрально-стиснутого стрижня відповідає певне значення гнучкості. За фізичним змістом ця точка характеризує початок руху стрижня від однієї форми рівноваги до іншої.

Якщо прийняти, що критичним напруженням відповідає точка на діаграмі розтягу сталі за (9), тоді об'єднання двох рівнянь (9) і (14) дає рівняння визначення критичних деформацій при заданій гнучкості:

$$\frac{\pi^2}{\lambda_y^2} \frac{E}{\sigma_y} \left[\left(1 - \frac{E_{tm}}{E}\right) \frac{(\varepsilon_y - \varepsilon_i)^{n-1}}{(\varepsilon_y - \varepsilon_e)^{n-1}} + \frac{E_{tm}}{E} \right] = \left\{ 1 - \left[1 - \frac{\sigma_e}{\sigma_y} - \left(\frac{\varepsilon_y E_{tm}}{\sigma_y} \right) \left(1 - \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_y} \right) \right] \left(\frac{1 - \varepsilon_i / \varepsilon_y}{1 - \varepsilon_e / \varepsilon_y} \right)^n - \left(\frac{\varepsilon_y E_{tm}}{\sigma_y} \right) \left(1 - \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_y} \right) \right\}$$

Останнє рівняння при прийнятті умови $E_{tm} = 0$ перейде до вигляду:

$$\frac{\pi^2}{\lambda_y^2} \frac{E}{\sigma_y} \left(\frac{1 - \varepsilon_i / \varepsilon_y}{1 - \varepsilon_e / \varepsilon_y} \right)^{n-1} = 1 - \left(1 - \frac{\sigma_e}{\sigma_y} \right) \left(\frac{1 - \varepsilon_i / \varepsilon_y}{1 - \varepsilon_e / \varepsilon_y} \right)^n. \quad (15)$$

Гнучкість, за якої стрижень втрачає стійкість, пов'язана з деяким граничним значенням пружно-пластичних деформацій. Рішення останнього рівняння (15) дає значення коефіцієнта поздовжнього згину для ідеального центрально-стиснутого стрижня з урахуванням розвитку пружно-пластичних деформацій.

Розглянута втрата стійкості центрально-стиснутого стрижня симетричного перерізу при початкових недосконалостях ($e_b / i_y, \lambda_y / 750$) у площині найменшої жорсткості (ОХ). Загальні деформації в крайніх фібрових волокнах при втраті стійкості центрально-стиснутого стрижня складаються із залишкових деформацій (ε_0) від прокатування, деформації від поздовжнього згину стрижня, а також від поздовжніх середніх деформацій.

$$\varepsilon_i = \pm \varepsilon_0 + \varepsilon_N + \varepsilon_M, \quad (16)$$

де $\varepsilon_N = \frac{N}{AE_{tN}} = \frac{N}{AE} \beta_E$, $\beta_E = \frac{E}{E_{tN}}$ – середні деформації від поздовжньої сили (N) за приведеним модулем (E_{tN}); ε_0 – залишкові деформації; ε_M – деформації від згину стрижня при кривині стрижня (ρ_y) і відстані від нейтральної поздовжньої осі до фібрових волокон x_j : $\varepsilon_{Mj} = \frac{\Delta}{dz} \rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{dz}{\rho_y} = \frac{\Delta}{x_j} \rightarrow \frac{x_j}{\rho_y} = \frac{\Delta}{dz}$. Максимальні деформації від згину

будуть залежати від радіуса кривизни стрижня. Кривина стрижня від поздовжнього згину та переміщення (ξ) пов'язані приблизною диференціальною залежністю: $1/\rho_y = -\xi''$. Таким чином, між максимальними деформаціями і кривиною стрижня є залежність:

$$\varepsilon_{Mm} = \frac{\Delta}{dz} = \frac{x_m}{\rho_y}. \quad \varepsilon_{Mm} = \frac{x_m}{\rho_y} = -\xi'' x_m.$$

У залежності від напрямку розвитку пластичних деформацій та початкових недосконалостей приведена жорсткість стрижня ($E_d I_y = EI_{yd}$) з урахуванням розвитку пластичних деформацій буде визначатися за формулою [13]:

$$E_{d1}I_y = (E_t I_{y1} + EI_{y2}) \rightarrow E_{d1} = \frac{E}{I_y} \left(\frac{E_t}{E} I_{y1} + I_{y2} \right),$$

$$E_{d2}I_y = (EI_{y1} + E_t I_{y2}) \rightarrow E_{d2} = \frac{E}{I_y} \left(I_{y1} + \frac{E_t}{E} I_{y2} \right).$$

Рівняння рівноваги в перерізі розвитку пластичних деформацій при втраті стійкості буде залежати від прогину (f), початкових ексцентриситетів (e_b), і додаткового ексцентриситету (e_t) від зсуву нейтральної осі при розвитку пластичних деформацій з одного боку стрижня. Рівновага моментів зовнішніх сил і внутрішніх зусиль описується диференціальним рівнянням [1]:

$$\xi'' + \frac{N}{E_d I_y} \xi = -\frac{N}{E_d I_y} (e_b + e_t + l/750). \quad (17)$$

Загальне рішення відповідного однорідного рівняння ($\xi'' + \frac{N}{E_d I_y} \xi = 0$) для шарнірно опертого стрижня приблизно буде:
 $\xi = f \sin\left(\frac{\pi z}{l}\right) \rightarrow \xi'' = -\frac{\pi^2 f}{l^2} \sin\left(\frac{\pi z}{l}\right)$. Максимальні переміщення (f) за координатою $z = l/2$ і кривизна стрижня при втраті стійкості зв'язані через другу похідну за переміщенням та кривизну зігнутого поздовжньою силою стрижня:

$$\xi''_{z=l/2} = -\frac{\pi^2 f}{l^2} \sin\left(\frac{\pi l}{2l}\right) = -\frac{\pi^2 f}{l^2}; \quad \frac{1}{\rho_{yz=l/2}} = \frac{\pi^2 f}{l^2}. \quad (18)$$

Тепер, максимальні деформації крайніх фібрових волокон середнього перерізу стрижня залежать від максимальних переміщень (f):

$\varepsilon_{Mm} = \frac{x_m}{\rho_y} = -\xi'' x_m$; $\varepsilon_{Mm} = \frac{\pi^2 f}{l^2} x_m$. За відношеннями (18) рівняння рівноваги стрижня (18) переходить до рівняння рівноваги, яке об'єднує зовнішній згинальний момент, приведену жорсткість стрижня, максимальні переміщення:

$$-\frac{\pi^2 f}{l^2} E_d I_y + N(f + e_t + l/750 + e_b) = 0. \quad (19)$$

Введення позначення умовної критичної сили $N_{crit} = \frac{\pi^2 E_d I_y}{l^2}$ дає з останнього рівняння (19) формулу для визначення поперечних переміщень

при поздовжньому згині з урахуванням початкових ексцентриситетів і прогинів та з урахуванням розвитку пластичних деформацій $f = \frac{e_b + l/750 + e_t}{N_{crit} E_d I_y / N - 1}$. Далі зручно перейти до критичних напружень (σ_{crit})

через гнучкість стрижня $\lambda_y^2 = \frac{l^2}{i_y^2}$ та поточні напруження $\sigma_N = N / A$.

$$\sigma_{crit} = \frac{\pi^2 E_d I_y}{l^2 A} = \frac{\pi^2 E_d i_y^2}{l^2}. \quad \sigma_{crit} = \frac{\pi^2 E_d}{\lambda_y^2}. \quad f = \frac{e_b + l/750 + e_t}{\sigma_{crit} / \sigma_N - 1}. \quad (20)$$

Приведення переміщень за відношенням (7) до радіусу інерції дає такий запис останньої формули (7):

$$\frac{f}{i_y} = \frac{e_b / i_y + \lambda_y / 750 + e_t / i_y}{\sigma_{crit} / \sigma_N - 1}. \quad (21)$$

Загальні деформації при поздовжньому згині з урахуванням малих ексцентриситетів і пружно-пластичній роботі сталі та залишкових деформацій від прокатування при врахуванні отриманих відношень (6, 8) приймуть вигляд:

$$\varepsilon_i = \pm \varepsilon_0 + \frac{N}{AE} \frac{E}{E_{tN}} + \frac{\pi^2}{\lambda_y^2} \frac{e_b / i_y + \lambda_y / 750 + e_t / i_y}{\sigma_{crit} / \sigma_N - 1} \frac{x_m}{i_y}. \quad (22)$$

Останнє рівняння вирішують шляхом числових досліджень кожного окремого стрижня заданого перерізу, або, приблизно прийнявши, що при максимальних пластичних деформаціях $\varepsilon_i = \varepsilon_y$, відношення напруження до розрахункового опору сталі за границею текучості прийнято за коефіцієнт поздовжнього згину при малих ексцентриситетах $\frac{N}{AR_y} = \frac{\sigma_N}{R_y} = \varphi_{yet}$, а

момент опору перерізу ($W_y = I_y / x_m$) пов'язаний із зовнішнім згинальним моментом:

$$m_y = \frac{e_b x_m}{i_y^2} = \frac{e_b x_m A}{I_y} = \frac{e_b A}{W_y}. \quad \varepsilon_i = \varepsilon_0 + \varphi_{yet} \frac{R_y}{E_{tN}} + \frac{\pi^2}{\lambda_y^2} \frac{e_b / i_y + \lambda_y / 750 + e_t / i_y}{\frac{\sigma_{crit}}{\varphi_{yet} R_y} - 1} m_y \frac{i_y}{e_b}. \quad (23)$$

Отриманий критерій стійкості (23) за деформаціями вказує на зв'язок між обмеженими поточними крайовими пластичними деформаціями сталі (ε_i), поздовжнім навантаженням при врахуванні змінного дотичного модуля і змінними геометричними характеристиками перерізу внаслідок розвитку

пластичних деформацій в залежності від гнучкості стрижня. Перетворення рівняння виконано за умови: $\frac{\pi^2 E_d}{\lambda_y^2 \varphi_{yет} R_y} - 1 \neq 0$.

$$\varphi_{yет}^2 - \frac{E_{тN}}{R_y} \varphi_{yет} \left[\frac{\sigma_{ст}}{E_{тN}} + (\varepsilon_i \mp \varepsilon_0) + \frac{\pi^2}{\lambda_y^2} (e_b / i_y + \lambda_y / 750 + e_i / i_y) m_y \frac{i_y}{e_b} \right] + \frac{\sigma_{ст}}{R_y} \frac{E_{тN}}{R_y} (\varepsilon_i \mp \varepsilon_0) = 0 \quad (24)$$

Висновки

Таким чином, об'єднання рівнянь апроксимації діаграми розтягу сталі (10, 11) на ділянці розвитку пластичних деформацій і рівнянь (17–24) відкритого перерізу при врахуванні випадкових ексцентриситетів і недосконалостей, несиметричності перерізу та залишкових напружень від прокатування відкриває можливість отримувати коефіцієнти поздовжнього згину для кожного профілю.

Література

- [1] Металеві конструкції. Загальний курс / [Нілов О. О., Пермяков В. О., Шимановський О. В., Білик С. І. та ін.]. – К. : Видавництво «Сталь», 2010. – 869 с.
- [2] Илюшин А. А. Пластичность / А. А. Илюшин. – Гостехиздат, 1948.
- [3] Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н. И. Безухов. – М. : Высш. шк., 1968. – 512 с.
- [4] Константинов А. Ю. Экспериментально-расчетная схема определения параметров разрушения для металлов и сплавов / А. Ю. Константинов // Вестник молодых ученых «Ломоносов». Вып. III. – М. : Макс Пресс, 2007. – С. 228–232.
- [5] Цурков И. С. Решение двух замечательных задач / И. С. Цурков. – М. : МИСИ, 1991. – 12 с.
- [6] Рудых О. Л. Практические вопросы аппроксимации экспериментальных кривых степенными и дробно-линейными функциями / О. Л. Рудых // Вестник ТГАСУ. – Хабаровск, 2010. – №1. – С. 110–122.
- [7] Чувикин Г. М. Об устойчивости за пределом упругости внецентренно-сжатых тонкостенных стержней открытого профиля : Исследования по стальным конструкциям / Г. М. Чувикин. – М. : Госстройиздат, 1982. – С. 70–159.
- [8] Блейх Ф. Устойчивость металлических конструкций / Ф. Блейх. – М. : Госиздат физматлитературы, 1959. – 544 с.
- [9] Белый Г. И. Приближенное решение задач деформационного расчета стержней в упругой среде / Г. И. Белый // Строительная механика сооружений / Межвузов. тематич. сб. тр. – Л. : ЛИСИ, 1981. – С. 13–22.

- [10]** Астахов И. В. Пространственная устойчивость элементов конструкций из холодногнутых профилей : дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.23.01 / И. В. Астахов.– СПб., 2006. – 123 с.
- [11]** СНиП II-23-81*. Стальные конструкции.
- [12]** Малевич А. И. О нормативном расчете местной устойчивости центрально-сжатых тонкостенных стержней / А. И. Малевич, С. В. Ракша // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – 2003 – С. 22–27.
- [13]** Білик С. І. Апроксимація діаграми розтягу сталі степеневою функцією / С. І. Білик, А. С. Білик, М. В. Усенко // Современные строительные конструкции из металла и древесины / Сб. науч. трудов МОН України. – Одеса : ОДАБУ, 2011. – №15. – Часть 3 – С. 3–9.
- [14]** Білик С. І. Про стійкість центрально-стиснутого гнутого швеллера з урахуванням розвитку пластичних деформацій / С. І. Білик, М. В. Усенко // Зб. наук. пр. МОН України. – Рівне : НУВГП, 2011. – Вип. 21. – С. 136–143.
- [15]** Белов І. Д. Експериментальні випробування сталевих гнутих профілів з перерізами відкритого типу / І. Д. Белов, С. І. Білик, М. В. Усенко, М. М. Джамбуєв // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди / Зб. наук. пр. МОН України. – Рівне : НУВГП, 2008. – Вип. 16. – С. 66–72.

УДК 69.092

К 100-летию со дня рождения Жербина Михаила Михайловича

Билык С.И., д.т.н., **Пашун Л.А.**, с.н.с., **Балакина С.В.**, ассистент,
Остапчук-Петровская Л.Б., к.т.н., **Войцеховская Г.А.**

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Институт им.
И.Е. Репина Государственной научной архитектурно-строительной библиотеки
им. В.Г. Заболотного, Украина.

Аннотация. Рассмотрен жизненный путь и профессиональные достижения известного ученого в области строительных стальных конструкций Жербина М. М.

Анотація. Розглянуто життєвий шлях та професійні досягнення видатного вченого в сфері будівельних сталевих конструкцій Жербіна М. М.

Abstract. Life orbit and professional decisions of famous scientist in the field of steel building construction M. M. Zherbin is observed.

Ключевые слова: Жербин М.М.

Жербин Михаил Михайлович, доктор технических наук, профессор, академик Академии строительства Украины и один из ее фундаторов, известный ученый, инженер-строитель, педагог и композитор (член союза композиторов Украины, 1947 г.). Многогранная жизнь М.М. Жербина была насыщена важными событиями и достижениями. Интерес к личности М.М. Жербина огромный, поскольку его как ученого-металлиста знали в разных уголках мира. Заслуги М. М. Жербина перед родиной были отмечены высокими правительственными наградами Советского Союза и Украины: Лауреат Государственной премии СССР (1948 г., премия первой степени получена за восстановление шахт Донбасса); заслуженный деятель науки Украины (1978 г.); почетная грамота Президиума Верховного Совета Украинской ССР, 1986 г.; стипендия выдающимся деятелям науки, просвещения и культуры Президента Украины, 1998 г.; Лауреат премии Будникова М. С.; награжден также рядом орденов и медалей – всего 14 правительственных наград.

Родился Михаил Михайлович 24 декабря 1911 г. в г. Санкт-Петербурге в потомственной дворянской семье военного инженера-строителя, полковника в отставке Жербина Михаила Федоровича, всесторонне образованного и умного человека. Мать Александра Сальвадоровна – дочь известного русского адмирала Сальвадора Федоровича Бауэра. Семья была большая – пятеро детей: две дочери и три сына, Михаил был

младшим. К сожалению, в феврале 1917 г. мать умерла от туберкулеза, ей было 39 лет, а Мише только исполнилось 5 лет. Главным воспитателем стала сестра Лидия Михайловна, которая была старше на 11 лет. Большое влияние на воспитание детей оказывал и отец. Он упорно занимался широким образованием детей: дома читались в подлиннике Шекспир, Гёте, Шиллер и др. Михаила отдали в начальную школу с обучением на немецком языке, через несколько лет обучение было переведено на русский язык.

Параллельно с общеобразовательной школой Михаил занимался музыкой дома и в музыкальной школе. По линии мамы он был в родстве с великим композитором Н. А. Римским-Корсаковым. Бабушка Лидия Михайловна (по отцу), помимо обаяния и красоты, обладала великолепным лирическим сопрано и тонкой музыкальностью. Певица с таким чудесным голосом могла бы украсить любую оперную сцену. Поэтому в доме Жербиных часто устраивались домашние концерты, спектакли с участием не только самодеятельных исполнителей, но и выдающихся в то время актеров, композиторов, музыкантов. Любила бывать у Лидии Михайловны и петь с ней выдающаяся и известная во всем мире певица Патти.

С раннего детства Миша мечтал о карьере пианиста. При поступлении в начальную музыкальную школу, в таком раннем возрасте Миша спел арию Лоэнгрин из оперы Р. Вагнера «Лоэнгрин», чем немало удивил присутствующих преподавателей. К большому огорчению, через пару лет началось воспаление нервов правой руки. Упорное лечение не дало позитивных результатов. Карьера пианиста была закрыта, а переживания по этому поводу были такими, что к роялю он не подходил около трех лет. Только в 14–15 лет пришло понимание, что музыка для него – главное.

В 1929 г. общеобразовательная школа была с успехом закончена. Из-за дворянского происхождения М. М. Жербин сначала не был принят в институт, однако в марте 1930 г. стал чертежником в проектно-институте Гипрошахт. Руководство института способствовало, чтобы молодой чертежник учился на курсах высшей математики и строительной механики.

В 1931 году Михаила Михайловича переводят в группу по проектированию металлических конструкций. Он самостоятельно изучает книгу Е. О. Патона «Железные мосты». В дальнейшем судьба М. М. Жербина будет тесно связана с академиком Е. О. Патонем и его сыном – академиком Б. Е. Патонем, президентом Национальной академии наук Украины.

В начале 1933 г. при поддержке руководства Гипрошахта М. М. Жербин поступил на 3-ий курс заочного отделения Ленинградского инженерно

строительного института (ранее Институт гражданских инженеров), который закончил в 1935 г. и получил диплом инженера-строителя. Следует отметить, что в то время дипломный проект состоял из 39 листов, включал все разделы строительства, и на его исполнение в учебном процессе выделялось около года (2 семестра).

К середине 1930-х годов Гипрошахт был тесно связан с наукой и производством, что стало для Михаила Михайловича отличной технической школой. В Гипрошахте Михаил Михайлович профессионально вырос от чертежника до ведущего специалиста. В 1935 году после окончания института М. М. Жербин был назначен руководителем проектной группы по проектированию металлических конструкций со штатом около 30 сотрудников.

Но музыке Михаил Михайлович не оставил. В 1936 г. он стал студентом училища при Ленинградской консерватории по специальности композиции, а в 1939 г. продолжил музыкальное образование в консерватории в классе композитора М. Ф. Гнесина, продолжая учебу в училище. В консерваторию М. М. Жербина приняла экзаменационная комиссия из ведущих ленинградских композиторов во главе с председателем – известным композитором Д. Д. Шостаковичем. В мае 1941 г. состоялся первый авторский концерт М. М. Жербина. Спустя несколько дней Михаил Михайлович получил диплом об окончании теоретическо-композиторского отделения училища, а 22 июня 1941 г. началась война. М. М. Жербин пошел добровольцем на строительство укрепительных сооружений под г. Лугой.

Гипрошахт был эвакуирован на Урал, и Жербина М. М., как высококвалифицированного специалиста, отправили работать в г. Кизел, где он занимался проектированием и строительством угольных шахт. Но вскоре был откомандирован севернее, в поселок с ж-д. станцией Александровск для строительства бомбового завода. Через некоторое время М. М. Жербин становится главным инженером строительства и главным инженером проекта бомбового завода. За строительство бомбового завода и досрочный ввод в эксплуатацию М. М. Жербин награжден орденом Трудового Красного Знамени. Потом было строительство и пуск в эксплуатацию Гремячевских угольных шахт.

В начале 1944 г., после освобождения Донбасса, Михаил Михайлович был назначен руководителем восстановления всех стальных надшахтных копров разрушенных шахт и всех металлоконструкций угольного Донбасса. Для этого в г. Сталино (ныне Донецк) было организовано Центральное бюро копров (ЦБК) под руководством Михаила Михайловича. В последствии в названии добавилось «и шахтного

оборудования» (ЦБКО). Здесь был создан «Универсально-цилиндрический копер системы инженера М. Жербина». За эту выдающуюся работу Михаил Михайлович был удостоен Сталинской (Государственной) премии первой степени (1948 г.).

ЦБКО всячески помогало городу, заводам угольного машиностроения. Так, например, город попросил сделать мост через водохранилище при строительстве дороги в г. Макеевку. Очень хотелось построить красивый висячий мост без промежуточных опор, но из-за отсутствия нужного количества металла и сложности возведения моста построили балочный трехпролетный мост, который отлично служит донныне.

К 1947 г. основные работы по восстановлению шахт Донбасса были закончены, в первой половине 1947 г. начался постепенный переезд ЦБКО в Киев и конструкторское бюро преобразовалось в проектный трест.

Донбасский период ознаменовался принятием М. М. Жербина в члены Союза композиторов Украины. Здесь написана песня «Донбасс боевой», написана кантата «Родина» и исполнена 9 мая 1946 г. (к первой годовщине дня Победы). Тесное сотрудничество с драматическим театром им. Артема.

В конце 1940-х гг. трест «Укрзападшахтопроект» был реорганизован в научно-исследовательский проектный институт «Укргипрошахт», директором института назначили М. М. Жербина. В то время Указом правительства страны была проведена аттестация работников угольной промышленности и введены генеральские звания трёх степеней. М. М. Жербин в соответствии со своей должностью был аттестован и представлен на генеральское звание «горный генеральный директор 3-го ранга», что соответствовало военному званию генерал-майор.

Вскоре институт получил ответственное и интересное задание: создать в Западной Украине новый каменноугольный Львовско-Волынский бассейн. Был установлен контур бассейна, определены угленосность и запасы угля, создан генеральный план бассейна. Одной из сложных, творчески интересных работ было создание, проектирование, наблюдение за изготовлением и монтажом первого в СССР мощного моста-отвалообразователя для Коростышевского бурогоугольного карьера.

В 1953–1954 гг. Михаил Михайлович написал кандидатскую диссертацию «Исследование систем металлических надшахтных эксплуатационных копров», диплом получен в 1955 г. К этому времени он – успешный директор процветающего института, руководитель творческого, слаженно работающего коллектива.

В эти годы в Киеве М. М. Жербин занимается важной общественной деятельностью, он становится членом партии, и его избирают депутатом двух созывов Киевского городского совета.

В конце 1963 г. Михаил Михайлович избирается по конкурсу профессором инженерно-строительного института (КИСИ, ныне КНУСА) на кафедру металлических и деревянных конструкций (МДК). В 1970 г. получает звание доктора технических наук. Тема докторской диссертации: «Научные основы создания и коренного совершенствования транспортно-отвального оборудования карьеров и металлоемкого оборудования угольных шахт».

С 1967 по 1988 гг. М. М. Жербин возглавляет кафедру МДК, которую принял от известного ученого проф. М. Д. Жудина и передал известному ученому в области оптимального проектирования стальных конструкций проф., д.т.н. Пермякову В. А.

Развитие кафедры под руководством М. М. Жербина определялось растущими нуждами строительства. Расширение научных исследований потребовало развития экспериментальной базы кафедры, и в середине 70-х годов был введен в строй Испытательный центр. Для связи кафедры с производством были созданы отраслевые научно-исследовательские лаборатории, научным руководителем которых становится М. М. Жербин. В 1979 году на Житомирском ЗМК создана научно-исследовательская лаборатория «Технологии изготовления и испытания строительных металлоконструкций», заведующий лабораторией к.т.н. Б. О. Маркович. В том же году в КИСИ создается научно-исследовательская лаборатория строительных конструкций калийных предприятий, зав. лабораторией к.т.н. Гвоздецкий С. П. С приходом Михаила Михайловича на кафедру расширилось сотрудничество с проектными и производственными организациями страны.

В 1987 г. под руководством М. М. Жербина при содействии проректора по научной работе академика педагогических наук, проф., д.т.н. В. А. Баженова по Постановлению Совмина СССР открыта Проблемная научно-исследовательская лаборатория особо легких стальных конструкций (заведующий лабораторией д.т.н. Билык С. И.).

С 1988–1998 гг. М. М. Жербин работает профессором кафедры и научным руководителем ПНИЛ ОЛСК. Был руководителем и подготовил к защите кандидатской диссертации 17 аспирантов (среди них два будущих доктора технических наук: Билык С. И., Шевченко Е. В.). Был членом ВАК СССР. Был членом советов по защите кандидатских и докторских диссертаций.

По инициативе и под руководством Михаила Михайловича было проведено четыре Украинских республиканских научно-технических конференции: «Перспектива развития и применения в строительстве металлических конструкций (Днепропетровск, 1973)»; «Современное проектирование и прогрессивная технология изготовления металлоконструкций (Жданов, ныне Мариуполь, 1978)»; «Перспектива развития и пути повышения эффективности применения легких и особо легких металлических конструкций (Житомир, 1984)»; «Развитие, совершенствование и реконструкция специальных сварных стальных конструкций зданий и сооружений (Симферополь, Черноморск, 1988)».

Составленный в 2008 г. библиографический указатель дает 240 названий, где Михаил Михайлович – автор или соавтор, а в 40 из них он был в редакционной коллегии, ответственным редактором или руководителем. Особо следует сказать, что под его редакцией увидел свет трехтомник «Развитие строительной науки и техники в Украинской ССР».

Жербин М. М. – один из фундаторов общественной Академии строительства Украины (АСУ), дата основания которой – 24 июня 1993 г., был руководителем отделения «Развитие строительной науки и техники и исследование научно-технического потенциала в Украине», был членом президиума АСУ.

Библиографический указатель композиторской деятельности М. М. Жербина дает 47 опубликованных наименований. В эфире и в концертах продолжают звучать романсы, вокализы и другие музыкальные произведения Михаила Михайловича.

Михаил Михайлович оставил после себя неоконченные воспоминания. Впервые воспоминания М. М. Жербина под названием «Профессор Михаил Жербин» увидели свет в начале 2008 г. и были изданы в Днепропетровске соратником и другом Михаила Михайловича, ректором Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, доктором технических наук, профессором В. И. Большаковым. Первое издание книги разошлось моментально. Этому способствовали и презентации его книги, проведенные в Киеве, Днепропетровске и Санкт-Петербурге. В связи с этим кафедра металлических и деревянных конструкций Киевского национального университета строительства и архитектуры подготовила новое издание воспоминаний, но уже под тем названием, которое дал сам Михаил Михайлович: «Техника и музыка – основа моей жизни». Новое издание дополнено воспоминаниями коллег кафедры, учеников, а также новыми библиографическими источниками, выявленными за прошедшие годы.

УДК 624.014.012:681.518.54

Задачи совершенствования подготовки кадров по направлениям промышленной и технологической безопасности

Волошин В.С., д.т.н.

Приазовский государственный технический университет, Украина

Аннотация. На основе заданий Государственной научно-технической программы «Ресурс» приведены меры по созданию системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов-экспертов в строительстве, совершенствованию системы промышленной и технологической безопасности.

Анотація. На підставі завдань Державної науково-технічної програми «Ресурс» наведені заходи щодо створення системи підготовки, перепідготовки, підвищення кваліфікації фахівців-експертів у будівництві, удосконалення системи промислової та технологічної безпеки.

Abstract. Based on the assignment of the «Resource» State scientific and technical program the measures on developing the system of training, retraining and refresher training of experts in the building industry, perfection of system of industrial and technological safety are presented.

Ключевые слова: промышленная безопасность, технологическая безопасность конструкций зданий и сооружений, повышение квалификации, аттестация специалистов, управление рисками.

1. Введение. Анализ травматизма и аварийности на производстве за последние годы показывает, что большинство несчастных случаев связано с недостаточным обеспечением безопасности производства. При этом, наибольший уровень смертельного травматизма остается в угольной и строительной отраслях экономики. Определение правовых, экономических и организационных основ безаварийного функционирования производственных объектов при осуществлении хозяйственной деятельности является приоритетным направлением государственной политики. В настоящее время в Верховном Совете рассматривается законопроект «О промышленной безопасности» (регистр. № 2201 от 07.03.2008 г.). В соответствии с установленными требованиями, промышленная безопасность определяет состояние защищенности жизни и здоровья людей от опасных производственных факторов при использовании небезопасных производственных объектов, обеспечивает систему правовых, социально-экономических и организационно-технических мер. Необходимость рассмотрения данного законопроекта вызвана постоянным увеличением количества объектов, единиц оборудования, объемов работ повышенной опасности, а также

значительным износом основных фондов предприятий. Вместе с этим, только квалифицированные кадры, имеющие высокую подготовку в сфере промышленной безопасности, способны реализовать сбалансированную систему безопасности на производстве при минимальном участии соответствующих центральных органов исполнительной власти, максимальной эффективности и минимальной нагрузке субъектов хозяйствования, что позволит создать благоприятные условия для устойчивого развития производства.

2. Организационно-методическая основа работ. Для научно-технического сопровождения проблем производственной безопасности выполняются работы по координации научной, научно-технической, экспертной и образовательной деятельности, направленной на повышение уровня промышленной безопасности. Акцентированная государственная правовая политика в области промышленной безопасности направлена на повышение профессиональных знаний специалистов. Установленный подход позволяет совершенствовать учебно-методическую работу для улучшения подготовки специалистов в области промышленной безопасности, государственного надзора и экспертной деятельности. В новых условиях хозяйствования при использовании опасных производственных объектов особое внимание уделяется разрешительным документам, специальному обучению и аттестации специалистов по требованиям нормативно-правовых актов в области промышленной безопасности.

Промышленные предприятия, инженерные коммуникации, объекты жилищно-коммунального хозяйства и транспортной инфраструктуры включают сооружения, конструкции, конструкции зданий и инженерных сетей, которые при ухудшении эксплуатационных свойств могут переходить в категорию объектов повышенной опасности. Как правило, это становится реальностью по причинам значительного уровня износа, отсутствия регламентных сроков обновления основных фондов, сложного экономического и финансового состояния большинства субъектов хозяйственной деятельности. В последнее время к перечисленным причинам добавились проблемы низкого качества подготовки специалистов, устаревшая нормативно-техническая база, которые привели к снижению исполнительской дисциплины и эффективности технического обслуживания объектов различного назначения.

Обеспечение промышленной безопасности производственных объектов в значительной степени определяется технологической безопасностью конструкций, зданий и сооружений. Безопасность здания или сооружения обеспечивается путем установления требуемых для обеспечения безопасности проектных значений его параметров и качественных

характеристик, реализации их на этапе строительства и поддержания на требуемом уровне в процессе эксплуатации. В такой взаимосвязи определены и задачи реализации Государственной научно-технической программы «Ресурс», утвержденной Постановлением КМУ от 8 октября 2004 г. N 1331. Программа «Ресурс» направлена на обеспечение технологической безопасности в основных отраслях экономики, предупреждение возникновения аварий и аварийных ситуаций техногенного характера и является составной частью создания экологически и техногенно безопасных условий жизнедеятельности, неотъемлемым условием национальной безопасности и государственного строительства.

Реализация требований в области промышленной безопасности связана с эффективным использованием результатов работ научных организаций НАН и МОНМС Украины на национальном, отраслевых, региональных уровнях, полученных в ходе выполнения программы «Ресурс» в 2004-2010 годах:

методологии единой системы оценки надежности и безопасной эксплуатации сооружений, конструкций, оборудования, инженерных систем;

научной основы оценки нормирования безопасности, методов, критериев и правил расчета остаточного ресурса объектов длительной эксплуатации;

методов продления проектного срока эксплуатации, а также правовой и нормативно-технической базы продления нормативного ресурса промышленных объектов;

системы повышения квалификации и аттестации специалистов-экспертов в области надежности и безопасной эксплуатации, оценки и диагностики технического состояния объектов.

Улучшение подготовки специалистов в Приазовском государственном техническом университете в области промышленной безопасности неразрывно связано с совершенствованием форм и методов организации учебного процесса. Создание кафедры «Строительство, техническая эксплуатация и реконструкция» ПГТУ в 2009 г. способствовало становлению единого подхода к государственной системе подготовки, переподготовки и аттестации специалистов – экспертов по вопросам технологической безопасности конструкций зданий.

Проблема продления ресурса сооружений, конструкций, оборудования и инженерных сетей для объектов металлургической, коксохимической, горно-рудной промышленности, связанная с реализацией задач Постановления КМУ от 8 октября 2004 г. N 1331 ”Про затвердження

Державної науково-технічної програми "Ресурс", розглядалась на 2-ом Координаційному совещанні, яке відбулося в ПГТУ в листопаді 2010 г. На совещанні була підкреслена важливість розвитку територіальної нормативно-правової бази забезпечення експлуатаційної надійності і безпечної експлуатації об'єктів житлово-комунального господарства, будівель і споруд промислового призначення, транспорту і зв'язу, енергетики, що обумовлено необхідністю впровадження сучасних матеріалів і технологій ресурсо- і енергозбереження.

Координаційно-методичне совещання «Формування єдиної системи підготовки спеціалістів-експертів по питаннях технологічної безпеки з участю представників Минрегіонстрою України, ІЭС ім. Е.О.Патона НАН України, ООО «Укрінсталькон ім. В.Н. Шимановського», НІІСК, НУ «Львівська політехніка», ПГТУ і інших відбулося 1 червня на базі Київського національного університету будівництва і архітектури. В результаті обговорення прийнято рішення про підготовку спеціалістів (базове навчання), перепідготовку експертів по питаннях технологічної безпеки будівель і споруд (напрямок підготовки «Будівництво») на основі освітньо-професійних програм по спеціальності «Промислове і громадянське будівництво». Зміст освіти і навчання: бакалавр, магістр з урахування спеціалізації випускників.

В межах робочих програм спеціальних курсів кафедр рекомендовано включити курси лекцій «Технологічна безпека конструкцій будівель і споруд», «Контроль корозійного стану і антикорозійна захист будівельних конструкцій».

Учасники совещання звернулися в Минрегіонстрой України з пропозиціями по впровадженню системи підвищення кваліфікації і атестації спеціалістів-експертів:

включення в ліцензійні умови виконання будівельної діяльності положення про необхідність підвищення кваліфікації по напрямку технологічна безпека конструкцій будівель і споруд через два роки після першого випуску спеціалістів по напрямку технологічна безпека;

доработки і обґрунтування на законодавчому рівні питання про введення професійної атестації спеціалістів-експертів в області будівництва.

Для выпуска специалистов с повышенным творческим потенциалом подписан договор о стратегическом партнерстве ПГТУ и базовой организацией Минрегионстроя Украины ТОВ «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского». Привлечение профессорско-преподавательского состава кафедр «Охрана труда», «Строительство, техническая эксплуатация и реконструкция» ПГТУ для создания научно-учебного центра «Техноресурс» совместно с ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского» позволяет успешно решать проблемы производственной и технологической безопасности в базовых отраслях промышленности региона. Практическим результатом сотрудничества является формирование подкомитета «Противокоррозионная защита в строительстве» в составе Технического Комитета «Металлостроительство» Минрегионстроя Украины на базе ПГТУ.

3. Экономический аспект управления производственной безопасностью. Разработка экономического механизма регулирования условий безопасности – проблема, имеющая много составляющих. Производственная и технологическая безопасность связаны отношениями, существующими в рыночной экономике. В основу функционирования такого механизма в техногенной сфере положена оценка рисков.

Процесс управления риском охватывает различные аспекты работы с риском, от идентификации и анализа риска до оценки его допустимости и определения потенциальных возможностей снижения риска посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих действий. Анализ риска представляет собой структурированный процесс, целью которого является определение как вероятности, так и размеров неблагоприятных последствий исследуемого действия, объекта или системы.

Общей задачей анализа риска является обоснование решений, касающихся риска. Эти решения могут приниматься как часть более крупного процесса управления рисками посредством сопоставления результатов анализа риска с критериями допустимого риска. Во многих ситуациях возникает необходимость оценивания преимуществ того или иного решения. В целом назначение критериев допустимого риска является достаточно сложной задачей, особенно для техногенных ситуаций, связанных с производственной или технологической безопасностью.

Снижение риска возникновения чрезвычайной ситуаций базируется на комплексе оценок, включая экономические критерии. Для условий рыночной экономики определяющую роль играет критерий "стоимость-эффективность". Оценивание рисков для каждого уровня системы

производственной или технологической безопасности выполняется на принципах частичной самокупаемости и самофинансирования. Развитие нормативно-технической базы и законодательной базы позволяет использовать механизмы страхования для компенсации возможных убытков в результате возникновения чрезвычайных ситуаций.

Страхование как неотъемлемая часть строительного инвестиционного процесса позволяет на всех стадиях жизненного цикла строительных объектов не только возмещать внезапные и непредвиденные убытки, но производить защиту капиталовложений. Практика зарубежного страхования позволяет экономить финансовые средства за счет отказа от создания резервных фондов на случай возникновения ущерба, что дает возможность подрядчику использовать эти средства в качестве работающего капитала. В случае наступления страхового случая восстановление объекта может быть произведено значительно быстрее за счет возмещения дополнительных расходов, связанных с выполнением аварийных работ. Страхование позволяет повысить культуру производства на строительной площадке за счет проведения превентивных мероприятий по улучшению системы противопожарной безопасности, усилению режима безопасности строительной площадки, повышения качества технического обслуживания при эксплуатации и ремонтно-восстановительных работах, выявления нарушений режима нормальной эксплуатации и предупреждения аварийных ситуаций.

4. Выводы. Координация научной, научно-технической, экспертной и образовательной деятельности позволяет эффективно использовать методический и практический опыт для решения задач повышения уровня промышленной и технологической безопасности.

УДК 624.014

Ефективні сталеві кроквяні системи для модернізації покріттів типових адміністративних багатоповерхових будівель зі збірною залізобетону

Куземко В.В., асистент, **Нужний В.В.**, асистент, **Оршин Г.Ю.**, аспірант

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Анотація. Для багатоповерхових будівель зі збірною залізобетону з суміщеним покриттям, що експлуатуються тривалий час, гостро стоїть проблема модернізації покрівель з метою створення комфортних умов праці на останньому поверсі та уникнення постійної необхідності ремонту рулонних покрівель. Співробітниками кафедри МДК КНУБА була розроблена легка ефективна кроквяна система зі сталевих конструкцій для спорудження шатрових горищних покриттів в багатоповерхових будівлях за серією ІІІ-04. Переваги даної системи полягають в створенні нових легких раціональних конструкцій, які в стиснутих умовах під час експлуатації будівель монтуються крупноблочним способом. Даний проект був реалізований під час ремонту адміністративної будівлі в м. Золотоноша.

Аннотация. Для многоэтажных зданий из сборного железобетона с совмещенным покрытием, которые эксплуатируются в течение длительного времени, остро стоит проблема модернизации кровель с целью создания комфортных условий работы на последнем этаже и для предупреждения необходимости постоянного ремонта рулонных кровель. Сотрудниками кафедры МДК КНУБА была разработана легкая эффективная система из стальных конструкций для сооружения шатровых чердачных покрытий в многоэтажных зданиях по серии ІІІ-04. Преимущества данной системы состоят в создании новых легких рациональных конструкций, которые в стесненных условиях во время эксплуатации зданий монтируются крупноблочным способом. Данный проект был реализован во время ремонта административного здания в г. Золотоноша

Abstract. The problem of roofs modernization in order to create comfortable working conditions on the top floor and avoid the constant need for repair of flat roll roofing is very actual for multistory buildings made of precast concrete with a combined cover, used for a long time. Employees of the department of steel and wooden structures of KNUBA developed effective light rafter system of steel structures to erect tent attic roofs for typical multistory buildings according to the typical series ІІІ-04. Advantages of this system are to create new light rational structures, which could be erected in compressed conditions without building exploitation postpone, by the way of spatial blocks erecting. This decision was implemented during the repair of an office building in Zolotonosha.

Ключові слова: кроквяні системи, швелер, крупноблочний монтаж

Актуальність проблеми. На території України експлуатується велика кількість зведених в 1960–1980-х рр. багатоповерхових адміністративних будівель зі збірним каркасом за типовою серією ІІІ-04. Такі будівлі мають переважно коридорну систему компонування згідно з архітектурно-планувальними рішеннями і складаються з повздовжніх або поперечних жорстких збірних залізобетонних рам. Характерною особливістю таких

будівель є суміщене покриття без горища та технічного поверху. Дане рішення є морально застарілим, воно потребує інтенсивного кондиціонування виробничих приміщень на верхньому поверсі в літній період для створення комфортних умов праці.

Іншою проблемою є пошкодження з часом покрівлі, систематичне замокання утеплювача, наявність вогких плям на стелі тощо. Це потребує матеріальних затрат на проведення систематичних ремонтів. Альтернативою може бути заміна старої рулонної багат шарової покрівлі на сучасну гумову вулканізовану мембрану з інвентарними елементами для пропуску комунікацій, однак дана система достатньо коштвна та не усуває остаточно всі можливі небезпеки повторення підтікань, а також не вирішує проблеми перегріву повітря в приміщеннях на останньому поверсі в теплу пору року.

Постановка задачі. Виходом за даної ситуації може стати влаштування над будівлею традиційної двоскатної покрівлі з горищем. Але виникають складнощі, пов'язані з влаштуванням горища, які, насамперед, пов'язані з тим, що будівлі, як правило, знаходяться в умовах експлуатації, мають стиснені умови прилеглого майданчику, де за роки поруч розвинулася інфраструктура міста або підприємства. Це потребує поелементного подавання конструкцій на покриття, виготовлення кроквяних конструкцій безпосередньо на даху будівлі. Даний метод зведення, внаслідок неможливості у повній мірі організації високотехнологічних постів збирання та зварювання конструкцій, погіршує якість виготовлених конструкцій, спричинює загрозу додаткового пошкодження покрівлі та перевантаження перекриття на момент проведення будівельних робіт. Виконання великого обсягу зварних робіт на бітумній рулонній покрівлі потребуватиме додаткових заходів із техніки пожежної безпеки. Також на даху необхідно монтувати тимчасове підйомно-транспортне обладнання або працювати за допомогою потужного самохідного чи автомобільного крану, що потребує значних матеріальних затрат на оплату машино-годин.

Викладання основного матеріалу. Фахівцями кафедри МДК КНУБА була розроблена конструктивна система легких підкисних кроквяних систем із одиночних прокатних швелерів, що обпираються на колони будівлі. Дані конструкції були впроваджені під час ремонту даху адміністративної будівлі в м. Золотоноша Черкаської області.

За допомогою даної системи було виконане горищне покриття в адміністративній чотириповерховій каркасній будівлі зі збірних залізобетонних конструкцій за серією ИИ-04, яка має сітку колон 6 x 6 та 6 x 3 м і загальні габарити в осях 54 x 15 м. У поперечнику крок колон складає 6, 3, 6 м відповідно. Це дозволило розробити кроквяну систему,

що спирається на колони каркасу будівлі з кроком 6 м у повздовжньому напрямку, має ухил 28%, що відповідає куту 16° . Цей кут продиктований також планувальними умовами для забезпечення можливості виходу на горище через існуючі двері зі сходової клітини. Поперечники каркасу (див. рис. 1) складаються з одиночних швелерів із безфасонковими вузлами, коли швелери крокв та підкісних стояків стикаються стінками та орієнтовані полицями в різні боки. Таке стикування у вузлах не є широко вживаним, але, з точки зору теорії тонкостінних стрижнів, дані умови передачі навантаження є сприятливими для швелерів, для яких центр згину не співпадає з центром ваги перерізу і знаходиться за межами перерізу [1]. Таким чином, передавання навантажень відбувається через центр згину перерізу. За рахунок прийнятої конструктивної схеми з затяжкою поперечник є безрозпірною системою і не додає додаткових зусиль на конструкції каркасу, окрім вертикальних від власної ваги та снігу, який буде накопичуватися на новій покрівлі, замість існуючої рулонної. Просторова жорсткість та геометрична незмінюваність конструкції забезпечена горизонтальними та вертикальними в'язями. Конструкції розраховувалися на навантаження згідно [2] з терміном експлуатації 50 років. Проектування виконане згідно з вимогами [3], всі вузли конструкції зварні. Покрівля холодна зі сталевого профільованого настилу, виконана за системою Z-подібних прогонів, улаштованих із напустком на опорах, що дозволяє їх розраховувати як нерозрізну систему. До даної системи кроквяних конструкцій можуть бути прив'язані легкі огорожувальні конструкції будь-якої системи з наявних на ринку України – ТПК, Ruukki, Pruszynski тощо згідно з технічними вимогами та супровідною документацією виробника.

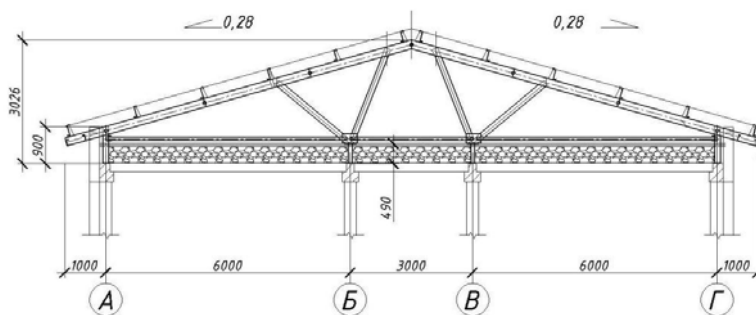


Рис. 1. Поперечник кроквяної системи

Поєднання легких ефективних кроквяних систем із одиночних швелерів та системи легких огорожувальних конструкцій із застосуванням гнутих

профілів дозволило звести усереднені витрати сталі на кроквяні конструкції, в'язі та прогони до 18 кг/м^2 . З них приведена вага чорного металу на кроквяні конструкції та в'язі, вартість яких обчислюється на тонну конструкції, склала лише 12 кг/м^2 .

Описане компонування конструкцій, а також їх мала власна вага, дозволили виконати крупноблочний монтаж даних систем та звести до мінімуму витрати на підйомно-транспортне обладнання. Так, усі поперечники були виконані на прибудинковій території внизу із застосуванням достатньо простого стенду та автомобільного крану. Після цього поперечники були укрупнені в блоки за допомогою в'язей по два-три елементи з загальними розмірами в плані просторових одиниць 17×6 та 17×12 м, які були розташовані навколо будівлі згідно з проектом виконання робіт (див. рис. 2). Крупноблочний монтаж та подавання матеріалів для огорожувальних конструкцій були здійснені 100-тонним краном «КАТО» протягом однієї робочої зміни (див. рис. 3, 4). Вага одного блоку не перевищує $1.5..2.0 \text{ Т}$.



Рис. 2. Укрупнений блок



Рис. 3. Подавання блоку на монтаж



Рис. 4. Конструкції на монтажній позначці

Висновки. Запропонована ефективна конструктивна система може бути застосована як типова з прив'язкою до кліматичних умов конкретної місцевості для влаштування шатрової покрівлі з горищем для багатоповерхових типових адміністративних будівель за серією ИИ-04 зі збірного залізобетону. Витрати чорного металу, вартість конструкцій з якого визначається вартістю 1 тонни, складає лише 12 кг/м^2 , у той час як вартість огорожувальних конструкцій з оцинкованої сталі обчислюється у погонних метрах і є значно нижчою за вартість аналогічних конструкцій з чорного металу. Дані конструкції можуть бути укрупнені у просторові блоки вагою до 2.0 Т і змонтовані в стиснених умовах протягом однієї-двох робочих змін залежно від довжини будівлі.

Література

- [1] Власов В. З. Тонкостенные упругие стержни : Изд. 2-е, перераб. и доп. / В. З. Власов. – М. : Физматлит, 1959. – 568 с.
- [2] ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К., 2006.
- [3] СНиП II-23-81*. Стальные конструкции.

УДК 620.193.2:699.822

Захист від корозії сталеві арматури пошкодженого тріщинами залізобетону

¹Похмурський В.І., чл.-кор. НАНУ, ²Маруха В. І., Зінь І. М.

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
²ДП інженерний центр „Техноресурс” НАН України

Анотація. Для корозійно-електрохімічних досліджень розроблені та виготовлені оригінальні модельні бетонні зразки, які забезпечують ідентичність умов випробувань для шістьох зразків арматури. Вивчені поляризаційні характеристики модельних зразків, витриманих у середовищі слабокислого дощу, кінетика та частотні залежності характеристик імпедансу. Встановлено, що найефективнішою для протикорозійного захисту сталеві арматури є суміш інгібіторів, яка в рівному співвідношенні містить натрію молібдат і кальцію нітрат. Її інгібувальна ефективність у 10–12 разів вища, ніж самих компонентів зокрема, що вказує на прояв ефекту синергізму. Механізм синергізму захисної дії інгібіторів полягає в протіканні на поверхні металу двох процесів, які взаємно підсилюють один одного. Додавання інгібітора в поліуретанову ін'єкційну композицію для ремонту залізобетонних конструкцій підвищує міцність зчеплення арматури з бетоном порівняно з неінгібованою за довготривалої дії корозивного середовища. Застосування інгібованих ін'єкційних полімерних композицій є перспективним для збільшення ресурсу залізобетонних конструкцій.

Аннотация. Для коррозионно-электрохимических исследований разработаны и изготовлены оригинальные модельные бетонные образцы, обеспечивающие идентичность условий испытаний для шести образцов арматуры. Изучены поляризационные характеристики модельных образцов, выдержанных в среде слабокислого дождя, кинетика и частотные зависимости характеристик импеданса. Установлено, что наиболее эффективной для антикоррозионной защиты стальной арматуры является смесь ингибиторов, которая в равном соотношении по массе содержит натрия молибдат и кальция нитрат. Ее ингибирующая эффективность в 10–12 раз выше, чем ее компонентов в отдельности, что указывает на проявление эффекта синергизма. Механизм синергизма защитного действия смеси ингибиторов заключается в протекании на поверхности металла двух процессов, которые взаимно усиливают друг друга. Добавление ингибитора в полиуретановую инъекционную композицию для ремонта железобетонных конструкций повышает прочность сцепления арматуры с телом бетона по сравнению с неингибированной композицией при длительном воздействии коррозионной среды. Применение ингибированных инъекционных полимерных композиций является перспективным для увеличения ресурса железобетонных конструкций.

Abstract. Special model concrete cells, providing identity of tests for six armature samples, were prepared. Polarisation characteristics and impedance dependencies of the model cells, exposed to acid rain solution, were studied. It was established, that the inhibitor blend, containing sodium molybdate and calcium nitrate at equal mass ratio, is most effective for corrosion protection of steel armature. Inhibition efficiency of the blend is 10–12 times higher than efficiencies of its single components. This clearly indicates a synergistic effect. The mechanism of synergistic protective effect of the inhibitor mixture consists in passing on metal surface of two processes reinforcing

each other. An addition of the inhibitor to polyurethane injection composition, used for concrete construction repair, increases the adhesion between concrete and reinforcement exposed in corrosion environment. The use of inhibited injection polymer compositions is perspective for increasing service life of reinforced concrete constructions.

Ключові слова: сталева арматура, протикорозійний захист, інгібітор, полімерні композиції.

Вступ. Залізобетонні споруди тривалої експлуатації поступово руйнуються під впливом довкілля внаслідок корозії сталевих арматур та розтріскування бетону [1, 2]. На початку експлуатації водно-сольове середовище в бетоні лужне, що сприяє пасивації поверхні арматури. Після взаємодії бетону з вуглекислим, сірчистим та іншими газами показник рН цього середовища знижується до значень, за яких починається корозія арматури. Крім того, в атмосфері, забрудненій викидами промислових підприємств, зафіксовано слабокислі опади [3], що додатково погіршує умови експлуатації залізобетонних конструкцій. На розтріскування бетонної матриці та її відшаровування від арматури істотно впливає збільшення об'єму продуктів корозії заліза в 2–7 разів щодо початкового об'єму металу. Інгібітори можуть істотно зменшити корозію сталевих елементів і зберегти міцність залізобетонної конструкції [4].

Сучасні методи ремонту охоплюють технологію реновації (відновлення роботоздатності) бетонних і залізобетонних конструкцій та споруд уведенням під тиском у порожнини тріщин чи інших корозійно-механічних пошкоджень в'язкотекучих поліуретанових композицій [5, 6]. Для реалізації цієї операції використовують спеціальні ін'єкційні установки мембранного або плунжерного типів, що подають в отвори в бетонній матриці одно- або двокомпонентні поліуретанові композиції. Така технологія забезпечує гідроізоляцію арматури в залізобетонних конструкціях з тріщинами, однак, не створює умов для пасивування та захисту її поверхні після повторного проникнення до металу середовища крізь масу бетону і дефекти в ін'єктованому полімерному шарі. Арматура в залізобетоні потребує додаткового захисту від корозії. У літературі відомі інгібувальні композиції для просочування залізобетону [7], які, однак, мають недостатні захисні характеристики.

Мета даного дослідження – пошук нової суміші інгібіторів з ефектом синергізму захисної дії і дослідження її властивостей для використання в ін'єкційних композиціях на поліуретановій або поліакриловій основі.

Методи випробувань. Для корозійно-електрохімічних досліджень використовували арматурну сталь А500С (ГОСТ 3760-98) у стані постачання. Корозивним середовищем слугував слабокислий розчин з рН

~4,5 (3,18 мг/л H_2SO_4 + 4,62 мг/л амонію сульфату + 3,20 мг/л натрію сульфату + 1,58 мг/л HNO_3 + 2,13 мг/л натрію нітрату + 8,48 мг/л натрію хлориду), що імітує атмосферні опади в промислових районах України. У цей розчин додавали 1 г/л кальцію нітрату, натрію молібдату та їх сумішей у певних пропорціях. Використовували триелектродну електрохімічну комірку з робочою площею зразка $2 \times 2 \text{ см}^2$, насичений каломельний електрод порівняння і платиновий допоміжний. Потенціодинамічні поляризаційні криві знімали на потенціостаті IPC-ProM, з'єднаному з комп'ютером. Струми корозії сталі в інгібованих розчинах визначали екстраполяцією тафелевих ділянок поляризаційних кривих. Поверхневий аналіз захисних плівок, утворених на арматурній сталі після витримки в досліджуваних розчинах, здійснювали на сканівному електронному мікроскопі EVO 40XVP із системою мікроаналізу INCA Energy 350.

Захисні властивості інгібованих ін'єкційних композицій вивчали методом імпедансу [8]. Вимірювали при кімнатній температурі автоматичним мостом змінного струму P-5083 за частоти струму 0,1 kHz. Для цього розробили оригінальну конструкцію бетонних зразків у вигляді циліндрів заввишки 100 mm і діаметром 100 mm з просвердленими шістьма рівновіддаленими отворами $\varnothing 14$ mm і завглибшки 80 mm – для прутків сталеві арматури та центральним наскрізним отвором $\varnothing 18$ mm – для допоміжного графітового протиелектрода (рис. 1). Зразки виготовляли з портландцементу марки 500 і піску з модулем крупності від 1,5 до 2, за водоцементного співвідношення 0,4. Прутки арматури номінального діаметра $\varnothing 12$ mm із сталі A500C розміщували в отворах бетонних зразків, заздалегідь заповнених ін'єкційною поліуретановою композицією Webac 1403 з додатками неорганічних інгібіторів – кальцію нітрату і натрію молібдату в різних масових співвідношеннях. Композиція структурувалась за кімнатної температури шляхом взаємодії компонентів А і В. Робоча площа поверхні прутка арматури становила 35 см^2 . Імпедансні залежності для кожної інгібованої ін'єкційної композиції будували на основі паралельного дослідження в корозійному середовищі шести ущільнених в бетоні арматурних прутків (рис.1).

Для вивчення адгезії (міцності зчеплення) арматури з бетоном виготовляли бетонні зразки розмірами $100 \times 100 \times 300$ mm (рис. 2) з тих самих матеріалів і за тих самих умов, що й зразки для електрохімічних досліджень. Прутки арматури номінального діаметра $\varnothing 12$ mm із сталі A500C, виготовлені із прутків тієї ж партії, що і для електрохімічних випробувань, розміщували уперек великої осі зразків у вершині вузького концентратора – імітатора тріщини, тобто в зоні максимальних напружень розтягу (у зоні передруйнування). Завдяки такому розміщенню досягали максимальної чутливості методу.

Рис. 1. Схема вимірювання імпедансу прутків сталеві арматури, ущільнених інгібованою ін'єкційною композицією у бетонному зразку: 1 – вимірювач параметрів імпедансу P-5083; 2 – допоміжний протиелектрод; 3 – арматура; 4 – ін'єкційна композиція; 5 – корозійне середовище; 6 – бетон; 7 – резервуар.

На міцність зразки випробовували на машині EUS-20 зосередженим згином з розташуванням навантажувального індентора в площині тріщини. Швидкість навантаження $5 \cdot 10^{-3}$ МПа/с. Напруження руйнування зразків з урахуванням глибини концентратора розраховували за формулою $\sigma_k = 3PL/2b(h-h_k)^2$, де P – зусилля руйнування; L – відстань між опорами; b – ширина зразків; h – їх висота; h_k – глибина концентратора напружень.

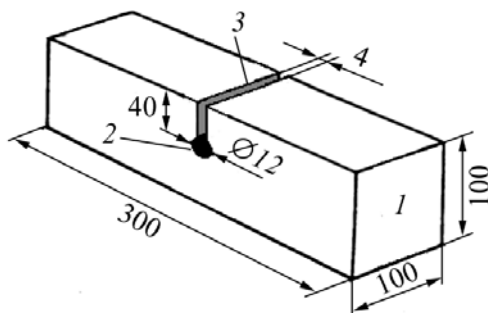


Рис. 2. Схема зразка з бетону для визначення адгезії арматури методом випробування на згин: 1 – бетонна призма; 2 – пруток із арматурної сталі; 3 – концентратор напруження

Дослідження ефективності інгібування корозії арматурної сталі кальцієм нітратом і натрієм молібдатом. Після додавання в слабкокислої корозивний розчин 1 г/л кальцію нітрату значення електродного потенціалу сталі А500С знаходились в межах $-600 \dots -650$ мВ і практично не відрізнялись від таких у неінгібованому робочому середовищі. Це узгоджується з даними праці [4], в якій показано, що ефективність кальцію нітрату при $pH < 6$ суттєво знижується. Після додавання його в корозивний розчин разом з молібдатом натрію потенціал корозії сталі зсувається в бік позитивніших значень. Максимальні значення потенціалу спостерігаються для зразків у розчині, інгібованому композицією моліб-

дат/нітрат за співвідношення 1:1 (рис. 3), коли, ймовірно, слід очікувати істотного уповільнення корозії металу.

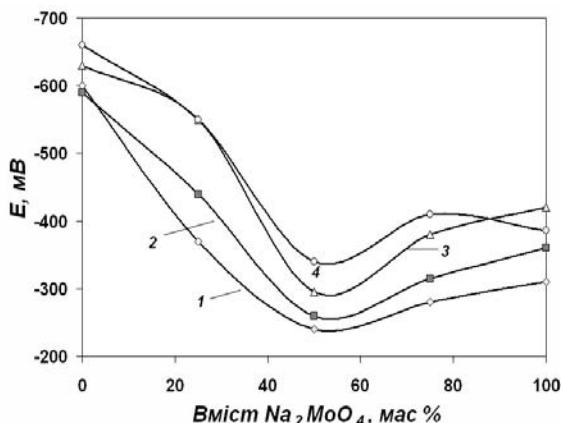


Рис. 3. Залежності потенціалу корозії арматурної сталі А500С від вмісту натрію молібдату в інгібувальній суміші за сумарної концентрації натрію молібдату і кальцію нітрату в корозивному розчині 1 г/л після витримки впродовж: 1 – 24 год.; 2 – 48 год.; 3 – 96 год.; 4 – 170 год.

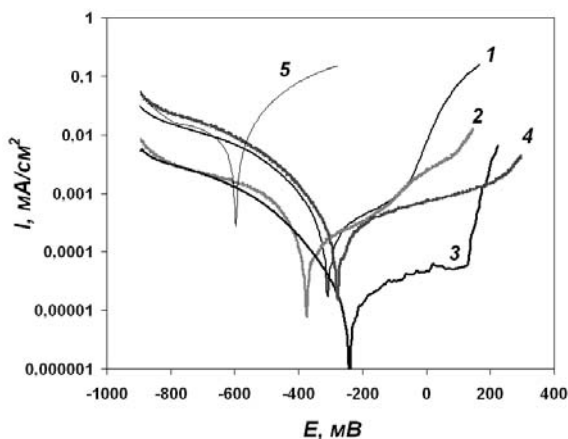


Рис. 4. Потенціодинамічні поляризаційні криві арматурної сталі А500С після 24 год. витримки в корозивних розчинах, що містять: 1 – г/л натрію молібдату; 2 – 0,34 г/л натрію молібдату + 0,66 г/л кальцію нітрату; 3 – 0,5 г/л натрію молібдату + 0,5 г/л кальцію нітрату; 4 – 0,66 г/л натрію молібдату + 0,34 г/л кальцію нітрату і 5 – 1 г/л кальцію нітрату.

Як видно з потенціодинамічних поляризаційних залежностей арматурної сталі в інгібованих натрію молібдатом і кальцію нітратом розчинах, у нітратному розчині переважно катодний контроль корозійних реакцій, а анодна реакція значно полегшена (рис. 4, крива 5). Очевидно, що в слабкокислому корозивному розчині з $\text{pH} < 4,5$ пасивуюча здатність кальцію нітрату проявляється не повністю. Після додавання в середовище натрію молібдату характер поляризаційних залежностей істотно змінюється: на анодних ділянках кривих з'являються плато пасивності (криві 1–4) і

найбільше це плато виражене для середовища, в якому рівні кількості натрію молібдату і кальцію нітрату (крива 3).

Залежності струму корозії сталі, визначені графічною екстраполяцією тафелевих ділянок поляризаційних кривих, від відносного вмісту натрію молібдату в інгібувальній суміші з кальцію нітратом мають екстремальний характер (рис. 5). Мінімум струму корозії сталі для всіх часових витримок у робочому середовищі спостерігається за співвідношення натрію молібдату/кальцію нітрату 50:50 мас. %.

Електронно-мікроскопічним і мікрорентгеноспектральним дослідженнями поверхні арматурної сталі встановлено, що після витримки в корозивному слабокислому розчині, інгібованому сумішшю натрію молібдату і кальцію нітрату у співвідношенні 1:1, на поверхні сталі після 24 год. витримки починає осідати захисна плівка з округлих нерозчинних утворень. За даними мікрорентгеноспектрального аналізу вони містять атоми молібдену, кальцію, кисню і можна припустити, що плівка формується переважно на основі натрію молібдату, а нітрат-іони гальмують розчинення металу, сприяючи утворенню пасивного шару на основі заліза оксиду за такою схемою [9]:

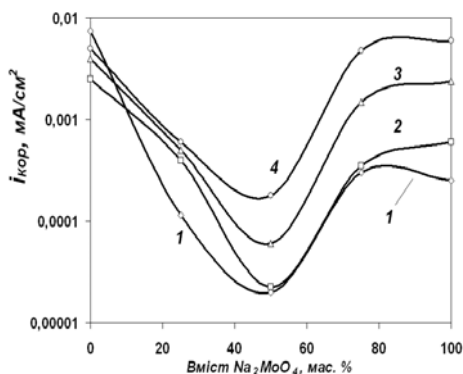
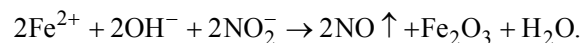
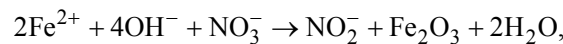


Рис. 5. Залежності густини струму корозії арматурної сталі А500С від процентного вмісту натрію молібдату в інгібувальній суміші (сумарна концентрація натрію молібдату і кальцію нітрату в розчині 1 г/л) після витримки: 1 – 24 год.; 2 – 48 год.; 3 – 96 год.; 4 – 170 год.

Імпедансні дослідження модельних систем «бетонний зразок–ін’єкційна композиція–сталева арматура». У бетонний зразок із шістьма отворами (див. рис. 1) запакували шість стрижнів арматури за допомогою ін’єкційних композицій різного складу. До чистої поліуретанової композиції Webac 1403 із розрахунку на сумарний об’єм поліольного (А) та ізоціанатного (В) складників додавали (мас. %): 1 – 6

натрію молібдату; 2 – 6 кальцію нітрату ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$); 3 – 3 кальцію нітрату + 3 натрію молібдату; 4 – 2 натрію молібдату + 4 кальцію нітрату; 5 – 4 натрію молібдату + 2 кальцію нітрату; 6 – композиція без інгібіторів – контрольний зразок.

Встановлено, що питомий омичний опір модельної системи «бетон–поліуретан–арматурна сталь» у перші дні витримки в слабкокислому дощовому розчині різко знижується для всіх складів інгібувальних композицій, що свідчить про набухання полімерного шару між стінкою бетонного зразка та стрижнем арматури. Така зміна типова для полімерних матеріалів. Далі опір стабілізується і впродовж 125 діб витримки в середовищі дещо зростає. Однак для системи з поліуретановою композицією, яка містить суміш нітратного і молібдатного інгібіторів у рівних кількостях, він приблизно в 2,2–2,7 рази вищий, ніж для інших, коли в полімерному шарі тільки один з указаних інгібіторів (рис. 6а).

Залежності ємності від часу витримки модельних систем у розчинах наближено корелюють із відповідними залежностями опору (рис. 6б). Впродовж 40...50 діб витримки в слабкокислому середовищі ємність систем зростає, що, очевидно, спричинено проникненням молекул води і іонів розчину в ін'єкційний шар. Тут також можливе повільне розчинення неорганічних інгібіторів і попадання їх у корозивне середовище в околі арматурних стрижнів. Після 50 діб експозиції ємність починає знижуватися, що, найімовірніше, викликане пасивацією поверхні арматурних стержнів під впливом інгібіторів. Для поліуретанової композиції з сумішшю нітратного і молібдатного інгібіторів ємність модельної системи найнижча, що свідчить про утворення на поверхні стержнів арматури суцільної пасивувальної плівки. На основі аналізу залежності електродного потенціалу, вольтамперних характеристик, густини струму корозії та імпедансних характеристик від співвідношення вмісту натрію молібдату та кальцію нітрату в інгібувальній суміші встановлено, що максимальна ефективність інгібіторного захисту сталі від корозії в середовищі штучного слабкислого дощу досягається за приблизно рівної (50:50) масової концентрації цих хімічних сполук [10]. На основі цього запропоновано нову ін'єкційну композицію для захисту арматури в залізобетоні [11].

Дослідження впливу розробленого інгібітора на механічні властивості бетонних зразків з арматурними прутками (див. рис. 2). Одну серію призматичних бетонних зразків витримували протягом 60 діб в синтетичного кислого дощу, другу – в тому ж середовищі, інгібованому сумішшю натрію молібдату і кальцію нітрату за співвідношення 1:1, третю контрольну – на повітрі. Бетонні зразки випробовували після висихання поверхні, тобто не скоріше ніж за 12 год. після виймання з ванни.

Середовище слабокислого дощу суттєвіше знижує міцність зразків (серія II), ніж таке саме з інгібітором (серія III), що складається з рівних частин кальцію нітрату та натрію молібдату, проти міцності контрольних зразків (серія I), які не знаходилися під впливом середовища (див. таблицю, перша колонка).

Менші значення міцності зразків, витриманих у середовищі слабокислого дощу без інгібітора є, мабуть, наслідком більшого об'єму продуктів корозії, утворених на поверхні арматурних стержнів. Тріщини поширилися на межі поділу округлої арматури і бетону, де реалізується складнонапружений стан – розтяг зі зсувом під час згину зразка, розповсюджувались по контуру арматури і далі в бетоні до розламу зразка (рис. 7а).

Злами зразків висушували в лабораторному повітрі та склеювали парні половинки ін'єкційною композицією, імітуючи заповнену щілину тріщин під час ремонту бетонних конструкцій. Парні половинки розламаних зразків, витриманих на повітрі і в середовищі без інгібітора, склеювали ін'єкційною композицією без вмісту інгібітора, а половинки зразків, витриманих у середовищі з інгібітором – ін'єкційною композицією з додаванням інгібітора. Інгібітор висушували впродовж 1 год. при 125 °С і після охолодження – до кімнатної температури, відразу додавали в поліольний складник поліуретанової композиції.

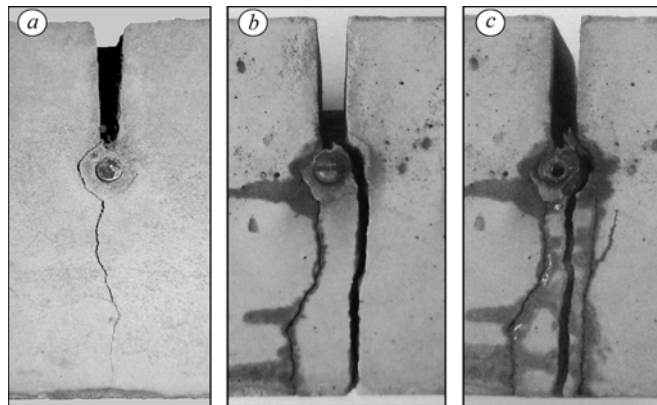


Рис. 7. Вигляд розламів вихідного (а), один раз (b) і двічі (c) склеєних бетонних призматичних зразків

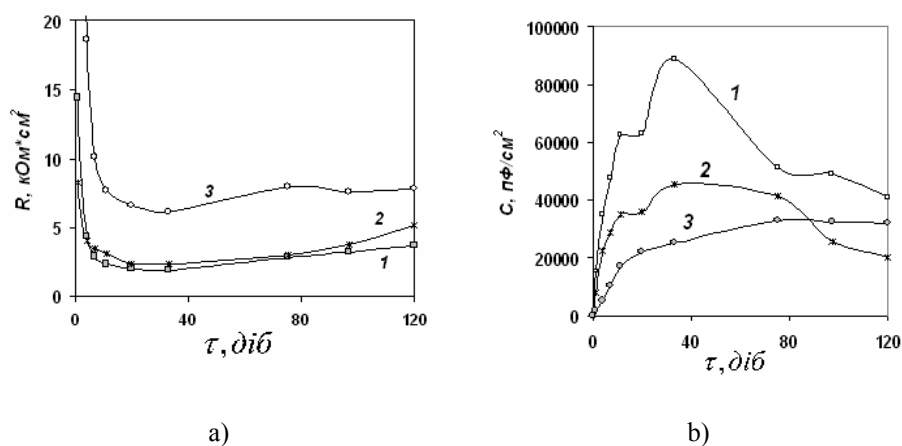


Рис. 6. Часові залежності опору (а) та ємності (б) залізобетонного зразка, ін'єктованого поліуретановими композиціями: 1 – 6 мас.% натрію молібдату; 2 – 6 мас.% кальцію нітрату і 3 – 3 мас.% натрію молібдату і 3 мас.% кальцію нітрату (частота струму 0,1 кГц)

Дані випробувань бетонних зразків з арматурними прутками $\varnothing 12$ мм
у вершинах концентраторів напруження

Серія	Міцність зразків σ_k , МПа			σ_{k2}/σ_{k1}	Примітка
	вихідний стан, σ_{k0}	перше склеювання, σ_{k1}	друге склеювання, σ_{k2}		
I	3,7	3,9	4,8	1,3	Витримка на повітрі, склеювання без інгібіторів
II	3,2	3,4	3,8	1,2	Витримка 60 діб у середовищі, склеювання без інгібітора
III	3,6	3,9	4,2	1,2	Те саме, склеювання з інгібітором

Висновки. Розроблені та виготовлені модельні бетонні зразки-комірки для корозійно-електрохімічних досліджень, які забезпечують ідентичність умов випробувань для шести зразків арматури. Вивчено поляризаційні залежності струму від напруги, потенціали корозії та характеристики імпедансу модельних зразків, витриманих у середовищі слабокислого дощу з додаванням суміші інгібіторів.

Встановлено, що найефективніша для протикорозійного захисту сталеві арматури суміш інгібіторів, яка містить натрію молібдат і кальцію нітрат у рівному співвідношенні за масою. Причому ефективність її в 10–12 разів вища, ніж кожного з її компонентів, що вказує на прояв ефекту синергізму. Механізм синергізму захисної дії суміші інгібіторів полягає в протіканні на поверхні металу двох процесів, які взаємно підсилюють один одного.

Після додавання суміші інгібіторів в поліуретанову ін'єкційну композицію для ремонту залізобетонних конструкцій міцність зчеплення арматури з тілом бетону підвищується в 1,2–1,3 рази порівняно з неінгібованою за тривалої дії корозивного середовища.

Застосування інгібованих ін'єкційних полімерних композицій є перспективним для збільшення ресурсу залізобетонних конструкцій.

Література

- [1] Алексеев С. Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С. Н. Алексеев, Н. К. Розенталь. – М. : Стройиздат, 1976. – 132 с.
- [2] Трещины в железобетоне и коррозия арматуры / В. М. Москвин, С. Н. Алексеев, Г. П. Вербецкий, В. И. Новгородский. – М. : Стройиздат, 1971. – 144 с.
- [3] Acid Rain. A review of the phenomenon in EEC and Europe // A report prepared for the Commission of the European Communities. – 1983. – Brussels and Luxemburg.
- [4] Алексеев С. Н. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях / С. Н. Алексеев, В. Б. Ратинов, Н. К. Розенталь. – М. : Стройиздат, 1985. – 272 с.
- [5] Лучко Й. Й. Методи підвищення корозійної стійкості та довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд / Й. Й. Лучко, І. І. Глагола, Б. Л. Назаркевич. – Львів : Каменяр, 1999. – 229 с.
- [6] Розробка ін'єкційних технологій та створення комплексу пересувного устаткування для діагностики та відновлення працездатності бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд, що експлуатуються в умовах корозійно-механічного руйнування / В. І. Маруха, Я. А. Середницький, І. П. Гнип, В. П. Силованюк // Наука та інновації. – 2007. – № 5. – С. 26–33.

- [7] United States Patent № 6174461. C04B41/45. Concrete sealers with migrating corrosion inhibitors / В. А. Miksic, С. М. Suchy, М. Kharshan. – Publ. 01.16.2001.
- [8] Карякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Карякина. – М. : Химия, 1988. – 272 с.
- [9] Saraswathy V. and Song H.-W. Improving the durability of concrete by using inhibitors // Building and Environment. – 2007. – № 42. – Р. 464–472.
- [10] Синергічний вплив нітратного та молібдатного інгібіторів на корозію арматурної сталі / [В. І. Похмурський, І. М. Зінь, В. І. Маруха та ін.] // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала. – ПГТ Славское Львовской обл., февраль, 2009. – С. 110–112.
- [11] Патент на корисну модель № 40707. Ін'єкційна композиція / В. І. Похмурський, І. М. Зінь, В. І. Маруха, І. П. Гнип, Л. М. Білий. – Опубл. 27.04.2009; Бюл. № 8.
- [12] Лебедев С. В. Просочувально-штукатурно-ін'єкційно-фарбувальна технологія санації залізобетонних конструкцій, що мають пошкодження та дефектні зони / С. В. Лебедев, В. М. Коляда, С. В. Коляда // Проблемы ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. – К.: ІЕЗ ім. Е. О. Патона, 2006. – С. 470–473.
- [13] Панасюк В. В. Міцність пошкоджень тріщинами елементів конструкцій, залікованих за ін'єкційними технологіями / В. В. Панасюк, В. І. Силованюк, В. І. Маруха // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2005. – № 6. – С. 60–64.

УДК 624.014:620.193

Про стан захисту металофонду України від корозії

Похмурський В.І., чл.-кор. НАНУ,

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

Анотація. Сформульовані умови вдосконалення чинної нормативно-правової бази з метою її гармонізації з європейськими директивними документами щодо протикорозійного захисту потенційно небезпечних об'єктів, посилення нагляду і контролю стану споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж.

Аннотация. Сформулированы условия совершенствования существующей нормативно-правовой базы с целью её гармонизации с европейскими нормативными документами по противокоррозионной защите потенциально опасных объектов, усиления надзора и контроля состояния сооружений, конструкций, оборудования и инженерных сетей.

Abstract. Conditions of perfection of the existing regulatory-legal base with the purpose of its harmonization with the European standard documents on anticorrosive protection of potentially hazardous facilities, strengthening the supervision and monitoring of conditions of constructions, structures, equipment and utilities are formulated.

Ключові слова: корозійно-механічне руйнування, рівень корозійної небезпеки, ресурсо-зберігаючі технології захисту від корозії сталевих конструкцій.

Вступ. Незадовільний стан металофонду України за рівнем корозійної захищеності, довговічності та надійності зумовлює критичний стан основних виробничих фондів у провідних галузях промисловості, агропромислового комплексу, системах життєзабезпечення та становить, відповідно до Рішення Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при РНБОУ від 13 жовтня 2009 р., загрозу національній безпеці України в економічній та екологічній сферах. З огляду на високу значимість заходів для забезпечення надійності і довговічності металофонду, боротьба з корозією є важливим елементом державної технічної й економічної політики всіх промислово розвинутих країн. Орієнтовні щорічні прямі витрати, пов'язані з корозією, складають за даними американської асоціації корозіоністів (NACE International) 276 млрд. доларів США, що становить 3,1% номінального валового внутрішнього продукту США.

Відсутність основних засад, принципів формування пріоритетів державної політики в Україні у сфері захисту металів від корозії з урахуванням вимог Директиви Європейського парламенту та Ради ЄС 2001/95/ЄС від 3 грудня 2001 р. “Щодо загальної безпеки продукції” не сприяє покращенню

організаційно-економічного механізму регулювання ефективності протикорозійного захисту, вдосконаленню нормативно-правового забезпечення розвитку виробничої інфраструктури сучасних корозійностійких матеріалів та технологій.

Стан металофонду в Україні. Україна є однією з найбільш металонасичених держав Східної Європи, але її металофонд за рівнем корозійної захищеності, довговічності та надійності значно поступається рівню, якого вже досягнула більшість промислово розвинутих країн.

В Україні експлуатується близько 36 млн. т несучих металевих конструкцій, введених в дію, в основному, в 60–80-х роках. Металеві конструкції сконцентровані, насамперед, на об'єктах базових галузей: чорної і кольорової металургії, машинобудування, енергетичної, вугледобувної, нафтогазової промисловості та ін. Внаслідок корозійного руйнування стан основних фондів у провідних галузях економіки є критичним [1].

Із понад 28 тис. залізничних і автодорожніх мостів 14% залізничних та 46% автодорожніх не відповідають правилам експлуатації, а серед мостів, що знаходяться у комунальній власності, ця цифра сягає близько 75%. Близько 20% (17 тис. км) водопровідних і 10% (5,3 тис. км) каналізаційних мереж знаходяться в аварійному стані і потребують заміни, що призвело до зростання кількості аварій у комунальному господарстві населених пунктів. Особливим аспектом цієї проблеми є корозійно-механічне руйнування металу, що відбувається внаслідок сумісної дії механічних навантажень та корозійних середовищ і спричиняє досить часті випадки аварійного виходу з ладу трубопроводів, хімічного та енергетичного обладнання, різноманітних місткостей, транспортних засобів та інших об'єктів, часто з важкими екологічними наслідками. Почастішали випадки корозійного руйнування стратегічно важливої газотранспортної системи як у нас, так і в Росії.

Проблеми захисту металофонду. В Україні відсутня сформована державна політика, спрямована на скорочення корозійних втрат за рахунок використання ресурсо- та енергозберігаючих технологій протикорозійного захисту. Для юридичного закріплення пріоритетів державної політики в галузі захисту від корозії основних фондів необхідний розвиток нормативно-правової бази, що дозволила б в умовах ліквідації адміністративно-командної системи, переходу до ринкової економіки здійснювати технічне регулювання проблем безпеки та застосовувати економічний механізм ефективного функціонування науково-виробничого комплексу у напрямках збереження і раціонального використання металофонду України за рівнями корозійної небезпеки.

Має місце невідповідність системи нормативно-технічної документації щодо встановлення експлуатаційних строків служби, технічного обслуговування та ремонту металоконструкцій європейським і міжнародним вимогам. Роботи із захисту від корозії та продовженню залишкового ресурсу металоконструкцій не забезпечені необхідною нормативно-технічною документацією щодо встановлення експлуатаційних строків служби, технологічними регламентами щодо технічного обслуговування та ремонту.

Необхідно внесення змін до діючих нормативних документів та розробка вимог щодо застосування засобів протикорозійного захисту з урахуванням рівня корозійної небезпеки. На даний час застосовується “Единая система защиты от коррозии, старения и биоповреждений (ЕСЗКС)”, яка включає близько 130 організаційно-методичних та загально-технічних стандартів, правил прийняття і контролю, стандартів типових технологічних процесів, що була розроблена та запроваджена ще у 80-і роки минулого століття.

Відсутність єдиної бази даних сертифікаційних випробувань та оцінки експлуатаційних властивостей матеріалів первинного та вторинного захисту від корозії, розробки експертної системи діагностики корозійного стану та моніторингу стану протикорозійного захисту за показниками корозійної стійкості, довговічності, ремонтпридатності конструкцій будівель і споруд затрудняє вибір раціональних методів продовження ресурсу безаварійної експлуатації промислових об’єктів базових галузей.

Розв’язання проблем стандартизації з питань захисту від корозії, визначення складу та структури нормативних вимог щодо забезпечення безпеки або встановлених показників якості будівельних матеріалів, виробів і конструкцій потребує оновлення та розробки протягом 2012-2014 рр. низки нормативних документів:

- ДБН «Захист від корозії в будівництві. Захист металевих конструкцій від корозії» на заміну розділів СНіП 2.03.11-85* у частині вимог щодо захисту від корозії металевих конструкцій відповідно до ISO 12944: 1998 «Лаки та фарби – захист від корозії сталевих конструкцій»;
- ДБН «Захист від корозії в будівництві. Діагностика корозійного стану та продовження нормативного ресурсу металевих конструкцій» на заміну посібника СНіП 2.03.11-85;
- ДБН «Технічне регулювання безпеки експлуатації будівельних конструкцій, будівель і споруд об’єктів підвищеної небезпеки у корозійних середовищах»;
- ДСТУ «Моніторинг технологічної безпеки промислових будівель і споруд. Загальні положення».

Відсутність статистичних спостережень за обсягами прямих і опосередкованих втрат, спричинених корозією, не дозволяють застосовувати об'єктивні методи оцінки збитків, нанесених економіці держави корозією. Наприкінці 90-х років минулого століття, коли здійснювався облік цих втрат, вони становили близько 4,5–5% ВВП.

За орієнтовною оцінкою експертів Української асоціації корозіоністів, рівень збитків від корозії протягом 1995–2005 рр. становить близько 5–6% ВВП. На багатьох підприємствах металокопструкції просто «згнивають» (припортові і морські споруди, опори ЛЕП, обладнання хімічних, гірничорудних підприємств тощо). Втрати металу від корозії в світі вже складають близько 30% від його річного випуску. Вважається, що 10% металу втрачається (в основному у вигляді іржі) безповоротно.

Недостатньо жорсткі вимоги та санкції з боку держави щодо стану металокопструкцій в умовах обмежених фінансових ресурсів не сприяють впровадженню систем активного корозійного моніторингу в енергетиці, хімічній промисловості.

Незадовільний корозійний стан копструкцій, споруд та інженерних мереж потребує вжиття невідкладних заходів, спрямованих на посилення нагляду за вимогами безпечної рівня їх механічної міцності при порушенні режиму нормальної експлуатації у корозійних середовищах. Чинною нормативно-правовою базою встановлено лише регламентацію вимог механічної безпеки металокопструкцій при нормальних умовах експлуатації об'єктів.

Системи постійного контролю корозії матеріалів обладнання екологічно небезпечних і стратегічно важливих об'єктів могли б забезпечити актуальною інформацією про фактичний стан металу для здійснення превентивних заходів та запобігання розвитку неконтрольованих процесів. На даний час ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ разом із Технологічним інститутом Східноукраїнського національного університету ім. Даля, НВП «Мікротерм» та іншими установами завершують створення першої такої розробки для Лисичанського НПЗ «ЛИНОС». НТУУ «КПІ» розробив подібну систему для захисту обладнання комунальної енергетики, ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ працює над створенням подібної системи для магістральних трубопроводів.

Недостатній рівень випуску вітчизняною металургійною промисловістю корозійно-захищеного прокату (менше 5%) при дефіциті якісних вітчизняних засобів протикорозійного захисту збільшує затрати споживачів металопродукції та знижує рівень захисту металокопструкцій. У США, західноєвропейських країнах, Японії обсяги випуску деяких профілів корозійно-захищеного прокату сягають 60% і більше. У багатьох

країнах вже багато років випускається металопрокат із гарячим цинк-алюмінієвим покриттям «Гальфан» і «Гальвалюм», що у 2–5 разів ефективніше за традиційне гаряче цинкове. Лише у Польщі сьогодні працює близько 80 заводів, цехів і дільниць для нанесення гарячих цинкових покриттів на металоконструкції, в Німеччині – вдвічі більше, а в Україні – одиниці.

Сьогодні в Україні лакофарбові матеріали пропонують понад сотню різних організацій, більшість з яких не є виробниками, а лише посередниками. При цьому пропонується лакофарбова продукція у багатьох випадках не відповідає вимогам сертифіката якості і реалізується за обмеженою кількістю показників фізико-механічних та захисних властивостей.

Гострим є дефіцит обладнання для якісної підготовки поверхні металу перед нанесенням покриття, здійснення протикорозійного захисту, корозійного контролю. Значним залишається обсяг робіт із протикорозійного захисту металоконструкцій у так званих «польових умовах», коли поверхню перед нанесенням покриття абияк зачищають металевими щітками, неочищеним піском тощо. Така «підготовка», крім зайвих витрат, практично не дає позитивного ефекту, оскільки після нанесення на погано підготовлену поверхню металу покриття під ним розвивається підплівкова корозія, яка швидко руйнує конструкцію. На жаль, така практика широко розповсюджена під час прокладання водогонів, газових мереж середнього тиску, ремонту мостів, веж тощо. В Україні є розроблене обладнання для якісної надзвукової, термоабразивної, гідроабразивної підготовки поверхні (Державні інженерні центри «Техноресурс» і «Львівантикор», Державне мале підприємство «Газотермік» та ін.), але його серійне виробництво не організоване.

В Україні є проблеми з координацією наукових досліджень у галузі корозії та захисту конструкційних матеріалів, відсутній спеціалізований інститут та його роль частково виконує Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка (ФМІ). В системі НАН України фундаментальні дослідження з корозійної проблематики координуються через відомче замовлення, а їх практична реалізація підтримується через окремий розділ комплексної програми «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» («Ресурс») із дуже обмеженим обсягом фінансування. При Президії НАН України функціонує Міжвідомча науково-технічна рада з проблем корозії та протикорозійного захисту металів, яка періодично аналізує стан протикорозійного захисту об'єктів окремих галузей промисловості, готує відповідні пропозиції, визначає пріоритетні напрямки розвитку досліджень у своїй галузі, разом з

Українською асоціацією корозіоністів та ФМІ систематично організовує міжнародні та національні конференції-виставки з проблем корозії та протикорозійного захисту матеріалів, але не може суттєво впливати на рівень практичної реалізації наукових розробок, враховуючи те, що значна частина промислових об'єктів знаходиться у приватній власності.

В системі Мінрегіонбуду України на базі ТОВ «Укрінсталкон ім. В.М. Шимановського» в 2003-2008 рр. створено експериментальну базу з контролю якості протикорозійних покриттів будівельних виробів та конструкцій за вимогами міжнародних стандартів (EN ISO). Розроблено теоретичне обґрунтування та визначений порядок розрахунків на корозійну стійкість, довговічність і ремонтпридатність за граничними станами щодо забезпечення регламентних вимог якості протикорозійного захисту для встановленого рівня корозійної небезпеки будівельних об'єктів.

Важливою проблемою є також кадрова – брак інженерів-корозіоністів, освітньо-кваліфікаційні характеристики яких повинні передбачати уміння здійснювати комплексні заходи протикорозійного захисту конструкцій у базових галузях промисловості.

Висновки. Зважаючи на сучасний критичний стан металофонду України, проблема його протикорозійного захисту набуває значення однієї з пріоритетних та вимагає вирішення на державному рівні шляхом розробки та прийняття відповідної науково-технічної програми із захисту від корозії конструкційних матеріалів у базових галузях промисловості на найближчі роки, як це передбачено рішенням Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при РНБОУ від 13 жовтня 2009 р.

Література.

- [1] Мелехов Р. К. Конструкційні матеріали енергетичного обладнання. Властивості, деградація / Р. К. Мелехов, В. І. Похмурський. – К. : Наукова думка, 2003. – 382 с.

УДК 624.014.2:624.042.4

Вплив прибудов на несучу здатність конструкцій легкого покриття виробничого цеху

Пічугін С.Ф., д.т.н., **Семко О.В.**, д.т.н., **Гасенко А.В.**, к.т.н.,
Дрижирук Ю.В., аспірант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
Україна

Анотація. У статті розглянуто вплив прибудов нових цехів до існуючої будівлі виробничого цеху на несучу здатність конструкцій легкого покриття за рахунок зміни снігового навантаження. Внаслідок прибудови утворюються снігові мішки, що спричиняють додаткове навантаження на покрівлю, а отже і зміну внутрішніх зусиль у елементах ферм покриття.

Аннотация. В статье рассматривается влияние пристроенных зданий к существующему производственному цеху на несущую способность конструкций легкого покрытия за счет изменения снеговой нагрузки. Вследствие пристройки возникают снеговые мешки, что вызывает дополнительные нагрузки на кровлю, а значит и смену внутренних усилий в элементах ферм покрытия.

Abstract. An influence of additional buildings to existing industrial house on bearing ability of light-weight roofing on the reason of changing of snow load is examined. Due to additional building, the snow bags appear, which generate additional load on the roof, as well as changing of internal forces in the truss elements.

Ключові слова: виробничі будівлі, легкі сталеві конструкції покриття, снігове навантаження, несуча здатність.

Постановка проблеми та її обґрунтування. Основним навантаженням на сталеві конструкції легких покриттів промислових та цивільних будівель є снігове навантаження. За діючими нормами [2] снігове навантаження складає для території України близько 50–70% від загального навантаження, що включає і власну вагу конструкцій покриття [3, 5]. Граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття (конструкції) згідно з [2] залежить від району, в якому буде зводитися будівля, форми конструкцій покриття (ухилу покрівлі, наявності перепадів висот, ендов, парапетів), а також терміну та особливостей режиму експлуатації будівлі. Тому питання розгляду раціональних форм конструкцій легких покриттів промислових і цивільних будівель, що протидіють утворенню так званих “снігових мішків” та, як наслідок, збільшенню місцевого навантаження на покрівлі, є актуальним [1, 3].

Аналіз останніх досліджень та виділення невирішених питань. Метеорологічні дослідження величини снігового навантаження на території України ведуть вже більше століття. Спершу врахування цього навантаження на будівельні конструкції мало детерміністичний підхід, і лише останні десятиріччя почали запроваджувати імовірнісний підхід [4, 6]. Але детерміністичний підхід зберігається і до сьогодні у визначенні надлишкового снігового навантаження в місцях перепаду висот будівель. При цьому не враховується інтенсивність здування снігу вітром.

Мета роботи – виконати порівняльний аналіз впливу прибудов, що мають різну висоту, на зміну внутрішніх зусиль в елементах сталевих конструкцій легкого покриття виробничого цеху за рахунок зміни величини снігового навантаження.

Виклад основного матеріалу. Аналіз впливу величини снігового навантаження на зміну внутрішніх зусиль у елементах сталеві ферми покриття виконано на прикладі виробничого цеху промислового підприємства. Дослідна будівля представляє собою каркасну одноповерхову будівлю з габаритними розмірами 180 × 45 метрів. Основною несучою конструкцією будівлі є поперечні комбіновані рами з прольотами 45 метрів, встановлені з кроком 6 метрів. Колони рам виконані із залізобетону двотаврового поперечного перерізу з жорстким защемленням у фундаменті. Елементи покриття (ферми, прогони, затяжки) виконані зі сталевих прокатних профілів. Ферми покриття обпираються верхнім поясом безпосередньо на залізобетонні колони. Покрівля цеху утеплена та має zenітні ліхтарі, тому під час функціонування цеху та виділення під час виробничого процесу теплоти можливе підтавання снігу на них взимку. Ухил покрівлі – близько 15°.

На рисунку 1 зображений загальний план розташування цехів, на якому дослідний цех – заштрихований – знаходиться між цехами, що планується споруджувати. У зв'язку з цим змінюється розрахункова схема збору снігового навантаження на сталеві конструкції покрівлі існуючого цеху. З однієї сторони планується добудувати цех прольотом 36 метрів із покрівлею в одному рівні з існуючим. З іншої сторони – цех прольотом 24 метри із вищою на близько 5 метрів покрівлею. Для запобігання передачі ваги “снігового мішка” на існуючий 45-метровий цех, запроєктовано “снігозбірний” 6-метровий цех із висотою в одному рівні з існуючим. На рисунку 2 показаний поперечний розріз виробничих цехів, на якому відображено утворення ендови та перепади висот на межах виробничих цехів.

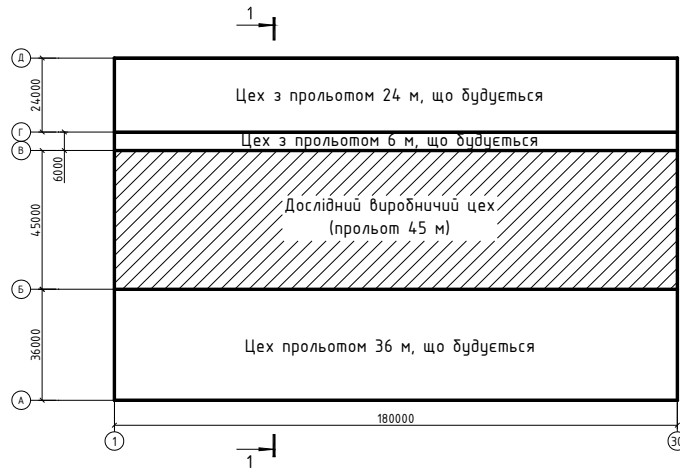


Рис. 1. Загальний план розташування виробничих цехів промислового підприємства

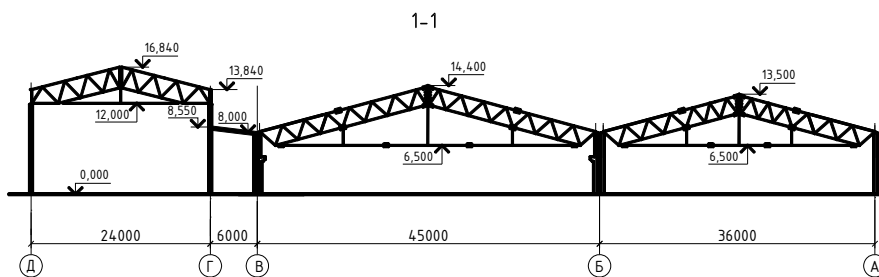


Рис. 2. Поперечний розріз 1-1 виробничих цехів

Ферма покриття виконана з прокатних швелерів із двох відправних марок (половин) із паралельними поясами. Відстань між поясами – 1750 мм. Проліт ферми – 45 метрів. Верхній пояс ферм виконаний з двох швелерів № 22, розкоси, нижній пояс та затяжка – з швелерів № 14. Схематичне креслення ферми показано на поперечному розрізі 1-1 (див. рис. 2) та на схемах завантаження на рисунку 3.

Збір навантажень на верхній пояс кроквяної ферми та визначення напружень у її елементах для зручнішого порівняння виконувалося у табличній формі. Граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття (конструкції) згідно [2] обчислюється за формулою:

$$S_m = \gamma_{fm} \cdot S_0 \cdot C; \quad (1)$$

де γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження, що визначається згідно з п. 8.11, [2]. Оскільки дана будівля відноситься до виробничих, то термін її експлуатації становить 60 років за додатком В, [2], тому $\gamma_{fm} = 1.04$ (табл. 8.1, [2]);

S_0 – характеристичне значення снігового навантаження (в Па), що визначається згідно з п. 8.5, [2]. Характеристичне значення снігового навантаження S_0 (в Па) дорівнює вазі снігового покриву на 1 квадратний метр поверхні ґрунту, яке може бути перевищене, у середньому, один раз за 50 років;

C – коефіцієнт, що визначається за вказівками п. 8.6, [2]:

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt}; \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на покрівлі, який визначається за пп. 8.7, 8.8 [2]. Визначаємо далі згідно зі схемою 5 дод. Ж, [2], (рис. 1), оскільки в даному випадку маємо плоскі покриття з $\alpha \approx 15^0$;

C_e – коефіцієнт, що враховує особливості режиму експлуатації на накопичення снігу на покрівлі й визначається за п. 8.9 [2]. Приймаємо $C_e = 1$, крім розрахунку типу Д, де враховується можливість підтавання снігу на зенітних ліхтарях, і в цьому типі розрахунку приймаємо $C_e = 0.8$ тільки над зенітними ліхтарями;

C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти, що визначається за п. 8.10 [2]. Оскільки висота розміщення будівлі над рівнем моря менша, ніж 0,5 км, то $C_{alt} = 1$.

Розроблено п'ять варіантів розрахунку, які відрізняються типом врахування снігового навантаження (наявності прибудов різної висоти до існуючого дослідного цеху):

тип А – снігове навантаження рівномірне, $\mu = 1$ – виробнича будівля без прибудов (сх. 1, дод. Ж [2]) (рис. 3, а);

тип Б – снігове навантаження із врахуванням ендови між існуючим 45-ти та прибудованим 36-метровими прольотами, коли $\mu = 1,4$ на одній половині 45-метрового прольоту, а на іншій – $\mu = 0,6$ (сх. 5, дод. Ж [2]) (рис. 3, б);

тип В – снігове навантаження з урахуванням снігового мішка від вищого 24-метрового прольоту, що прибудовується, $\mu = 4 \dots 0,5$ (сх. 8, дод. Ж [2]) (рис. 3, в);

тип Г – снігове навантаження з урахуванням ендови між існуючим 45-ти та прибудованим з однієї сторони 36-метровими прольотами, де $\mu = 1,4$, та з урахуванням снігового мішка від вищого 24-метрового прольоту, що прибудовується з іншої сторони, $\mu = 4 \dots 0,5$ (сх. 5 і 8, дод. Ж [2]) (рис. 3, г);

тип Д – снігове навантаження з урахуванням ендови між існуючим 45-ти та прибудованим з однієї сторони 36-метровими прольотами, де $\mu = 1,4$, та з урахуванням снігового мішка від вищого 24-метрового прольоту, що прибудовується з іншої сторони, $\mu = 4 \dots 0,5$ та з урахуванням можливості підтавання снігу на zenітних ліхтарях цеху (сх. 5 і 8, дод. Ж та п. 8.9 [2]) (рис. 3, г).

На рисунку 4 показана схема завантаження та закріплення досліджуваної кроквяної ферми. Зосереджене навантаження від власної ваги конструкцій покрівлі та снігового навантаження на верхній пояс кроквяної ферми передається через прогони, які встановлені з кроком 1550 мм.

Результатом статичного розрахунку ферм є значення внутрішніх зусиль у елементах ферм покриття. Найбільш небезпечні виявилися елементи верхнього поясу, в яких, крім стискаючої поздовжньої сили, виникає ще й згинаючий момент від позавузлового прикладення навантаження (див. рис. 4). Перевірка несучої здатності елемента верхнього поясу, що працює на стиск із згином, виконувалася за наближеною формулою:

$$\sigma = \frac{N}{A \cdot \varphi_{\min}} + \frac{M_{\max}}{W_x} \leq R_y \cdot \gamma_c. \quad (3)$$

Точна перевірка стійкості елемента верхнього поясу кроквяної ферми, що працює на стиск із згином, виконувалася згідно з [7] за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (4)$$

де φ_e – коефіцієнт поздовжнього згину, що визначається в залежності від приведеної умовної гнучкості $\bar{\lambda}$ та приведеного відносного ексцентриситету m_{ef} по табл. 74 [7].

Перевірка несучої здатності розтягнутого елемента виконувалася за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (5)$$

Слід відмітити, що формула (3) у порівнянні з формулою (4) дає завищені значення напружень в елементах. Тому результати розрахунку, занесені до таблиці 1, визначалися за формулою (3). У таблицю 1 занесені значення напружень окремо від поздовжньої сили та згинаючого моменту, що виникають в елементі ферми, а потім наведена їхня сума.

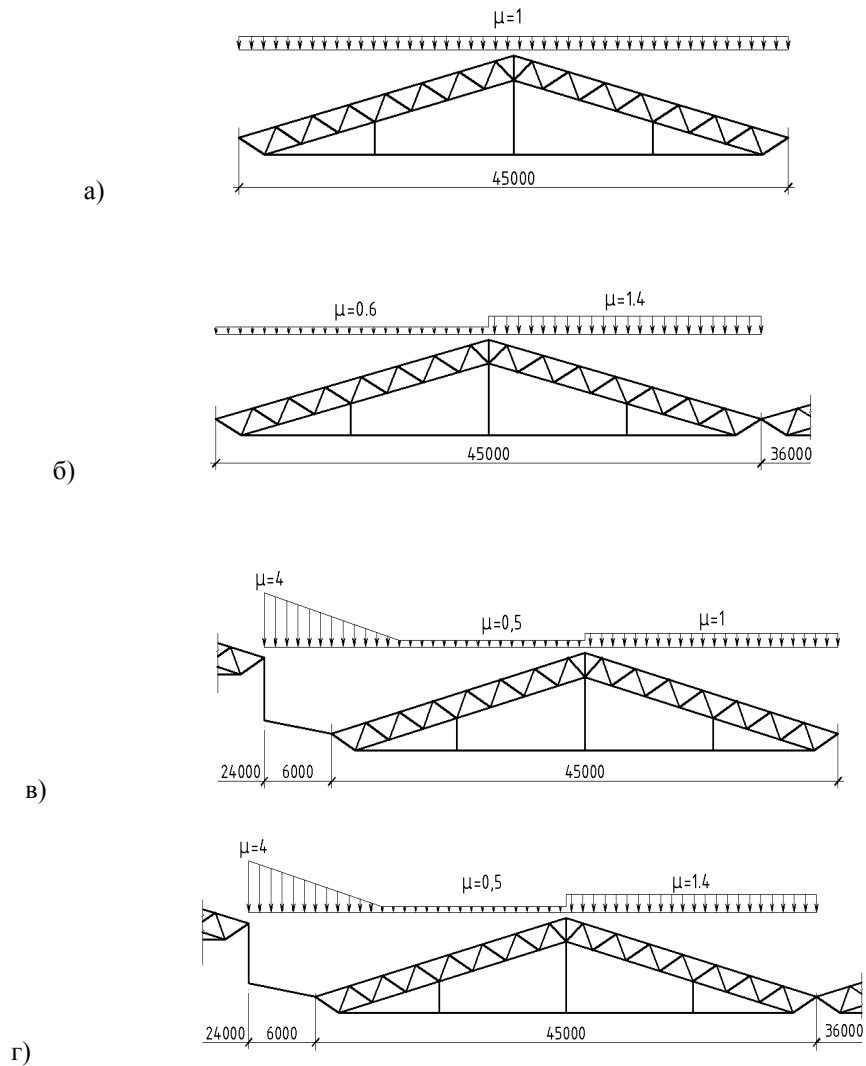


Рис. 3. Схеми врахування снігового навантаження на сталеві ферми покриття

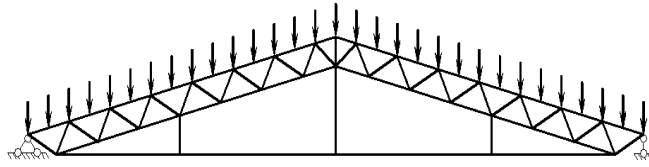


Рис. 4. Схема завантаження та закріплення кроквяних ферм

Під час виконання порівняльного аналізу напруження визначалися тільки в елементах кожного типорозміру з найбільшими внутрішніми зусиллями. Вихідні дані та результати занесені до таблиці 1 згідно з типом урахування снігового навантаження. Скорочення в таблиці: в. п. – верхній пояс (виконаний з двох швелерів № 22); н. п. – нижній пояс (2 швелера № 14); з – затяжка (2 швелера № 14); p_2^- , p_2^+ – стиснутий і розтягнутий розкоси відповідно (2 швелера № 14); p_1^- , p_1^+ – те саме (один швелер № 14).

Таблиця 1

Напруження в елементах ферми при різних типах врахування снігового навантаження

Елемент ферми	Напруження в елементах ферми в МПа за типом розрахунку:														
	А			Б			В			Г			Д		
	σ_N	σ_M	$\sigma_{заг}$	σ_N	σ_M	$\sigma_{заг}$	σ_N	σ_M	$\sigma_{заг}$	σ_N	σ_M	$\sigma_{заг}$	σ_N	σ_M	$\sigma_{заг}$
в.п.	131	47	178	155	60	215	125	48	173	154	60	214	148	55	203
н.п.	101	–	101	125	–	125	90	–	90	114	–	114	117	–	117
з	183	–	183	188	–	188	161	–	161	185	–	185	177	–	177
p_2^-	140	–	140	159	–	159	131	–	131	158	–	158	149	–	149
p_2^+	79	–	79	97	–	97	78	–	78	97	–	97	94	–	94
p_1^-	90	–	90	110	–	110	88	–	88	110	–	110	105	–	105
p_1^+	125	–	125	164	–	164	130	–	130	166	–	166	141	–	141

Висновки. Аналізуючи отримані дані значень напружень в елементах кроквяних сталевих ферм покриття, наведені у таблиці 1, можна зробити наступні висновки з проведеного дослідження: найбільші напруження виникають в елементах ферми у випадку врахування утворення снігового мішка в ендіві між двома прольотами виробничих цехів із похилими покрівлями при куті нахилу покрівлі $\alpha \geq 15^{\circ}$ (напруження більші до 20% у порівнянні з рівномірно розподіленим сніговим навантаженням). Врахування “снігового мішка” від прибудови вищого прольоту майже не впливає на зміну напружень в елементах ферми. Це досягнуто за рахунок спорудження додаткового 6-метрового прольоту, що збирає майже весь “сніговий мішок” на себе. При врахуванні можливості підтавання снігу на покрівлі через неутеплені zenітні ліхтарі та внаслідок цього зменшення його ваги на 25% напруження в елементах ферми зменшуються до 10%.

Література

- [1] Горохов Е. В. Надежность эффективных пространственных большепролетных конструкций покрытий спортивных сооружений / Е. В. Горохов, В. Ф. Мушанов // Сб. науч. трудов Института строительства и архитектуры МГСУ. – М., 2008. – С. 91–95.
- [2] ДБН В.1.2–2:2006. Навантаження і впливи : чинний з 2007–01–01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 59 с.
- [3] Кінаш Р. І. Снігове навантаження в Україні / Р. І. Кінаш, О. М. Бурнаєв. – Львів : Вид-во науково-технічної літератури, 1997. – 848 с.
- [4] Пашинський В. А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України / В. А. Пашинський. – К., 1999. – 185 с.
- [5] Пичугін С. Ф. Вероятностное описание снеговых нагрузок для территории Украины / С. Ф. Пичугін // Технічна метеорологія Карпат : мат. Першої Міжнар. наук.-техн. конф. ТМК-98. – Львів : Окскарт, 1998. – С.85–90.
- [6] Пичугін С. Ф. Засоби боротьби з підвищеним сніговим навантаженням на покрівлю / С. Ф. Пичугін, О. В. Семко, Ю. В. Дрижирук // Зб. наук. пр. Серія : Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПолтНТУ, 2007. – Вип. 20.– С. 95–100.
- [7] СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.

УДК 624.014

Реалізація принципу концентрації матеріалу на прикладі проектування рамних конструкцій змінного перерізу з двотаврів із гнучкою стінкою

Склярів І.О., Білик С.І. д.т.н.

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Анотація. Стаття присвячена аналізу ефективності сталевих рамних каркасів зі зварних двотаврів змінної жорсткості. Доведено, що в даному типі конструкцій матеріал максимально ефективно розподіляється по довжині елемента за рахунок змінної висоти стінки і по висоті перерізу за рахунок використання стінки з гнучкістю 180-350 – пояси сприймають згинальний момент, а стінка працює на дію поперечної сили. Крім того, в двотаврах із гнучкою стінкою, на відміну від традиційних двотаврів, дотичні напруження розподілені майже рівномірно по висоті перерізу відповідно до формули Журавського, тож дана конструктивна форма раціонально сприймає як окремо нормальні та дотичні напруження, так і їх комбінації. При цьому даний тип конструкцій забезпечує максимальну простоту та швидкість виготовлення і мінімальні витрати матеріалу, що в сучасних умовах загострення конкурентної боротьби між виробниками і підвищення вартості енергетичних ресурсів є необхідною умовою розвитку вітчизняного будівельного виробництва.

Аннотация. Статья посвящена анализу эффективности стальных рамных каркасов из сварных двутавров переменной жесткости. Доказано, что в данном типе конструкций материал максимально эффективно распределяется по длине элемента за счет переменной высоты стенки и по высоте сечения за счет использования стенки с гибкостью 180-350 – пояса воспринимают изгибающий момент, а стенка работает на действие поперечной силы. Кроме того, в двутаврах с гибкой стенкой, в отличие от традиционных двутавров, касательные напряжения распределены почти равномерно по высоте сечения согласно формуле Журавского, поэтому данная конструктивная форма рационально воспринимает как отдельно нормальные и касательные напряжения, так и их комбинации. При этом данный тип конструкций обеспечивает максимальную простоту и скорость изготовления и минимальные затраты материала, что в современных условиях обострения конкурентной борьбы между производителями и повышения стоимости энергетических ресурсов является необходимым условием развития отечественного строительного производства.

Abstract. The article analyzes the effectiveness of the steel frame skeletons of welded double-T's of variable stiffness. It is proved that in this type of construction the material is distributed most effectively over the length of the element at the expense of variable wall's height and over the vertical sections – through the use of a wall with the flexibility of 180-350 - belts perceive the bending moment, and the wall runs to the effect of shear force. In addition, the double-T's with a flexible wall, in contrast to the traditional double-T's, shear stresses distributed almost uniformly in height of the section according to the Zhuravskiy's formula, so this form of construction rationally perceives both separate normal and tangential stresses, and combinations thereof. Moreover, this type of construction ensures maximum ease and speed of

manufacturing, as well as the minimum cost of material, which in modern conditions of increasing competition between manufacturers and at higher cost of energy resources is a necessary condition for development of domestic construction production.

Ключові слова: концентрація матеріалу, рамні конструкції змінного перерізу, зварні двотаври змінної жорсткості.

Актуальність проблеми. Сучасні умови, які склалися на ринку будівельних конструкцій України, зумовили поступовий перехід від масового і типового будівництва до розробки індивідуальних проектів із забезпеченням максимальної економії матеріальних витрат та енергетичних ресурсів. Це викликано загальними тенденціями сучасної економіки і жорсткою конкурентною боротьбою між виробниками на ринку будівельних конструкцій. На даний момент ринок переживає певний період застою, але очікується поживлення паралельно з виходом економіки з кризового стану. І в цей період постає природне питання: а в якому ж напрямку буде розвиватися ринок легких металевих конструкцій? Сьогодні найбільш достойною перспективою, з точки зору ефективності, технологічності виготовлення, простоти з'єднання та монтажу, є рамні каркаси універсального призначення зі зварних двотаврів змінного перерізу з гнучкою стінкою.

Огляд досліджень. Ефективність двотаврових перерізів багато в чому залежить від співвідношення площ полиць та стінки: чим вище це співвідношення, тим ефективніше переріз. За певних співвідношень між висотою стінки та її товщиною під дією зовнішніх навантажень вона втрачає стійкість, що, до недавнього часу, було перешкодою для подальшого зменшення товщини стінки [1]. Інтерес до роботи конструкцій після втрати стійкості деяких їхніх елементів (закритична стадія роботи), проявлявся вченими та інженерами досить давно, зокрема, по відношенню до тонких пластин, що входять до складу корабельних або авіаційних конструкцій. У роботах Т. Кармана, С. Леві, П. А. Соколова, П. Ф. Папковича, І. Г. Бубнова, С. П. Тимошенко, А. С. Вольміра [2–7] та інших були розроблені методики з визначення навантажень, які може витримати підкріплена пластинка після втрати стійкості. При цьому було введено поняття редуційних коефіцієнтів, тобто коефіцієнтів включення тонкої пластини в сприйняття стискаючих зусиль. Одним із перших дослідників, які вивчали роботу конструкцій зі стінками, що працюють в глибокій закритичній стадії при дії дотичних напружень, були Т. Карман і Г. Вагнер У роботі [8] Вагнера вперше була використана розроблена ним теорія діагонального поля розтягу, що виникає в глибоко закритичній роботі пластин на зсув. Досить повний огляд досліджень щодо роботи стиснутих пластин після втрати стійкості наведено в роботах Ф. Блейха, Л. Я. Резницького і особливо А. С. Вольміра [6]. В результаті цих та

інших, більш сучасних, досліджень було встановлено, що конструкції, що мають у своєму складі тонкі пластини, підкріплені відносно жорсткими ребрами, можуть сприймати зовнішні навантаження набагато більші, ніж навантаження, визначені за умови втрати стійкості пластин, що входять до складу цих конструкцій. Таким чином, використання закритичної роботи пластинок дозволяє істотно зменшити їх товщину, а отже і масу всієї конструкції.

Постановка задачі. Зменшення товщини стінки двотаврового перерізу дає можливість більш раціонально розподілити матеріал у рамних конструкціях відповідно до розподілу внутрішніх напружень. Зосередження більшої кількості сталі в зоні максимальних напружень підпадає під визначення принципу концентрації матеріалу. В рамних каркасах змінного перерізу реалізація принципу концентрації матеріалу проявляється в кількох напрямках.

По-перше, за рахунок введення стінки змінної висоти можна раціонально розподілити матеріал конструкції по довжині елемента, тобто забезпечити максимальне наближення епюри діючих зусиль (для переважної більшості безкранових будівель із рамним каркасом найбільш впливовою є дія згинальних моментів) до епюри матеріалу (рис. 1). Природно, що закон зміни згинальних моментів описується квадратичною функцією, а закон зміни маси елемента по довжині – лінійною, тож ці функції мають тільки окремі точки дотику і не є паралельними, але це викликано оптимальною технологією формоутворення рамних елементів зі зварних двотаврів змінного перерізу (див. рис. 1) – стінку виготовляють шляхом розрізання листа металу по діагональній прямій лінії.

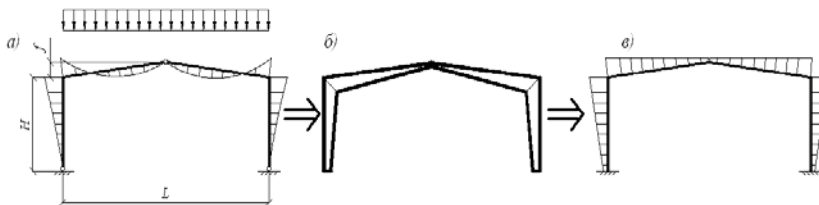


Рис. 1. Розрахункова схема (а), конструкція (б) та епюра матеріалу (в) рами змінного перерізу

До того ж, функція площі перерізу не є визначальною при формоутворенні – згинальному моменту в перерізі протидіє внутрішній момент опору, що для двотаврових перерізів є квадратичною функцією висоти. Тож для раціонального розподілу матеріалу з умови забезпечення міцності перерізу

в будь-якій точці по довжині елемента необхідно використовувати стінку двотаврового перерізу змінної за лінійним законом висотою.

По-друге, в елементах двотаврового перерізу з гнучкою стінкою матеріал концентрується в крайніх точках перерізу, де виникають максимальні нормальні напруження. Тож така конструктивна форма, як двотавр з гнучкою стінкою, максимально наближається до моделі ідеального двотавра, в якому полиці сприймають згинальний момент, а стінка – перерізує силу.

Викладання основного матеріалу. Як відомо, частка згинального моменту, що сприймається стінкою двотаврового перерізу, залежить від відношення моменту інерції стінки до моменту інерції перерізу в цілому:

$$M_w = M \frac{I_w}{I}$$

При цьому стінка згинальний момент сприймає неефективно – як видно з рис. 2, середня частина перерізу майже не працює. Власне, таким чином і виникла ідея створення двотаврового перерізу і були розроблені відповідні сортаменти металопрокату. Але в прокатні двотаври через універсальність їх використання (як в балках, так і в наскрізних колонах, фермах та ін.) було закладено значні запаси місцевої стійкості стінки, тож доля стінки в перерізі є значною, і при сучасних підходах до індивідуального проектування та підвищення вартості матеріальних ресурсів використання їх не завжди є виправданим. До того ж, при дії нормальних напружень стінка тонкостінного двотавра втрачає стійкість, а в роботу включається лише її частина висотою $h_{wred} = 0,85t_w \sqrt{E / R_y}$ в стиснутій зоні й вдвічі більше в розтягнутій [9, 10].

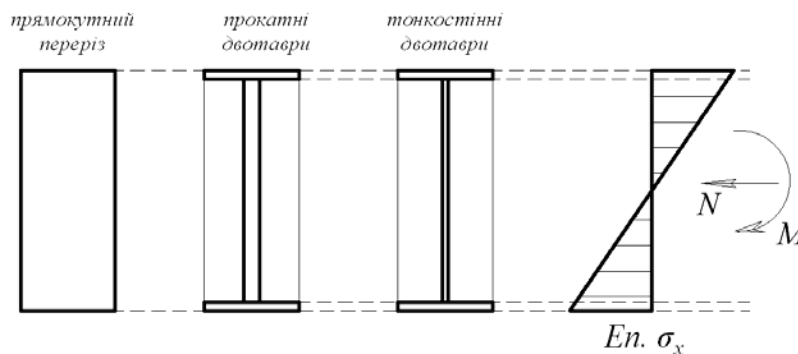


Рис. 2. Нормальні напруження в перерізі рамних елементів

По-третє, в елементах двотаврового перерізу, відповідно до формули Журавського, дотичні напруження розподіляються нерівномірно по висоті перерізу. Ця нерівномірність, зображена на рис. 3, визначається приведеним коефіцієнтом нерівномірності зсувів у межах стінки двотаврового перерізу K_g . Згідно з [11] цей коефіцієнт можна визначити з умови рівності роботи поперечної сили Q , прикладеної до центру ваги перерізу, сумі робіт окремих тангенціальних сил τ , розподілених по всій висоті перерізу. Для прямокутного перерізу:

$$K_g = \frac{A}{2^2} \int_A \frac{S_x^2}{t^2} dA = 1,2,$$

де A – площа перерізу, I_x – момент інерції перерізу, S_x – статичний момент перерізу, t – товщина перерізу в напрямі, перпендикулярному до напрямку зсуву.

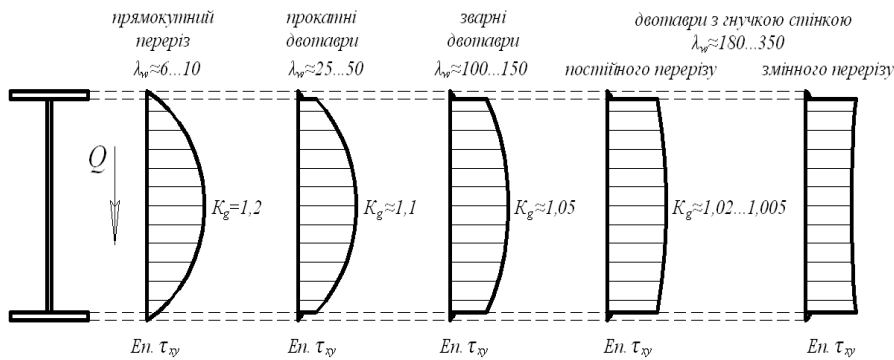


Рис. 3. Нерівномірність розподілу дотичних напружень у перерізах

Для двотаврового перерізу значення коефіцієнта K_g дещо змінюється і залежить від відношення площі перерізу стінки до площі перерізу в цілому:

$$K_g = \frac{A}{2^2} \left(\frac{A}{A_w} \right) \int_A \frac{S_x^2}{t^2} dA.$$

Для тонкостінних двотаврових перерізів значення приведенного коефіцієнту зсуву перерізу наближається до одиниці (див. рис. 3).

Тож і дотичні напруження елементи з гнучкою стінкою сприймають більш ефективно, ніж традиційні двотаври – напруження розподіляються рівномірно по висоті перерізу.

В перерізах рамних елементів дуже часто одночасно виникають поздовжня, поперечні сили і згинальний момент – особливо це стосується жорстких карнизних вузлів. Проведені авторами [9] дослідження показали, що при сумісній дії нормальних та дотичних силових факторів перевірку працездатності перерізу необхідно виконувати за наступною формулою:

$$\frac{N}{N_u} + \left(\frac{M}{M_u}\right)^4 + \left(\frac{Q}{Q_u}\right)^4 \leq 1.$$

На рис. 4 проілюстровано, наскільки ефективно сприймають сумісну дію нормальних та дотичних напружень різні перерізи. По горизонталі відкладаємо відношення нормальних напружень у перерізі до граничного значення, по вертикалі – відповідно дотичних напружень у перерізі до граничного значення. Ефективність перерізу визначається ступенем наближення до правого верхнього кута, де елемент сприймає нормальні та дотичні напруження незалежно одне від одного – так, як це відбувається в стрижневих конструкціях: пояси сприймають згинальний момент, а решітка – поперечну силу.

Як видно з рис. 4, ефективність двотаврового перерізу можна проілюструвати кривою – чим більш випукла крива, тим ефективнішим є переріз. За теоремою П. Ф. Папковича несуча здатність перерізу може бути оцінена за формулою $|M/M_u| + |Q/Q_u| \leq 1$. На рис. 4 це проілюстровано нижньою прямою. Німецький стандарт DIN 18 800 [12] для тонких пластин при дії нормальних та дотичних напружень у перерізі рекомендує користуватися виразом $(\sigma/\sigma_u)^{1,25} + (\tau/\tau_u)^{1,25} \leq 1$ (перша крива на рисунку 4). СНиП II-23-81* та Eurocode 3 [13] для обмеження місцевої стійкості стінки вводять складові напружень у квадраті, тобто $(\sigma/\sigma_u)^2 + (\tau/\tau_u)^2 \leq 1$ (друга крива на рисунку 4). Броуде в своїх працях рекомендує для випадків роботи двотаврового перерізу на сумісну дію нормальних та дотичних напружень застосовувати умову міцності: $(\sigma/\sigma_u)^2 + (\tau/\tau_u)^2 + \alpha(\sigma/\sigma_u)^2(\tau/\tau_u)^2 \leq 1$. Коеф. α для перерізів із умовною гнучкістю стінки $\lambda_w \leq 3,5$ дорівнює $\approx 0,65$, при $\lambda_w \geq 5,5$ $\alpha \approx 0,92$. Тобто максимально ефективним є переріз зі значенням умовної гнучкості більше 5,5. Формула СНиП II-23-81* для двотаврів із гнучкою

конкурентної боротьби між виробниками та підвищення вартості енергетичних ресурсів є необхідною умовою розвитку вітчизняного будівельного виробництва.

Література

- [1] Склярів І. О. Питання розрахунку тонкостінних двотаврів у історичному аспекті / І. О. Склярів // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди / Зб. наук. пр. – Рівне : НУВГП, 2011. – Випуск 21.
- [2] Karman. Th. The strength of thin plates in compression / Th. Karman, E. E. Sechler, L. H. Donnell // Transaction of the ASME. Vol. 54 – New York : ASME, 1932. – P. 53–57.
- [3] Папкович П. Ф. К вопросу о выпучивании плоских пластин, сжимаемых усилиями, превосходящими их Эйлерову нагрузку / П. Ф. Папкович // Морской сборник. – М. : 1920. – № 3. – С. 8–9.
- [4] Соколов П. А. О напряжениях в сжатой пластинке после потери устойчивости / П. А. Соколов // Сборник «Труды НИИС». – Нижний Новгород : 1932. – Вып 7. – С. 11–56.
- [5] Бубнов И. Г. Труды по теории пластин / И. Г. Бубнов – М. : Гостехиздат, 1953. – 423 с.
- [6] Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем / А. С. Вольмир. – М. : Наука, 1967. – 984 с.
- [7] Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем / С. П. Тимошенко. – М., 1978.
- [8] Вагнер Г. В. Балки с весьма тонкой стенкой / Г. В. Вагнер // Сборник переводов ЦАГИ : под ред. Уманского А. А., Знаменского П. М. – М. : ЦАГИ, 1937. – С. 58–117.
- [9] Білик С. І. Рациональні рамні каркаси постійного та змінного двотаврового перерізу з підвищеною гнучкістю стінки / С. І. Білик, І. О. Склярів // Зб. наук. праць Укр. наук.-дослід. і проект. інст. сталев. констр. ім. В. М. Шимановського. – К. : Сталь, 2010. – Вип. 5. – С. 199–209.
- [10] Склярів І. О. Рациональна висота перерізу двотаврових рамних конструкцій змінної жорсткості з гнучкою стінкою / І. О. Склярів, С. І. Білик // Современные строительные конструкции из металла и древесины / Сб. науч. тр. ОГАСА. – Одеса : Внешрекламсервис, 2010. – №14. – Ч. 1. – С. 230–235.
- [11] Снитко Н. К. Сопротивление материалов / Н. К. Снитко – Л.: Из-во Ленинградского университета, 1975. – 368 с.
- [12] DIN 18800-4. Structural steelwork; analysis of safety against buckling of shells // Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard) / 01-Nov-1990 – 23 pages.
- [13] Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1.3 : General rules – Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting // European Committee for Standardization (CEN), 22 August 2001 – 128 pages.

УДК 624.014:620

Принципы определения остаточного ресурса строительных конструкций в условиях их длительной эксплуатации

Колесниченко С.В., к.т.н.

Донбасский центр технологической безопасности ООО «Укринсталькон
им. В.Н. Шимановского», Украина

Анотація. Викладено вимоги до прогнозування залишкового ресурсу будівельних конструкцій будівель та споруд при зміні параметрів їх технічного стану під час експлуатації.

Аннотация. Излагаются требования к прогнозированию остаточного ресурса строительных конструкций зданий и сооружений при изменении параметров их технического состояния во время эксплуатации.

Summary. Demands to predicting of residual life for building structures during changing its technical conditions' parameters under service operation are described.

Ключевые слова: ресурс, остаточный ресурс, дефект, повреждение.

Состояние проблемы и задачи исследования.

Проектный срок эксплуатации конструкций называется ресурсом или проектным ресурсом. В вероятностном или детерминированном виде проектный ресурс заложен в современных нормах проектирования стальных конструкций [1, 2]. Как правило, для большинства производственных зданий и сооружений их проектный ресурс составляет 40–60 лет, для общественных зданий – 100 лет [1]. Проведенные исследования [3] показали, что реальный ресурс стальных конструкций, особенно в условиях агрессивных сред, составляет 20–25 лет, а реальный ресурс зданий составляет 40–50 лет. Учитывая, что большинство промышленных зданий и сооружений были построены в период с 1950 по 1983 год, их ресурс уже либо исчерпан, либо близок к исчерпанию.

8 октября 2004 года выходит постановление КМУ №1331 «Про затвердження Державної науково-технічної програми «Ресурс», в котором отмечается, что существует значительная изношенность конструкций и инженерных сетей, имеется тенденция ее к увеличению. Меры по научно обоснованному установлению новых сроков эксплуатации, определению остаточного ресурса эксплуатирующихся зданий и сооружений требуют системного подхода и должны решаться на национальном уровне.

Исследования по проблеме ресурса, проводимые в последнее время [4, 5], как правило, используют подходы, опирающиеся на изучение влияния

одного доминирующего параметра – чаще всего, коррозии или циклов нагружения на срок эксплуатации конструкции. Проблема исследования ресурса заключается в оценке влияния многих факторов на работу как отдельных элементов, так и на поведение всех частей, составляющих сложную систему – здание (сооружение).

В связи со значительным разбросом в оценке ресурса как всего здания, так и отдельных конструкций, составляющих его каркас, для точного прогнозирования мероприятий по ремонту и реконструкции необходимо знать срок, когда состояние конструкции будет близким к исчерпанию своей работоспособности.

Таким образом, в настоящее время актуальной является проблема обеспечения технологической безопасности предприятия – создания системы мер для сохранения нормальных условий его функционирования в условиях исчерпания строительными конструкциями своего нормативного ресурса. Одной из задач технологической безопасности является определение остаточного ресурса конструкций и расчет на этой основе остаточного ресурса эксплуатации здания (сооружения) в целом.

Основные определения. В соответствии с [6] остаточный ресурс является суммарной продолжительностью работы (наработкой) объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние. В свою очередь, контроль технического состояния заключается в обнаружении в процессе диагностики конструкций (обследований, осмотров, мониторинга и т. п.) дефектов и повреждений - ДиП, расчета их значений и определения работоспособного состояния элемента и конструкции в целом. В случае, если ДиП или их сочетание нарушает работоспособное состояние всей конструкции, то такое событие называется отказом.

Причины возникновения отказов для стальных конструкций можно разделить на два вида: технологические и обусловленные человеческим фактором.

К технологическим относят отказы, обусловленные нарушением хода технологического процесса – эксплуатации – на общее состояние конструкций. Такими отказами являются: уменьшение поперечного сечения элемента из-за коррозии; усталостные разрушения (трещины) вследствие недопустимых параметров динамических (циклических или вибрационных) нагрузок; дополнительные перемещения из-за нагрузки в виде отложений пыли и технологических продуктов; появление механических повреждений и перемещений из-за локального перегрева, охлаждения, попадания агрессивных и абразивных технологических материалов и оборудования.

Отказы второго вида закладываются на стадиях проектирования, изготовления, транспортировки, монтажа и появляются также в процессе эксплуатации конструкций. Такими отказами можно считать: значительный уровень напряженного состояния в узлах из-за неправильно принятого конструктивного решения (проектирование); начальные искривления элементов (транспортировка и монтаж); изменения расчетных схем (монтаж, эксплуатация); дефекты соединений – непровары в сварных швах, зазоры в фланцах и т. п. (изготовление, монтаж); повреждения, вызванные превышением проектных нагрузок (эксплуатация). Такие отказы связаны с уровнем подготовки соответствующих специалистов, уровнем технологической дисциплины и культуры производства на конкретном предприятии.

Таким образом, отказы первого вида обусловлены накоплением и развитием повреждений (сочетаниями повреждений), а отказы второго вида – дефектами и повреждениями.

Большая часть отказов проявляется постепенно в изменении одного или нескольких параметров ДиП, поэтому их называют также параметрическими. Контролируемыми параметрами являются непосредственно измеряемые величины ДиП: глубина коррозии, величина перемещения, искривление элемента и т. д. Эти параметры, контроль которых позволяет прогнозировать моменты наступления отказов, по [7] будем называть параметрами технического состояния, или сокращенно – ПТС. Для большинства ДиП стальных конструкций их ПТС представлены в [8].

Если эксплуатация элемента или всей конструкции после наступления отказа невозможна или нецелесообразна, то такое состояние называют предельным состоянием (ПС). Целесообразность восстановления конструкции, имеющей ДиП, может быть обусловлена как технико-экономическими показателями, так и нарушениями установленных требований безопасности (экологии).

Признаки предельного состояния конструкции, установленные в нормативно-технической документации, называются критериями предельного состояния (КПС).

В итоге, с точки зрения расчета строительной конструкции как механической системы, все отказы сводятся к нарушениям механической работоспособности элементов или всей конструкции. Остаточный ресурс конструкции определяется как время перехода параметров ДиП из безопасных в опасные значения. Наиболее опасными для стальных конструкций являются отказы, вызванные коррозией, усталостным разрушением, нарушением целостности элементов и их соединений,

появлением недопустимых перемещений и зон с пластическими деформациями.

Прогнозирование остаточного ресурса. Остаточный ресурс конструкция может иметь не только до истечения проектного срока службы, но и после него. Это обусловлено действующими нормами и правилами расчета конструкций, при которых наступление ПС регламентируется при наиболее неблагоприятных режимах нагружения в заданных условиях эксплуатации, а также при минимальных уровнях механических характеристик конструкционных материалов, обеспечиваемых по государственным стандартам. Фактические режимы нагружения при соблюдении правил эксплуатации оказываются, как правило, меньшими, чем расчетные, что снижает интенсивность расходования заложенных запасов (по прочности, выносливости, коррозионной стойкости) и обеспечивает резерв по остаточному ресурсу.

Возможность прогнозирования величины остаточного ресурса обеспечивается при одновременном наличии следующих условий:

- известны параметры, определяющие техническое состояние конструкции (ПТС);
- известны критерии предельного состояния;
- имеется возможность периодического (или непрерывного) контроля значений ПТС.

По многим характерным деградационным процессам для эксплуатирующихся стальных конструкций (сплошной коррозии, перемещениям, износ) указанные условия выполняются. По другим видам повреждений (например, образование трещин, межкристаллитная коррозия) не все условия, необходимые для прогнозирования остаточного ресурса, могут выполняться, в таких случаях требуется проведение специальных исследований.

Прогнозирование остаточного ресурса системы – это может быть отдельный элемент, конструкция, здание (сооружение) – можно представить схемой, приведенной на рис. 1. Через определенные периоды эксплуатации $T_1, T_2, T_i...$ и т. д. измеряют величины параметров возникших повреждений и развития дефектов (коррозии, перемещений, стрелки искривления и т. п.) $Y_1, Y_2, Y_i...$ и т. д. и экстраполируют зависимость до предельно допустимой величины Y_n . Такой метод позволяет получить достаточно точные оценки остаточного ресурса, если известен вид зависимости, $Y(t)$ и при измерениях значений Y определяются действительно максимальные значения ДиП, т. е. осуществляется сплошной контроль всех элементов конструкции.

Вид зависимости $Y(t)$ установлен для некоторых ДиП. Так, например, для некоторых видов коррозии зависимость износа от времени линейная: $Y(t) = Y_0 + C \cdot t$, где Y_0 и C – постоянные величины для заданных условий. Для большинства ДиП определение $Y(t)$ является отдельной задачей.

Схема рис. 1 описывает ресурс невосстанавливаемой системы при постоянном развитии $Y(t)$. В данном случае $Y(t)$ является зависимостью изменения ПТС: либо доминирующего процесса деградации одного основного повреждения или дефекта, либо обобщающей функцией, установленной при анализе нескольких ДиП, приводящих к отказу всей системы. Данная схема отражает пассивное прогнозирование остаточного ресурса без учета изменения (улучшения) системы при регистрации параметров ДиП, являющихся причиной отказа.

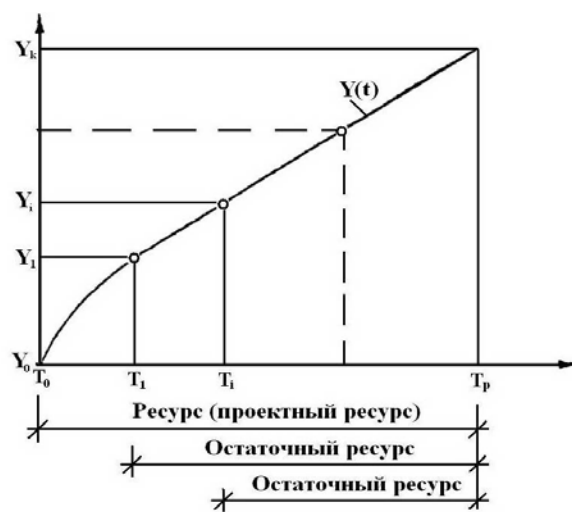


Рис. 1. Схема прогнозирования остаточного ресурса:

T_0 – начало эксплуатации системы; T_1 – время первого осмотра системы; T_i – время i -го осмотра системы; T_p – ресурс (проектный, расчетный); Y_0 – ПТС в момент начала эксплуатации системы; Y_1 – первичное измеренное значение ПТС; Y_i – i -тое измеренное значение ПТС; Y_k – предельное значение ПТС; $Y(t)$ – зависимость изменения ПТС отказа во времени

Каждая система состоит из отдельных подсистем: элементов и узлов в конструкции, отдельных конструкций, составляющих каркас здания. В соответствии с действующими правилами технической эксплуатации (ПТЭ) промышленных предприятий [9, 10] все эксплуатирующиеся конструкции зданий (сооружений) должны регулярно проходить

технический осмотр (освидетельствование, обследование). Осмотры осуществляются через интервалы Δt – назначенный ресурс (плановый период осмотров).

В результате осмотра конструкций выявляются ДиП и фиксируются их ПТС. Регистрация ДиП должна осуществляться в виде, позволяющем производить не только их накопление, но и предоставлять возможность анализа для построения $Y(t)$. Для реализации такого требования целесообразно использовать регистрационные методы, основанные на электронных базах данных [11].

При достижении ПТС отдельных ДиП установленных граничных значений осуществляется ремонт (усиление) элементов конструкции и ПТС возвращаются либо в проектное (начальное) значение, либо близкое к нему. Таким образом, стальные конструкции являются сложными восстанавливаемыми системами. Остаточный ресурс таких систем можно представить графиками, изображенными на рис. 2.

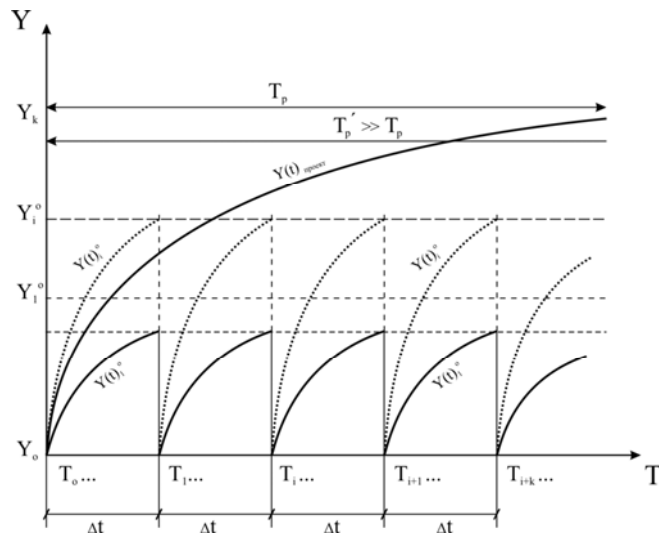


Рис.2. Остаточный ресурс восстанавливаемых стальных конструкций:

T_i – время i -го осмотра конструкции; T_p' – остаточный ресурс; Y_0 – ПТС в момент начала эксплуатации конструкции; Y_1^0 – предельное значение ПТС 1-го ДиП; Y_i^0 – предельное значение ПТС i -го ДиП; $Y(t_1)^0$ – зависимость изменения ПТС 1-го отказа; $Y(t_i)^0$ – зависимость изменения ПТС i -го отказа; Δt – назначенный ресурс (плановый период осмотров)

В зависимости от сроков эксплуатации конструкции, значений ее ПТС, требуемой достоверности прогноза и возможностей получения информации, применяют два подхода к прогнозированию остаточного ресурса: упрощенный, основанный на детерминистических оценках показателей, и уточненный, основанный на вероятностных оценках.

При первом – отклонения контролируемых параметров относят к погрешностям методов контроля, случайным помехам и при прогнозировании остаточного ресурса в расчетах учитывают с помощью коэффициентов запаса. При втором подходе колебания наблюдаемых параметров используют в качестве дополнительной информации, что позволяет повысить достоверность прогнозирования.

В обоих случаях основными проблемами является определение зависимостей $Y(t)$ или $Y(f_i)^0$, назначение планового периода осмотров Δt и назначение времени осмотров $T_0 \dots T_i$.

Реальная практика позволяет выделить два основных способа назначения T_i для новых объектов: по истечении гарантийного срока, определенного в архитектурно-техническом паспорте и до его ввода в эксплуатацию.

Что касается гарантийного срока, то здесь вся ответственность за нормальную эксплуатацию здания в первые годы его эксплуатации ложится на проектную и строительные организации. Как правило, зафиксированные в приемочных актах дефекты отражают только их качественную сторону и относятся к явно видимым. В основном, такие дефекты касаются отделочных работ, элементов наружного дизайна.

В связи с отсутствием времени при вводе объекта в эксплуатацию заниматься количественным анализом, перерасчетом систем (особенно при заменах марок стали, изменении первоначальных проектных решений и расчетных схем, дефектов конструкций, полученных во время транспортирования, монтажа, пусконаладочных работах) никто не будет. Проектировщики и строители в одинаковой степени не заинтересованы в выполнении таких работ: первым, возможно, придется признавать и исправлять свои ошибки, а вторым – в «авральном режиме» устранять выявленные дефекты как проекта, так и строительно-монтажных работ. Очевидно, что именно по этой причине, которую называют «приработкой», в первые годы и происходит значительное количество аварий. Наиболее эффективным способом решения может стать привлечение специализированной организации для выполнения работ по обследованию и определения причин возникновения дефектов или неудовлетворительного поведения объекта.

Сейчас возникла еще одна проблема, которая может увеличить число аварий на ранних стадиях эксплуатации. Новые фасадные системы и системы внутренней отделки (вентилируемые фасады «КНАУФ»), системы утепления и др.) полностью закрывают несущие конструкции, не позволяя проводить осмотр и выполнять оценку их технического состояния. Опыт обследования промышленных и гражданских зданий показывает, что провести обследование несущих конструкций в полном объеме после установки систем отделки невозможно. Вместе с тем, при проведении обследований ряда объектов, на отдельных участках конструкций, открытых для осмотра, были зафиксированы изменения типов и размеров поперечных сечений колонн и балок перекрытия, изменения марок сталей, неудовлетворительное состояние закладных деталей и узлов сопряжения, превышение значений перемещений по сравнению с нормативными.

Отдельно можно остановиться на зданиях и сооружениях с повышенным уровнем ответственности (особенно работающих при динамических нагрузках) и объектах, вводимых в эксплуатацию после реконструкции при изменении технологического режима. К таким объектам относятся здания и сооружения предприятий горно-металлургического комплекса, коксохимического производства.

Проведение обследований ряда новых зданий и сооружений на этапе пусконаладочных работ выявило весьма серьезные проблемы, которые должны были быть устранены до окончательного ввода объектов в эксплуатацию. Так, для транспортерных галерей был определен резонанс при работе конвейеров в определенных технологических режимах. Причем резонанс возникал не по причине разбалансировки работы оборудования, а был вызван неправильным выбором конструктивных схем, которые, в свою очередь, принимались без анализа результатов необходимых динамических расчетов на стадии проектирования галерей. При этом проектировщики отрицали свои просчеты. Установить причины ненормального поведения системы смогла только независимая организация после проведения обследования и динамических испытаний сооружений.

Что касается объектов, которые вводятся в эксплуатацию после проведения работ по реконструкции, то здесь сложилась следующая ситуация. По «Правилам...» [12] и по требованиям ДБН А.2.2-3-2004 для выполнения проектных работ необходимо провести предварительное обследование здания с оценкой его технического состояния. Такие работы, как правило, выполняются, но с одной немаловажной особенностью: производится оценка технического состояния существующего здания, без перерасчета его основных конструкций на новые нагрузки и воздействия, которые могут быть неизвестны полностью на стадии выполнения

обследования. В последующем в проекте реконструкции реальные нагрузки учитываются в перерасчетах при проверках существующих поперечных сечений, но при формировании окончательных результатов из поля зрения могут выпасть деградационные процессы в материале, влияние изменения отдельных конструктивных решений на поведение системы в целом, другие особенности. Все это также указывает на то, что после окончания строительных работ по реконструкции, перед вводом объекта в эксплуатацию, необходимо проведение его дополнительного обследования для сравнения полученных результатов с предыдущими и определения ПТС с учетом обнаруженных повреждений и дефектов.

Как видно, назначение T_1 – времени первого осмотра – является самостоятельной проблемой, требующей отдельного исследования. Традиционно первое обследование осуществляется после того, как здание уже достаточно значительное время, около 10 лет, находится в эксплуатации. Этот срок для новых зданий определяется окончанием гарантийных обязательств, представленных в архитектурно-техническом паспорте; для объектов, эксплуатирующихся значительное время – появлением первых видимых разрушений, необходимостью составления технического паспорта. Вместе с тем, значительное количество аварий, более 30%, происходит именно в эти первые 10 лет [3]. Вполне возможно, что для определенной группы зданий (сооружений) T_1 должно совпадать или быть близким к T_0 .

Выводы. Для прогнозирования остаточного ресурса эксплуатирующихся стальных конструкций необходимо установить зависимости изменений ПТС наиболее вероятных отказов, определить их обобщающую зависимость. На основании анализа зависимостей отказов устанавливаются сроки плановых периодов осмотров конструкций с целью выполнения ремонтных работ и продления остаточного ресурса. Назначение срока до первого обследования должно быть определено в гарантийных обязательствах архитектурно-технического паспорта или назначаться специализированной организацией до ввода объекта в эксплуатацию.

Литература

- [1] ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування.
- [2] СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования.
- [3] Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні / [А. В. Перельмутер, В. М. Гордеев, Е. В. Горохов та ін.]. – К. : УІНСіЗР, 2002. – 92 с.

- [4] Югов А. М. Оценка надежности металлических конструкций на этапах жизненного цикла / А. М. Югов. – Макеевка : ДонГАСА, 2003. – 200 с.
- [5] Филатов Ю. В. Технологическая безопасность и продление ресурса стальных конструкций в коррозионных средах: дисс. канд. техн. наук / Ю. В. Филатов. – К., 2008. – 191 с.
- [6] ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
- [7] РД 09-102-95. Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, поднадзорных Госгортехнадзору России : утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 17.11.95 № 5.
- [8] ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації.
- [9] Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий : Утв. приказом Минпромполитики Украины 05.07.2002 № 305/ Гипрококс, УХИН, Укркокс. – Харьков, 2001. – 309 с.
- [10] Правила технической эксплуатации производственных зданий и сооружений предприятий горно-металлургического комплекса Украины : утв. приказом Минпромполитики Украины 12.11.2003. – 91 с.
- [11] Шимановский А. В. Методологические основы создания информационных систем учета действительного состояния эксплуатирующихся строительных конструкций / А. В. Шимановский, С.В. Колесниченко // Зб. наук. пр. Укр. наук.-дослід. і проект. інст.-ту сталев. констр. ім. В. М. Шимановського / відп. ред. О.В. Шимановський. – К. : Сталь, 2008. – Вип. 1. – С. 68–74.
- [12] Правила обстежень, оцінки технічного стану та паспортизації виробничих будівель та споруд. / Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України. – К., 1997.

УДК 624.076.2

Влияние технологических факторов на безопасность эксплуатации конструкций зданий и сооружений

Гайдаенко А. С.

ПАО «Авдеевский коксохимический завод», Украина

Аннотация. Разработана методика оценки прогрессирующего разрушения стальных конструкций зданий и сооружений с учетом данных техногенно-экологической экспертизы производственных объектов коксохимического предприятия.

Анотація. Розроблена методика оцінки прогресуючого руйнування сталевих конструкцій будівель та споруд з урахуванням даних техногенно-екологічної експертизи виробничих об'єктів коксохімічного підприємства.

Abstract. The procedure of assessment of the progressive failure of building and construction steel structures is developed taking into account the data of the technogenic and ecological assessment of industrial facilities of a by-product coke plant.

Ключевые слова: Прогрессирующее разрушение, показатель потенциала опасности, система технического обслуживания и ремонта, техногенно-экологическая безопасность.

Введение. Безаварийная эксплуатация конструкций зданий и сооружений является обязательным условием стабильного развития предприятия. Анализ возрастного состава производственных объектов ПАО «Авдеевский КХЗ» показывает, что около 25% имеют срок службы свыше 35 лет, 20% характеризуются возрастом свыше 25 лет, 40% – от 15 до 25 лет и 15% – до 15 лет. Анализ зарубежного опыта в области снижения рисков аварийных ситуаций техногенного характера свидетельствует, что система техногенно-экологической безопасности должна включать показатели технического состояния основных производственных фондов. Коксохимическое производство характеризуется весьма высокой агрессивностью атмосферы предприятия, термическими воздействиями на рабочие органы машин и конструкции, абразивностью коксовой пыли, адгезией к поверхности аппаратуры конденсата, смол, фусов и т. п. Для производственной среды коксохимического предприятия свойственна неравномерность распределения агрессивных веществ в рабочей зоне. Источники агрессивного воздействия на материал конструкции можно разделить на источники энергетического и химического воздействия. По данным ЦЗЛ ПАО «Авдеевский КХЗ» состав и концентрация компонентов эксплуатационной среды в результате физико-химических

процессов коксохимического производства соответствует средне- и сильноагрессивным воздействиям на строительные конструкции зданий и сооружений.

Обеспечение постоянного уровня надежности и долговечности эксплуатируемых конструкций связано с эффективной организацией службы технической эксплуатации, которая осуществляет надзор за конструкциями собственными силами или путем привлечения специализированных организаций. Целью надзора является своевременное выявление и правильная оценка существующих дефектов и повреждений стальных конструкций. Надзор включает текущие и периодические осмотры конструкций, а также специальное обследование.

Изменение характеристик процесса разрушения протекает в различные периоды эксплуатации основных металлоконструкций и в различных зонах завода по-разному. Поэтому важно установить некоторые средние значения этих характеристик и общие закономерности процесса разрушения основных металлоконструкций на коксохимических предприятиях.

Методика сбора и кодирования информации по показателям коррозионного износа основных металлоконструкций основана на анализе экспериментальных данных обследования металлоконструкций коксохимических предприятий Украины, которые получены ПКБ «Коксохимпроект» в период с 1972 по 2004 гг.

Обзор причин аварий строительных металлоконструкций на коксохимических предприятиях позволил сделать вывод о том, что предотвращение коррозионного разрушения является основным фактором повышении техногенной и экологической безопасности коксохимического производства. Установлено, что при оценке экологической опасности объектов существующие методики не учитывают энергетический потенциал, который определяет кинетику прогрессирующего разрушения при коррозионных воздействиях.

Проблема продления ресурса стальных конструкций связана с обоснованием межремонтных сроков восстановления работоспособности объектов коксохимического производства с учетом их техногенной опасности.

Целью работы является разработка методики предотвращения прогрессирующего разрушения стальных конструкций в условиях коксохимических предприятий на основе критериев техногенной безопасности.

Реализация разработанного подхода осуществляется путем решения следующих задач:

- систематизации данных экологических исследований для определения источников агрессивного воздействия на строительные конструкции;
- определения критериев прогрессирующего разрушения металлоконструкций под влиянием среды коксохимического производства;
- создания системы управления системой технического обслуживания и ремонта (СТОиР) основных производственных фондов по показателям стойкости конструктивных форм в условиях прогрессирующего разрушения;
- разработки технических решений, обеспечивающих повышение долговечности основных металлоконструкций и уровня техногенной безопасности производственных объектов.

Оценка техногенной опасности производственных фондов. Уровень техногенной опасности U объекта можно представить в виде выражения:

$$U = P \cdot G \leq [U], \quad (1)$$

где P – показатель потенциала опасности;

G – показатель состояния объекта.

Общий уровень техногенной опасности технологического комплекса представлен выражением:

$$U_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n U_i, \quad (2)$$

где U_i – уровень техногенной опасности по какому-либо i -тому нормируемому показателю;

n – количество нормируемых показателей для данной категории объекта.

Показатель потенциала опасности или суммарный энергетический потенциал является относительной величиной, которая включает значение потенциальной энергии сжатых рабочих сред, тепловой энергии нагретых масс, химической энергии горючих рабочих сред находящиеся в объекте и используется при сравнении энергопотенциалов опасных объектов (табл. 1).

Анализ энергетических характеристик позволяет выполнить зонирование основных производственных объектов коксохимического предприятия для определения категорий ответственности сооружений и их базовых конструкций. Таким образом, учитывается опасность прогрессирующего разрушения базовых конструкций для объектов в случае превышения установленного энергетического потенциала.

Методика управління безпекою об'єктів. Обеспечение техногенной безопасности объектов коксохимического производства во время эксплуатации реализуется путем обоснования графика СТОиР основных металлоконструкций с учетом показателей программы экономического развития предприятия и уровня техногенной опасности объектов.

Таблица 1
Значение энергий производственных объектов коксохимического производства

Энергетические характеристики Наименование объекта	Потенциальная энергия сжатых рабочих сред, МДж	Тепловая энергия нагретых рабочих сред, МДж	Химическая энергия горючих рабочих сред, МДж	Суммарная энергия объекта, МДж
Газосборник	-	1,10	895	896,1
Сепаратор коксового газа	-	0,01	179	179,01
Первичный газовый холодильник (ПГХ)	-	3,54	1650	1653,54
Скруббер Вентури	-	0,48	1949	1949,48
Нагнетатель коксового газа	0,20	0,26	211	211,46
Абсорбер	0,98	0,83	1003	1004,81
Конечный газовый холодильник (КГХ)	3,52	1,64	3979	3984,16
Бензольный скруббер	3,08	0,33	3979	3982,41
Серный скруббер	1,65	0,20	2486	2487,85
Подогреватель коксового газа	0,02	0,06	48,36	48,44
Транспортерная галерея	-	-	-	3621,9
Опора газопровода коксового газа	-	-	1414,76	1414,76
Мост коксового газа	-	-	541,59	541,59

Для построения целевой функции СТОиР принят минимум суммарных затрат на восстановление базовой конструкции:

$$S = \sum_{j=1}^{r^I} C_{Ij}Tr + \sum_{j=1}^{r^{II}} C_{IIj}Tr, \quad (3)$$

где C_{Ij} , C_{IIj} — удельные суммарные затраты на восстановление элементов I и II группы; T_r — планируемая наработка.

Поиск эффективной структуры СТОиР состоит в следующем. Для каждой конструкции определяем оптимальную межремонтную наработку элементов, устанавливаем цикличность СТОиР и определяем реальную межремонтную наработку элементов с учетом принятой цикличности.

В свою очередь, определение оптимальных наработок по элементам, их группировку и формирование ремонтного цикла можно представить следующими этапами.

На первом этапе разрабатывают математическую модель отказов, восстановлений и безотказной эксплуатации. На этом этапе определяют взаимосвязь вероятности восстановления элементов на плановых q_p и неплановых q_m ремонтах, математическое ожидание наработки элементов

до восстановления \hat{T}_{cp} , а так же зависимость суммарных затрат на восстановление элемента за некоторую наработку от названных выше величин.

Полные вероятности восстановления элемента на плановом q_p и неплановом q_m ремонтах можно представить зависимостями:

$$q_M = \lim_{s \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^S [(1-q_1) \dots (1-q_{i-1}) (1-q_\partial)^{i-1} \cdot q_i] \quad (4)$$

$$q_p = \lim_{s \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^S [(1-q_1) \dots (1-q_i) (1-q_\partial)^{i-1} \cdot q_\partial]$$

где q_∂ — условная вероятность восстановления элемента на плановом ремонте.

Математическое ожидание наработки элемента до восстановления имеет вид:

$$\hat{O} = \lim_{s \rightarrow \infty} \left(\sum_{i=1}^S q_i T_{i_i} + \sum_{i=1}^S q_i T_{i_i} \right) \quad (5)$$

где T_{mi} — наработка до i-го непланового ремонта; T_{pi} — наработка до i-го планового ремонта.

После преобразования выражения получаем:

$$\begin{aligned} \hat{T}_{cp} = & \lim_{s \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^S \{ (1-q_\partial) [1 - (1-q_i)(1-q_\partial)]^i \cdot \int_0^{T_p} t f(t) dt \} \times \\ & \times \prod_{i=1}^S (1-q_{i-1}) + T_p \lim_{s \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^S [i(1-q_1) \dots (1-q_i) (1-q_\partial)^{i-1} q_\partial] \end{aligned} \quad (6)$$

Удельные затраты определяем по формуле:

$$C_{y\delta} = \frac{\hat{C}}{T} = \frac{1}{T} (q_m C_m + q_n C_n) \quad (7)$$

где C_m — средние расходы (с учетом ущерба от отказов в процессе работы) на восстановление элемента на неплановом ремонте; C_n — средние расходы на восстановление элемента на плановом ремонте.

В общем виде планируемые периодичности ремонтов для любого момента «жизни» конструкции и ее элемента определяется по формуле:

$$T \approx M(\tau) - kS(\tau), \quad (6)$$

где $M(\tau)$ и $S(\tau)$ — соответственно математическое ожидание и средне - квадратическое отклонение периодичностей ремонтов; k — коэффициент предотвращения аварийной ситуации, гарантирующий восстановление с учетом уровня техногенной опасности объекта, ответственности объекта (конструкции) и агрессивности эксплуатационной среды (рис. 1).

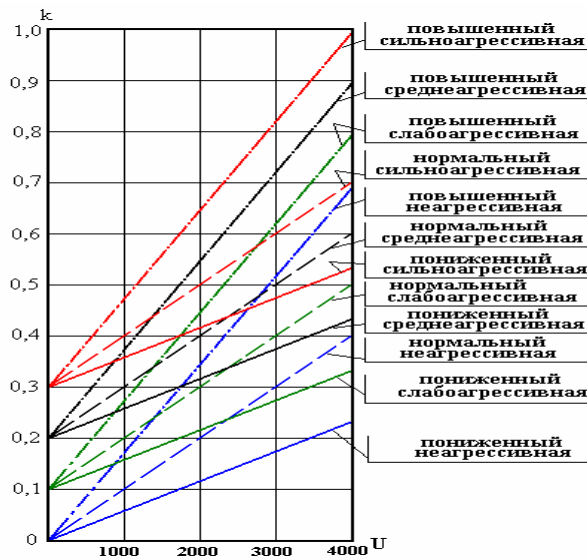


Рис. 1. Номограмма для определения коэффициента временного упреждения периодичности ремонтного восстановления

Показатель состояния объекта G характеризует текущее техническое состояние объекта и принимается на основании полученных данных при обработке статистической информации по техническому состоянию основных металлоконструкций.

4. Выводы. Применение методов управления СТОиР базовых металлоконструкций производственных зданий и сооружений с учетом данных техногенно-экологической опасности объектов является основным фактором предотвращения аварийных ситуаций. Анализ данных по физико-химическим воздействиям в условиях коксохимического производства ПАО «Авдеевский КХЗ» позволил разработать методику обоснования СТОиР, основанную на оценке стойкости базовых стальных конструкций к прогрессирующему разрушению производственных объектов.

УДК 624.01.046

Анализ рисков и предупреждение аварийных ситуаций по критериям технологической безопасности конструкций зданий и сооружений

¹Королёв В.П., д.т.н., ²Кущенко И.В.

¹ДонЦТБ ООО «Укринсталькон им.В.Н. Шимановского», ²Приазовский государственный технический университет, Украина

Аннотация. Разработана методика регистрационной оценки уровня риска и расчетно-экспериментального определения ремонтпригодности стальных конструкций.

Анотація. Розроблена методика реєстраційної оцінки рівня ризику та розрахунково-експериментального визначення ремонтпридатності сталевих конструкцій.

Abstract. The procedure of the risk level registration estimation and the design-experimental estimation of maintainability of steel structures was developed.

Ключевые слова: стальные конструкции, защитные покрытия, коррозионная стойкость, долговечность, ремонтпригодность, технологическая безопасность, оценка рисков.

Введение. Проблема обеспечения технологической безопасности на объектном уровне связана с регламентацией подходов по предупреждению аварийных ситуаций на основе методов программно-целевого управления надежностью конструкций зданий и сооружений. Безопасность здания или сооружения обеспечивается путем установления требуемых проектных значений, параметров и качественных характеристик конструктивных решений, реализация которых на этапе строительства и в процессе эксплуатации обеспечивает поддержание степени риска на требуемом уровне. Законом Украины «О техническом регулировании» предусматривается ограничение вмешательства государственных органов в предпринимательскую деятельность. Вместе с этим, учитывая международные стандарты обеспечения качества и безопасности, установлены требования по предупреждению аварийных ситуаций на объектах гражданского и промышленного строительства.

Надежная и безопасная работа строительных металлических конструкций зданий и сооружений может быть обеспечена только при правильном и своевременном проведении технического диагностирования с использованием современных методов, методик и средств

неразрушающего контроля на стадиях изготовления, монтажа и эксплуатации, при достоверном выявлении остаточного ресурса и др. Более того, с целью поддержания технологической безопасности конструкций зданий и сооружений имеет место тенденция перехода от периодического контроля к мониторингу основных показателей напряженно-деформированного состояния строительных объектов с использованием средств аварийной защиты.

Целью работы является использование методов мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) стальных конструкций для анализа уровней рисков при установленных пределах безопасной эксплуатации.

Определение источников опасности. Стабильность и непрерывность производственных процессов при негативных воздействиях обеспечивается условиями технологической безопасности, которые могут быть представлены в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N U_i \geq \sum_{i=1}^N (S_{d,i} + S_{c,i}) \\ \sum_{i=1}^N U_i = \sum_{j=1}^M f(T_{в,j}) \Rightarrow \min \end{array} \right. ; \quad (1)$$

где U_i – затраты на поддержание i -того 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; $T_{в,j}$ – показатель ремонтпригодности, определяющий промежуток времени (год), для восстановления работоспособности при минимальных затратах j -того конструктивного элемента выборки (M), степень критичности дефектов и повреждений которого выше предельного уровня повреждаемости.

Система диагностического мониторинга конструкций в процессе эксплуатации включает:

изучение параметров режима эксплуатации, уточнение фактических значений нагрузок и воздействий;

выявление дефектов и повреждений конструктивных элементов;

диагностику проблем снижения эксплуатационной несущей способности, установление показателей ремонтпригодности и оценку рисков по уровням технологической безопасности;

назначение режима контроля интервальных характеристик безопасности, соответствующих состоянию работоспособности и условиям технического обслуживания.

Разработанный методический подход [1] предусматривает основные этапы оценки уровня риска по технологической безопасности (R_b , балл) для конструкций зданий и сооружений:

выбор режима контроля параметров конструкций по результатам оценки повреждаемости и допустимым интервальным значениям ремонтпригодности;

количественную оценку показателя ремонтпригодности $T_{v,j}$ 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.

На основании оценки показателей качества эксплуатации, регистрации дефектов и повреждений назначается режим непрерывного или выборочного контроля (табл. 1) с учетом категории выявленных несовершенств.

Основное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции оказывают статические нагрузки, которые в ряде случаев могут привести к ее разрушению, например, при наличии в конструкции критических дефектов или повреждений, а также при нарушении нормального режима эксплуатации. Кроме того, при периодическом изменении статических нагрузок могут образоваться локальные участки с повышенным уровнем напряжений, вызванным геометрическими несовершенствами формы и размеров элементов. Возникновению и развитию повреждений могут способствовать внешние случайные нагрузки, в частности, при изменении гидрогеологических условий, а

также физико-химические воздействия агрессивных сред, способствующие коррозионному разрушению.

Таблица 1

Режим контроля технического состояния и восстановления эксплуатационных свойств конструкций

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

Анализ рисков и определение пределов безопасной эксплуатации. Неопределенность и вероятностные характеристики объектно-субъектных взаимосвязей при техническом обслуживании и ремонтных работах по фактическому состоянию требуют создания организационной структуры, обеспечивающей условия принятия решений по восстановлению работоспособного состояния конструкций. Результаты расчетной оценки показателей ремонтнопригодности и послеремонтной несущей способности при продлении срока службы конструкций обрабатываются в соответствии с установленной иерархией построения информационных баз данных объектов (рис. 1). Систематизация признаков эксплуатационного состояния конструкций выполняется в зависимости от уровня уязвимости и угроз, групп ответственности по технологической безопасности зданий и сооружений (табл. 2, 3).

Количественный показатель уровня уязвимости изменяется по шкале от 1 до 8 баллов в зависимости от степени критичности повреждений.



Рис.2. Схема управления уровнем риска

Таблиця 2

Уровень уязвимости конструкций

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

Группа ремонтпригодности определяет вид контроля и сроки проведения работ по повышению работоспособности стальных конструкций.

Категория дефекта или повреждения определяется по табл. 13 ДБН 362-92.

Уровни уязвимости классифицируются на три вида:

низкий (Н) – от 1 до 2 баллов;

средний (С) – от 3 до 5 баллов;

высокий (В) – от 6 до 8 баллов.

Таблиця 3

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

Группы ответственно- сти по техно- логической 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 непроизводственного назначения (R_5)	1	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	6
Объекты с функциями обслуживания производственного назначения	2	3	3	3	4	5	4	5	6	5	6	7

(R4)												
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 выполняется при технологической остановке (R1)	5	5	6	5	6	7	7	8	8	8	9	10

Средства аварийной защиты при непрерывном контроле. В соответствии с положениями ДБН В.1.2-14-2009 [2] контроль показателей качества и безопасности производится на всех стадиях жизненного цикла конструкций. Требования проведения инструментального мониторинга в процессе эксплуатации, ремонта и реконструкции предусматривают наблюдение за состоянием конструкций и грунтов основания. Благодаря развитию методик и средств измерений, цифровой обработке сигналов, в настоящее время для мониторинга существует широкий набор возможностей выбора методов контроля. Мониторинг конструкций и оснований зданий включает четыре основные группы инструментальных методов технического контроля:

геодезические измерения; выполняются как с помощью традиционной нивелировки, так и с использованием современных цифровых датчиков, спутниковых GPS-технологий, оборудования для лазерного сканирования объекта;

инженерно-геологические наблюдения состояния грунтового массива в основании зданий и сооружений; существует набор схем измерений в отдельных скважинах, межскважинного просвечивания (вплоть до получения 3-мерного томографического изображения); помимо скважин, важную информацию получают при размещении под фундаментной плитой сети датчиков давления на грунт, вертикальных загрузок для свайного основания;

измерения нагрузок и деформаций в конструкциях с использованием вибрационных датчиков напряжений, установленных по пространственным координатам;

сейсмометрические методики с использованием деформографов, наклономеров и сейсмометров при возбуждении колебаний здания как искусственными (удары, вибраторы), так и естественными (ветер) источниками.

Определение качественных и количественных критериев технологической безопасности и анализ уровней рисков, характеристик уязвимости по результатам статистического контроля дефектов и повреждений стальных конструкций обеспечивает возможность разработки и реализации программ непрерывного мониторинга с учетом классов ответственности конструкций, установленных ДБН В.1.2-14-2009.

Литература.

- [1] Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений / [Шимановский А. В., Гордеев В. Н., Королёв В. П., Оглобля А. И. и др.]. – К.: Изд-во “Сталь”, 2008. – 463 с.
- [2] ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – 30 с.

УДК 624.014:620.193

Підтвердження відповідності проектних рішень протикорозійного захисту розрахунковому строку служби алюмінієвих конструкцій у корозійних середовищах

¹Корольов В.П., д.т.н., ²Кущенко І.В., ¹Магунова Н.Г.

¹ДонЦТБ ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»,

²Приазовський державний технічний університет, Україна

Анотація. Розроблена методика вибору та обґрунтування засобів первинного та вторинного захисту на основі розрахунково-експериментальної оцінки корозійної стійкості, довговічності та ремонтпридатності при заданому терміні служби алюмінієвих конструкцій.

Аннотация. Разработана методика выбора и обоснования средств первичной и вторичной защиты на основе расчетно-экспериментальной оценки коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности при заданном сроке службы алюминиевых конструкций.

Abstract. The procedure of choice and justification of the primary and secondary protection means on the basis of the design and experimental estimation of corrosion resistance, durability and maintainability at the specified service life of aluminum structures is developed.

Ключові слова: алюмінієві конструкції, захисні покриття, прискорені корозійні випробування, підтвердження відповідності якості протикорозійного захисту, критичні корозійні втрати.

Вступ. Довговічність будівельних виробів і конструкцій у корозійних середовищах промислових підприємств визначається використанням ефективних засобів первинного і вторинного захисту при проектуванні, виготовленні та експлуатації. Поява на ринку протикорозійних технологій різноманітних матеріалів і методів, що перешкоджають протіканню процесів корозійного руйнування, диктує необхідність розвитку методологічних підходів для порівняльної оцінки відповідності показників захисних властивостей реальним умовам агресивних впливів. Важливим фактором створення банку даних про довговічність і корозійну стійкість є технічна експертиза, проведення якої можливе за єдиними правилами й методами розрахунково-експериментальних досліджень експлуатаційних властивостей матеріалів і конструкцій. При аналізі технічних показників якості матеріалів, установлених сертифікатами виготовлювачів, як правило, варто обґрунтовувати гарантовані вимоги довговічності на основі нормативних документів і умов режиму експлуатації конструкцій будівельного об'єкта. Вдосконалюванню

нормативної забезпеченості терміну служби залізобетонних конструкцій сприяють прискорені і стендові випробування, виконані в випробувальній лабораторії засобів та методів протикорозійного захисту (ВЛЗМПЗ) «Антикор-Дон» Донбаського центру технологічної безпеки ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського», акредитованій відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2005 (атестат акредитації № 2Т773).

Експериментальна частина. Об'єктом дослідження служили елементи фрагменту несучої системи навісного вентиляваного фасаду з алюмінієвого сплаву (АДЗ1Т1) та з вуглецевої сталі – далі зразки.

Для визначення впливу конструктивних особливостей на характер та інтенсивність корозійних впливів виконано технічний огляд конструкцій фрагменту несучої системи навісного вентиляваного фасаду з алюмінієвих сплавів на будівництві житлового комплексу на вул. Січневого повстання, 11-А, літера Б у Печерському районі м. Києва (рис. 1).

Фрагменти несучої системи навісного вентиляваного фасаду з алюмінієвих сплавів виконані відповідно до технічних рішень проектної документації "Навісна фасадна система з повітряним зазором для облицювання керамічним гранітом і натуральним каменем з прихованим кріпленням" [1].

Нормативні вимоги до засобів і методів захисту від корозії встановлені відповідно до СНиП 2.03.11-85 [2], СНиП 3.04.03- 85 [3]. Згідно з додатком 14 [2] вибір засобів захисту для огорожувальних конструкцій з алюмінію залежить від ступеня агресивності впливів:

- для слабоагресивних середовищ допускається використання алюмінієвих конструкцій без захисту;
- для середньоагресивних середовищ необхідно фарбування лакофарбовими матеріалами IV групи.



Рис.1. Конструктивні рішення несучої системи навісного вентиляваного фасаду з алюмінієвих сплавів

Аналіз складу матеріалів і конструктивних рішень визначив необхідність оцінки умов, що створюють найбільш несприятливі дії для режиму експлуатації навісний фасадної системи, за показниками корозійної стійкості та довговічності.

Науково-технічна експертиза проектних рішень протикорозійного захисту виконана на підставі прискорених випробувань на загальну корозію зразків фрагментів несучої системи навісного вентилязованого фасаду з алюмінієвих сплавів з метою прогнозу довговічності конструкцій фасадної системи.

Метрологічний контроль при проведенні випробувань включав забезпечення встановленої точності вимірів, а також підтримку умов випробувань за допомогою приладів регулювання й контролю необхідних параметрів (температури, вологості).

Для проведення прискорених корозійних випробувань за вимогами ГОСТ 9.913-90, п. 2.5, були виготовлені зразки елементів несучого каркасу навісного фасаду:

вертикальної напрямної (ВН);

горизонтальної напрямної (ГН);

подовжувача кронштейна (УК-1);

опорного кронштейна (ОК) з алюмінієвого сплаву марки АД31Т1 (6063, 6060) – загартованого і штучно зостареного;

елементу кріплення (ЕК) з вуглецевої сталі у відповідності до п. 4.1. ГОСТ 9.913-90.

Для проведення корозійних випробувань були розроблені схеми фрагментів, що враховують вплив контакту зразків з алюмінієвого сплаву і сталі, а також контакту металевих зразків з утеплювачем і керамічною плиткою на корозійну стійкість металевих зразків. Схеми фрагментів представлені в таблиці 3.

Згідно з вимогами ГОСТ 9.308-85 «Метод випробувань дій при нейтральному соляному тумані» виготовлені фрагменти були розташовані в камері для дослідження при дії нейтрального соляного туману (метод 1). Суть методу полягає в прискоренні корозійного процесу в умовах підвищеної температури, відносної вологості та атмосфери розчину хлористого натрію. Навантаження в соляному тумані (50 г/л NaCl, 35 °С), виконане в установці, яка протестована по стандартах ASTM, BS, CNS, JIS, DIN, Fed. Test, IEC, ISO, MIL-STD, NF. Випробування проводилися протягом 720 годин. Контроль корозійних втрат виконано гравіметричним

методом. Обробка результатів випробувань зразків здійснювалася за ГОСТ 9.908-85, п. 2.3.

За результатами прискорених корозійних випробувань зразків фрагмента несучої системи навісного вентиляваного фасаду виконана оцінка показників корозійної стійкості (табл. 1).

Таблиця 1

Показники корозійної стійкості зразків фрагмента несучої системи навісного вентиляваного фасаду

Зразки	Втрата ваги зразка, г/м ²	Швидкість корозії, г/м ² рік
Вертикальної напрямної (ВН)	6,00–7,01	73,00–85,26
ВН у контакті з утеплювачем	9,52–9,62	115,83–117,04
Горизонтальної напрямної (ГН)	5,77–6,01	70,20–73,12
ГН у контакті з утеплювачем	14,57–14,62	177,27–177,87
ГН у контакті з керамічною плиткою	5,77–5,88	70,20–71,54
Подовжувача кронштейна (УК-1) у контакті з опорним кронштейном (ОК)	1,87–2,01	22,75–24,46
Елементу кріплення (ЕК)	652,08–669,51	7933,64–8145,71
ЕК у контакті з утеплювачем	702,24–702,69	8543,92–8549,43

Результати випробувань і їхнє обговорення. Підтвердження відповідності показників якості технічних рішень несучої системи навісного вентиляваного фасаду з алюмінієвих сплавів на будівництві житлового комплексу встановленим вимогам протикорозійного захисту виконано на основі діючих нормативних положень СНиП 2.03.11-85 [2], СНиП 3.04.03- 85 [3].

За вказівками СНиП 2.03.11-85 [2] огорожуючи конструкції зі сплаву АД31Т1 допускається виконувати без захисних покриттів у слабоагресивних середовищах.

Задачами досліджень при проведенні науково-технічної експертизи є:

обґрунтування засобів первинного і вторинного захисту на основі розрахунково-експериментальної оцінки корозійної стійкості й довговічності при заданому терміні служби алюмінієвих конструкцій;

фізико-хімічне та математичне моделювання корозійного руйнування конструктивних елементів на основі технічних рішень фасадної системи [1];

підтвердження відповідності показників довговічності вимогам нормативних документів СНиП 2.03.11-85 [2], СНиП 3.04.03- 85 [3].

За даними технічного аудиту конструктивних рішень несучої системи навісного вентиляваного фасаду з алюмінієвих сплавів на будівництві житлового комплексу на вул. Січневого повстання 11-А, літера Б, у Печерському районі м. Києва узагальнені конструктивні параметри та фактори корозійних впливів режиму експлуатації для оцінки показників якості протикорозійного захисту.

Встановлено, що завдяки раціональному вибору матеріалів та з'єднань конструктивних елементів фасадної системи відсутні умови для розвитку процесів контактної, щілинної корозії. Однак, сьогодні немає достовірних оцінок тривалості впливу корозійно-активних компонентів у годинах за рік. Це ускладнює визначення зволоження поверхні конструкцій адсорбційною та фазовою плівкою вологи та створює перешкоди щодо визначення ступеню корозійної агресивності режиму експлуатації конструкцій фасадних систем.

За нормами СНиП 2.03.11-85 [2] ступінь корозійної агресивності режиму експлуатації встановлюють для конкретних об'єктів залежно від макрокліматичного району, категорії розміщення конструкцій за ГОСТ 15150, характеру технологічних виділень і матеріалу конструктивних елементів будинків і споруд. Завдяки застосуванню технічних рішень із вентиляваним фасадом врахування цих факторів виконано за мінімальними значеннями корозійних впливів за умовами ГОСТ 9.039. Критичні корозійні втрати встановлені розрахунковим методом, викладеним у роботі [4].

Критичні корозійні втрати Ω_{Al} , Ω_{St} (г) при проектному строкові служби фасадної системи $T_{пр} = 80-100$ років за результатами розрахунків складають:

для алюмінієвих профілів зі сплаву АД31Т1 – $\Omega_{Al} = 95-140$ для відношення резерву надійності $\Gamma = 1,1-1,15$;

для профілів з вуглецевої сталі – $\Omega_{St} = 7800-8400$ для відношення резерву надійності $\Gamma = 1,5-1,55$.

Фізико-хімічне та математичне моделювання корозійного руйнування конструктивних елементів фасадної системи виконане за умов найбільш несприятливих розрахункових ситуацій, які включали можливість

довготривалого впливу зволоження поверхні конструкцій адсорбційною та фазовою плівкою води, наявності процесів контактної, щілинної корозії.

За результатами прискорених випробувань встановлено:

- Показники загальної корозії для конструктивних елементів фасадної системи (технічні рішення з вентиляльованим фасадом [1]) при випробуваннях за ГОСТ 9.913-90 не перевищують встановлені розрахункові критичні корозійні втрати Ω_{Al} , Ω_{St} (г) для проектного строку служби фасадної системи $T_{пр} = 80-100$ років.

- При порушенні умов нормальної експлуатації виникає загроза протікання процесів контактної, щілинної корозії, що збільшує корозійні втрати в середньому до 10%. Найбільш несприятливі умови виникають при адсорбційному та фазовому зволоженні утеплювача і зростанні ступеню агресивності впливу на корозійне руйнування елементів фасадних систем у 1,1–2,4 разів.

- Технічні рішення фасадної системи [1] за даними фізико-хімічного та математичного моделювання корозійного руйнування конструктивних елементів відповідають вимогам слабоагресивного середовища та допускають можливість використання алюмінієвих профілів без додаткових заходів протикорозійного захисту лаками та фарбами за рекомендаціями табл. 29 та додатку 14 СНиП 2.03.11-85 [2].

Ці умови є дійсними для елементів фасадних систем без захисних покриттів і пов'язані з більш детальним уточненням умов експлуатації за результатом технічного аудиту та додатковими розрахунками конструкцій фасадної системи. Термін контролю корозійного стану поверхні конструкцій фасадних систем без захисних покриттів встановлено 1 раз на 10 років.

Невизначеність оцінок тривалості впливу корозійно-активних компонентів у годинах за рік та можливість зростання корозійних втрат через зволоження утеплювача, потребує додаткових заходів захисту від корозії за вимогами середньоагресивних середовищ згідно з СНиП 2.03.11-85 [2]. Відповідно до додатку 14 СНиП 2.03.11-85 [2] необхідно виконувати протикорозійний захист поверхні алюмінієвих та сталевих елементів матеріалами IV групи додатку 15 за вказівками табл. 29 СНиП 2.03.11-85 [2]. Термін контролю корозійного стану поверхні конструкцій фасадних систем із захисними покриттями становить 1 раз на 15 років.

Література

- [1] Альбом технических решений. Облицовка керамогранитом. Скрытая система. – 36 с.

- [2] СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
- [3] СНиП 3.04.03-85. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 32 с.
- [4] Королёв В. П. Теоретические основы инженерных расчетов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность / В. П. Королёв // Научн. труды ДГАСА. – Макеевка, 1995. – Вып. 1-95. – 110 с.

УДК 65.012.8

Корпоративная система подготовки специалистов-экспертов по вопросам технологической безопасности конструкций зданий и сооружений

Королёв В.П., д.т.н.

ДонЦТБ ООО «Укринсталькон им.В.Н. Шимановского», Украина

Аннотация. Представлены содержание и форма корпоративной программы повышения квалификации, разработанной в ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского» по учебно-методическим курсам «Безопасность и надежность эксплуатации конструкций зданий и сооружений» в соответствии с руководящими указаниями по обучению ISO 10015:1999.

Анотація. Наведені зміст та форма корпоративної системи підвищення кваліфікації фахівців, розробленої в ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М.Шимановського» за навчально-методичними курсами «Безпека та надійність експлуатації конструкцій будівель та споруд» у відповідності з керівними вказівками з навчання ISO 10015:1999.

Abstract. The content and form of the corporate refresher training program developed in «V.N. Shimanovsky Ukrinstalkon» LTD on the "Safety and reliability of building and construction structures use" training courses according to the ISO 10015:1999 training guidelines are presented.

Ключевые слова: повышение квалификации, корпоративные курсы, технологическая безопасность, аварийные ситуации, продление ресурса конструкций зданий и сооружений.

Введение. До 1991 г. в строительстве действовала система планово-предупредительных ремонтов, регламентированная требованиями отраслевых нормативных документов. В результате перехода к рыночной экономике в 1997 г. введены нормативные документы, устанавливающие ответственность собственника за обеспечение надежности и безопасности конструкций зданий и сооружений. Необходимость создания эффективной системы государственного регулирования безопасности в основных отраслях экономики определена в документах, регламентирующих развитие законодательной и нормативно-методической базы по предупреждению аварийных ситуаций. Важным этапом для создания единой государственной системы обеспечения надежности и безопасности конструкций зданий и сооружений стала реализация комплекса мер, установленных при разработке Государственной научно-технической программы «Ресурс» [1, 2]. Неудовлетворительное состояние металлофонда Украины по уровню коррозионной защиты, долговечности и надежности определяет проблемы эксплуатации основных

производственных фондов в основных отраслях промышленности, агропромышленном комплексе, системах жизнеобеспечения, поддержания в надлежащем техническом состоянии ядерных объектов на территории Украины, рисков появления чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

1. Концепция государственной программы технологической безопасности в основных отраслях экономики Украины, утвержденная распоряжением КМУ от 11.06.2003 № 351-р, предусматривает разработку основополагающих принципов научно-технической политики, правового, нормативного регулирования и кадрового обеспечения системы мер по предупреждению аварий и чрезвычайных ситуаций техногенного характера, условий экологической и техногенной безопасности жизнедеятельности как неотъемлемого элемента политики национальной безопасности и государственного строительства. В учебных программах по подготовке специалистов «Строительство» для специальности «Промышленное и гражданское строительство» предусматривается спецкурс «Реконструкция зданий и сооружений». Вместе с этим, проблема подготовки специалистов-экспертов требует существенного дополнения образовательных программ разделами по технической диагностике и мониторингу эксплуатационного состояния для предупреждения аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений.

2. Сущность требований технологической безопасности. Современное состояние нормативного обеспечения надежности конструкций зданий и сооружений позволяет осуществлять мероприятия по внедрению Технического регламента строительных изделий, зданий и сооружений, разработанного на основе Директивы Совета ЕС № 89/106/ЕЕС.

Технологическая безопасность представляет важную структурную составляющую безопасности предприятия, характеризующую систему мер для поддержания работоспособности, повышения эксплуатационных свойств конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей, которые полностью или в значительной степени исчерпали свой нормативный ресурс. Такие объекты рассматриваются как источники потенциальной опасности при модернизации (техническом переоснащении), реконструкции и продлении срока их эксплуатации.

В ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского» разработана технология инженерной защиты и управления технологической безопасностью, включающая меры по поддержанию работоспособности, повышению эксплуатационных свойств конструкций на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений.

Развитие методов управления технологической безопасностью, связанных с реализацией программ технического переоснащения и стратегического развития предприятий, было рассмотрено на совместном расширенном заседании Донецкого научного центра НАН и МОН Украины «Состояние и методы по обеспечению технологической безопасности в основных отраслях экономики Донбасса», которое прошло 19 мая 2009 года. По результатам исследований для решения задач региональной составной части национальной программы «Ресурс» разработаны:

- принципы управления технологической безопасностью и научно-технического обеспечения оценки и продления ресурса объектов разного назначения на основе разработки стандартов предприятия, которые регламентируют требования к безаварийной эксплуатации конструкций зданий и сооружений в соответствии с ISO 9001:2000;

- система мониторинга по предупреждению аварийных ситуаций на основе нормативных положений OHSAS 18001:1999 с использованием автоматизированной базы данных «Ресурс», которая позволяет производить анализ коррозионного состояния и мер противокоррозионной защиты строительных конструкций, коррозионных потерь в промышленности;

- методы выбора и обоснования первичной и вторичной защит с учетом классификации предложенных уровней коррозионной безопасности объектов; сформулированы условия подтверждения соответствия гарантированных показателей долговечности требованиям технологической безопасности на основе расчетно-экспериментальной оценки коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности при заданном сроке службы стальных конструкций и их защитных противокоррозионных покрытий с учетом положений ISO 12944:1998;

- учебно-методическая программа повышения квалификации специалистов по курсу «Безопасность и надежность эксплуатации конструкций, технологического оборудования, зданий и сооружений» в соответствии с руководящими указаниями по обучению стандартов ISO 10015:1999.

3. Организационно-методическое обеспечение. Отсутствие организационно-методических документов, определяющих требования к техническому обслуживанию гражданских и промышленных объектов, срок эксплуатации которых превышает нормативный, значительно повышает опасность возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Одним из первоочередных мероприятий, связанных с созданием системы обеспечения надежности и безопасной эксплуатации сооружений, конструкций, оснащения и инженерных сетей,

предотвращения аварий и чрезвычайных ситуаций, является разработка системы мониторинга технического состояния и программ обеспечения надежности объектов в промышленности, транспорте, сельском хозяйстве и на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства.

Внедрение требований технологической безопасности позволит предоставить собственникам возможность повышения квалификации специалистов по предупреждению аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений на основе методов технической диагностики и мониторинга гражданских и промышленных объектов. При формировании учебных курсов повышения квалификации слушателям предлагается тематический план, включающий разделы:

- разработка стандарта предприятия – СТП (документированной процедуры/технического регламента) по управлению технологической безопасностью; СТП является декларацией соблюдения действующих норм и правил обеспечения надежности и безопасности строительных объектов и определяет организацию надзора и контроля (внутреннего аудита) технического состояния, поддержания установленных характеристик качества конструкций зданий и сооружений при эксплуатации по фактическому состоянию;

- структуру информационно-аналитической базы данных «Ресурс» – системы мониторинга эксплуатационных показателей качества эксплуатации конструкций зданий и сооружений для выявления, регистрационной оценки степени критичности дефектов и повреждений, анализа уровня уязвимости и оценивания угроз с учетом показателей ремонтпригодности;

- внедрение и эксплуатацию базы данных «Ресурс» для конкретных предприятий в режиме накопления результатов контроля, оценки уровней рисков аварийных ситуаций, реализации программ обеспечения надежности и продления ресурса конструкций;

- построение системы управления технологической безопасностью объектов по результатам регистрационной оценки и мониторинга уровней рисков производственных объектов.

В ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского» разработано учебно-методическое обеспечение корпоративной системы повышения квалификации по программе «Менеджмент технологической безопасности зданий и сооружений» на основе ISO 10015:1999 по разделам:

стратегия обеспечения технологической безопасности на основе ISO 9001:2008;

системы управления ремонтпригодностью конструкций, зданий и сооружений с учетом ISO 31000:2009;

оценка уровня рисков в соответствии с требованиями OHSAS 18001;

коррозионный контроль и защита от коррозии в соответствии с положениями ISO 12944:1998.

Программа курсов повышения квалификации специалистов включает работу семинаров по направлениям спецкурсов:

спецкурс «Техническая эксплуатация зданий и сооружений, инженерных сетей» для специалистов цехового персонала промышленных и гражданских объектов (I уровень);

спецкурс «Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений инженерных сетей» для персонала служб технического надзора и инженерно-технических работников специализированных организаций (II уровень);

спецкурс «Управление безопасностью строительных объектов на основе диагностики, паспортизации и мониторинга конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей» для руководящих работников, связанных с проектированием, новым строительством, реконструкцией, капитальным ремонтом и эксплуатацией зданий и сооружений (III уровень).

Повышение квалификации предусматривает рассмотрение вопросов научно-технического сопровождения для разработки и внедрения стандартов предприятия, регламентирующих технологическую безопасность, мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений с использованием информационных технологий анализа и обработки данных о техническом состоянии объектов.

В 2007–2008 гг. проведены краткосрочные курсы повышения квалификации по следующим разделам программы:

Безопасность эксплуатации и надежность конструкций зданий и сооружений (8–12 октября 2007 г., Украина, АР Крым, пгт. Мисхор, пансионат: лечебно-оздоровительный центр “Нижний Мисхор”).

Коррозионный контроль и противокоррозионная защита конструкций зданий и сооружений (30 сентября – 04 октября 2008 г., пгт. Мисхор, пансионат: лечебно-оздоровительный центр “Нижний Мисхор”).

За период 2004–2008 гг. сертификаты по программе повышения квалификации «Менеджмент технологической безопасности зданий и сооружений» вручены 327 слушателям курсов. На основе практического

опыта решения задач обеспечения технологической безопасности , а также научных исследований в рамках теоретического обобщения и экспериментального обоснования проблемы ресурса промышленных и гражданских объектов подготовлена монография «Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений» [2].

Литература

- [1] Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд і машин» : Зб. наук. статей за результатами, отриманими в 2007–2009 рр. / Науковий керівник – акад. Б. Є. Патон. – Київ : ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України, 2010. – 709 с.
- [2] Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений / [Шимановский А. В., Гордеев В. Н., Королёв В. П., Оглобля А. И. и др.]. – К. : Изд-во “Сталь”, 2008. – 463 с.

УДК 624.072.27046:539.385

Полиэтиленовые колодцы для подземных коммуникаций

¹Карповский М.Г., к.т.н., ²Тихомиров В.П.

¹Донецкий Промстройиниипроект, ²ООО «УКРХИМПЛАСТ», Украина

Аннотация: На основании проведенных испытаний определена область применения полиэтиленовых колодцев и разработаны технические условия на их производство. Полиэтиленовые колодцы марок КЛ-660 и КЛ-1000 могут быть использованы при прокладке подземных коммуникаций в зеленой зоне (без слоя грунта над ними), а также на проезжей части дорог, автостоянках и тротуарах с обеспечением прослойки грунта над колодцем. Колодцы исключают попадание в почву любой влаги.

Анотація: На підставі проведених випробувань визначена галузь використання поліетіленових колодців та розроблені технічні умови на їх виробництво. Поліетіленові колодязі марок КЛ-660 і КЛ-1000 можуть бути використані при прокладанні підземних комунікацій, в зеленій зоні (без шару ґрунту над ними), а також на дорогах, автозупинках, тротуарах із забезпеченням прошарку ґрунту над колодязем. Колодязі виключають попадання у ґрунт будь-якої вологи.

Summary. On the basis of static tests of polyethylen wells the fields of their application and technical conditions for manufacture are elaborated. Polyethylen wells of grades КЛ-660 and КЛ-1000 may be used for underground communicatios, in the "green zone" (without upper ground layer), on the roads, auto stops and pavements with upper ground layer. Wells exclude water draining in the grounds.

Ключевые слова: полиэтиленовые колодцы, статические испытания.

Актуальность проблемы. Эффективным решением проблем, связанных с железобетонными колодцами (большой вес, негерметичность, необходимость защиты от грунтовых вод и т. д.), является их замена на полиэтиленовые, которые обеспечивают: небольшой вес (≈ 32 кг); герметичность; легкость и скорость монтажа; легкость поддержания чистоты; прочность и жесткость конструкции; стойкость в агрессивных условиях; экологичность (возможность утилизации и др.).

Колодцы представляют собой цилиндрические оболочки из полиэтилена высокого давления толщиной $\delta=7,0...10,0$ мм с вертикальными ребрами жесткости. Изделия снабжены крышками из высококачественного полиэтилена высокого давления методом температурного ротоформования. Данный метод позволяет получить изделие без остаточных напряжений по всей поверхности и внутри несущих стенок конструкций, что существенно повышает прочность и стойкость колодца при сравнительно малых толщинах и весе к внешним нагрузкам и случайным факторам.

Простое устройство замка для соединения элементов конструкций в комбинации со специальными уплотнениями из резины, разработанные специалистами ООО «УКРХИМПЛАСТ» для обеспечения герметизации, а также протестированная в натуральных условиях герметизирующая мастика отечественного производства позволяют получить цельную, полностью герметичную конструкцию колодца с практически неограниченным сроком эксплуатации.

При разработке программы испытаний использованы рабочие чертежи колодцев из полиэтилена, разработанные ООО «Укрхимпласт».

Программа испытаний колодцев методом нагружения учитывала использование колодцев в зеленой зоне, на тротуарах, автостоянках и проезжей части автомобильных дорог. Заказчиком для разработки технических условий на производство колодцев из полимерных материалов внутренними диаметрами 660 мм и 1000 мм поставлена задача выполнения испытаний в условиях, близких к натурным, т. е. с обратной засыпкой пазух уплотненным песком, установкой распределительного железобетонного кольца на колодец и эквивалентных им испытаниям в лабораторных условиях – испытанием непосредственно полиэтиленовых колодцев сосредоточенной нагрузкой (без обратной засыпки пазух).

Программой испытаний предусматривалось:

- определить максимальные нагрузки на колодцы в условиях, близких к натурным;
- определить максимальные нагрузки на колодцы в лабораторных условиях;
- оценить жесткостные характеристики (изменение геометрических размеров в процессе нагружения);
- проверить герметичность выпускаемых изделий.

Сосредоточенные нагрузки на люк, закрывающий колодец (и на железобетонное кольцо), составляют: для пешеходных дорожек и зон зеленых насаждений $P = 15$ кН; для автостоянок, тротуаров и проезжей части городских парков – $P = 125$ кН; для городских автомобильных дорог с интенсивным движением – $P = 250$ кН; для магистральных дорог – $P = 400$ кН; для зоны высоких нагрузок (аэродромы, доки) – $P = 600$ кН (по табл. 1 ГОСТ 3634-99 [1] и европейскому стандарту EN 124-1994 [2]).

В испытаниях сосредоточенную нагрузку прикладывали со случайным эксцентриситетом ступенями $\Delta P = 0,1 P$ предполагаемой разрушающей нагрузки (в первом приближении – $P = 15$ кН).

Для испытаний использовали колодцы марок КЛ-660, КЛ-1000 без отверстий для коммуникаций. Испытания колодцев выполняли на силовом полу опытно-экспериментальной базы Донецкого Промстройниипроекта в нормальных температурно-влажностных условиях. Испытания проводили в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации, на специальном испытательном стенде. Для этого использовали железобетонное кольцо марки КС 20.12 внутренним диаметром 2,0 м, в которое устанавливали полиэтиленый колодец. Полость между стенками железобетонного кольца и испытуемым колодцем заполняли уплотненным песком. Статическую нагрузку рикладывали через железобетонную плиту на уплотненный песок.

Стенд для испытаний полиэтиленовых колодцев состоял из:

горизонтального железобетонного основания (силового пола); стенового кольца железобетонного колодца марки КС20.12 с внутренним диаметром $d=2000$ мм, высотой - $h=1200$ мм;

железобетонной плиты кольцевого поперечного сечения - ПН-7,5У внутренним диаметром $d=800$ мм, толщиной $h=100$ мм (или ПН-15У с наружным диаметром $D=1680$ мм, толщиной $h=150$ мм по ГОСТ 8020-90 [3]);

уплотненного песка однородной структуры (без комков глины и камней);

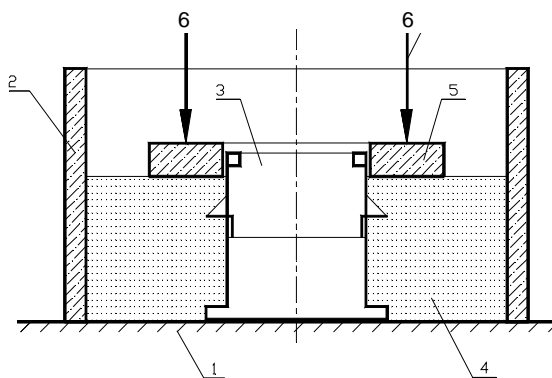
нагружающего устройства из П-образной рамы (траверсы, тяг и анкеров, закрепленных к силовому полу);

гидравлической системы, состоящей из ручной маслonaсосной станции НСР-400, рукавов высокого давления и гидродомкратов ДГ-10 и ДГ-25;

приборов контроля деформаций стенок колодцев – индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм и прогибомеров ПАО-6 ЛИСИ с ценой деления 0,01 мм.

Для испытания колодцев большей высоты железобетонное кольцо рабочей камеры колодца марки КС 20.12 устанавливали на 4 опоры высотой $h=400$ мм (пространство между опорами закрывается бетоном и траверсами).

Схема испытаний представлена на рис. 1.



- 1 - железобетонное основание;
- 2 - железобетонное кольцо;
- 3 - изделие (полимерный колодец в сборе);
- 4 - засыпка песком;
- 5 - загрузочное кольцо;
- 6 — сосредоточенная нагрузка.

Рис. 1. Схема испытаний статической нагрузкой

Полиэтиленовый колодец устанавливали вертикально внутри железобетонного кольца, соосно с ним. Выполняли послойную засыпку пазух вокруг испытываемого колодца сухим чистым песком до уровня низа загрузочного кольца (на рис. 1 – железобетонное кольцо – поз.2).

Поверхность уплотненного песка у испытываемого колодца выравняли и соосно горловине укладывали разгрузочное железобетонное кольцо. Сосредоточенную нагрузку передавали на железобетонное кольцо ступенями, каждая из которых не превышала 20% контрольной нагрузки по проверке прочности.

Величину контрольной нагрузки определяли для каждого испытываемого типоразмера колодца по результатам предыдущих испытаний. Контрольной (критической) нагрузкой принимали нагрузку, при которой деформации стенок колодца резко возрастали. Для определения критической нагрузки использовали графики «нагрузка-деформации» стенок. Деформации стенок колодцев измеряли в 4 точках (на участках между ребрами жесткости).

На каждой ступени нагружения делали выдержку под нагрузкой не менее 10 мин. Выдержка при контрольной нагрузке по проверке прочности составляла не менее 30 мин.

Во время выдержки снимали показания измерительных приборов дважды: сразу после приложения нагрузки и после 10-минутной выдержки.

Лабораторные испытания базировались на натуральных испытаниях колодцев и дополняют их. Лабораторные испытания предназначены для разработки правил контроля прочности и деформативности при изготовлении полимерных колодцев.

Испытания полимерных колодцев в лабораторных условиях должны проводиться при приемке каждой партии изделий. В лабораторных условиях испытания проводят статическими нагрузками, приложенными к люку колодца (без установки железобетонного стенового кольца и обратной засыпки песком).

Для испытаний на герметичность собирали конструкцию из секций колодцев КЛ-660, КЛ-1000 (без отверстий для коммуникаций) с установкой уплотнительного кольца с герметиком.

Собранный колодец устанавливали вертикально на ровное бетонное основание и заполняли водой до уровня на 50 мм ниже верха горловины. В заполненном водой состоянии колодец выдерживали в течение 24 часов. Изделие считалось прошедшим испытание при отсутствии фильтрации воды через стенки или швы между секциями в течение 24 часов.

Механические испытания в натуральных условиях колодца КЛ-660 (нагрузка на крышку люка). Испытания колодца марки КЛ-660 со стандартным полиэтиленовым люком выполняли в июле 2010 г. В процессе подготовки испытания монтировали колодец марки КЛ-660 в центре железобетонного стенового кольца, засыпали и послойно уплотняли песок, устанавливали приспособления для измерения горизонтальных деформаций стенок колодца. Приспособления представляли собой отрезки стальных гладких прутков (стержней) диаметром 8 мм, которые (для предотвращения влияния смещения песчаной засыпки в процессе нагружения) уложены в стальные трубы внутренним диаметром 24,5 мм (рис. 1). На свободные концы стержней устанавливали индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.

После установки приспособлений для измерения деформаций выполняли окончательную засыпку песком, уплотнение его, монтаж железобетонной крышки люка и нагружающего устройства (рис. 2).



Рис. 1. Общий вид колодца КЛ-660 перед испытанием, видны трубки измерительного приспособления



Рис. 2. Общий вид испытаный колодца КЛ-660, видны индикаторы часового типа

Разрушение колодца КЛ-660, испытанного без слоя песка над крышкой, произошло при нагрузке $P=23,5$ кН (рис. 3). Разрушение колодца КЛ-660, испытанного через слой песка, произошло от потери устойчивости при нагрузке $P=38,4$ кН.

Следующим этапом было испытание колодца К-1000, монтаж которого выполняли в центре железобетонного стенового кольца марки КС 20.12, установленного на 4 опоры высотой 400 мм. Пространство между опорами закрывали бетонитом и траверсами.

Разрушение колодца КЛ-1000 не произошло при нагрузке $P=130,0$ кН, было достигнуто значение номинальной нагрузки для дорожных покрытий на автостоянках, тротуарах и проезжей части дорог – $P=125$ кН.

Общий вид испытаный колодца КЛ-1000 в условиях, близких к реальным, представлен на рис. 4.



Рис. 3. Вмятины на стенках колодца КЛ-660 после испытаний



Рис. 4. Общий вид испытаный колодца КЛ-1000 сосредоточенной нагрузкой

Испытание колодцев выполняли на испытательном стенде (рис. 5). Сосредоточенную нагрузку прикладывали в центре люка колодца.

Разрушение колодца КЛ-660 произошло при нагрузке $P=18,0$ кН от потери устойчивости стенок (рис. 6).



Рис. 5. Общий вид испытанной колодца КЛ-660 в лабораторных условиях



Рис. 6. Внешний вид колодца КЛ-660 после испытания в лабораторных условиях

Для испытания на герметичность колодца использовали обычную питьевую воду, которую наливали в колодец до уровня на 50 мм ниже верха.

Общий вид колодца, наполненного водой, представлен на рис. 7.



Рис. 7. Испытания на герметичность, вид сверху на колодец КЛ-660, заполненный водой

После выдержки в течение 72 часов уровень воды в колодце остался на прежнем месте, течи в сварных швах и теле колодца не обнаружены.

Максимальные нагрузки на полиэтиленовые колодцы, испытанные в натуральных условиях, составили:

- колодец КЛ-660, испытанный без слоя песка над крышкой: $P=23,0$ кН;
- колодец КЛ-660 со слоем песка над крышкой $\delta=300$ мм: $P=38,0$ кН;
- колодец КЛ-1000, испытанный со слоем песка над крышкой: $P=130$ кН.

Максимальная нагрузка на полиэтиленовый колодец марки КЛ-660 в лабораторных условиях (без обратной засыпки) составила $P=18$ кН.

Измерения показали, что горизонтальные и вертикальные деформации стенок колодцев изменяются в широком диапазоне – $\Delta=0,5...5,7$ мм; поэтому выполнить анализ деформативности по единичным испытаниям не представляется возможным.

Выводы.

1. Результаты испытаний показали, что полиэтиленовые колодцы марок КЛ-660 и КЛ-1000 могут быть использованы при прокладке подземных коммуникаций в зеленой зоне (без слоя грунта над ними), а также на проезжей части дорог, автостоянках и тротуарах с обеспечением прослойки грунта над колодцем.
2. Полиэтиленовые колодцы исключают попадание в почву любой влаги. Как следствие – увеличивается срок эксплуатации дорожных покрытий, верхних слоев почвы газонов и уменьшаются затраты на ремонт и эксплуатацию этих трасс.
3. На основании проведенных испытаний ООО «УКРХИМПЛАСТ» разработаны ТУ.У В.2.5-25.2-33458437-006:2010 [4], адаптированные к современным требованиям и условиям эксплуатации, безопасности и экологическим нормам защиты окружающей среды.
4. Полиэтиленовые колодцы могут использоваться взамен железобетонных колодцев для размещения сетей водопровода, электроснабжения, телефонной канализации и других подземных коммуникаций.

Литература

- [1] ГОСТ 3634-99. Люки смотровых колодцев и дождеприемники ливневосточных колодцев. – М. : Стройиздат. 1999.

- [2]** EN 124:1994. Люки и водоприемные устройства смотровых и водосточных колодцев, расположенных на тротуарах и проезжей части : German version. – 1994.
- [3]** ГОСТ 8020-90. Конструкции бетонные и железобетонные для колодцев канализационных, водопроводных и газопроводных сетей. Технические условия, марки. – М. : Стройиздат, 1990.
- [4]** ТУ.У В.2.5-25.2-33458437-006:2010. Колодцы полиэтиленовые Технические условия. – Донецк : Укрхимпласт, 2010. – 25 с.

УДК 624.072.002.2

Критические функции безопасности при анализе рисков коррозионного разрушения стальных конструкций

Королёв В.П., д.т.н.

ДонЦТБ ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского», Украина

Аннотация. Разработанный подход позволяет выполнять оценку коррозионной опасности как состояния или ситуации (угрозы), при которых увеличивается вероятность наступления ущерба.

Анотація. Розроблений підхід дозволяє виконувати оцінку корозійної небезпеки включає певний стан або ситуацію, при яких збільшується вірогідність настання збитку.

Abstract. The developed concept allows to estimate the corrosion risk as the conditions or the situations (threats) increasing the probability of damages.

Ключевые слова: Коррозионная стойкость, долговечность, защитные покрытия стальных конструкций, предельные состояния, коррозионная опасность.

Введение. Развитие экономики неразрывно связано с увеличением объемов строительства как инвестиционно привлекательной отрасли. В условиях мощного взаимообмена технологиями и материалами строительных рынков разных стран, ориентации на европейские принципы стандартизации требуются новые подходы к формированию нормативно-правовой базы в строительстве, к системе обеспечения качества строительной продукции. Коррозионные воздействия на строительные конструкции — один из основных факторов, значительно снижающих реальный ресурс их использования. Существенные затраты материальных ресурсов, а также аварии и разрушения, вызванные коррозионными воздействиями на металлоконструкции, определяют значимость проблемы надежности и долговечности строительных конструкций. Критическое состояние основных производственных фондов по уровню коррозионной опасности вызвано высокой агрессивностью воздействий, низкой коррозионной стойкостью строительных сталей, недостаточной эффективностью средств и методов противокоррозионной защиты

Цель данной работы связана с формированием требований безопасной эксплуатации конструкций зданий и сооружений с учетом возможностей технического регулирования качества противокоррозионной защиты.

Реализация задачи обеспечения надежности, долговечности и безопасной эксплуатации стальных конструкций предполагает создание комплекса технических требований к оценке показателей качества первичной и вторичной защиты от коррозии. Надежная защита строительных металлических конструкций и элементов от коррозии определяет их безаварийную и экономичную эксплуатацию в течение заданного срока службы.

Управление качеством защиты от коррозии. Менеджмент качества для проектной системы защиты конструкций от коррозии включает восемь принципов в соответствии с положениями ISO 9000:2008. Разработка средств и методов защиты от агрессивных воздействий для обеспечения заданных показателей надежности и безопасности должна предусматривать **техническое регулирование по требованиям заказчика** конструктивных и технологических мер первичной и вторичной защиты при изменении расчетной ситуации, устанавливающей эксплуатационные характеристики объекта. **Политика руководства** определяет цели менеджмента качества по показателям коррозионной стойкости и долговечности, сформулированные в техническом задании на проектирование конструкций зданий и сооружений. Расчетные модели преобразования требований надежности и безопасности в характеристики эксплуатационных свойств конструкций устанавливают методы контроля качества, диагностики коррозионного состояния, целесообразность **вовлечения специализированных организаций и экспертов** для выполнения процедур подтверждения качества. Таким образом, гарантии качества, представленные спецификациями по ресурсу, при проектировании и изготовлении реализуются на основе **процессного подхода**, отражающего систему технического обслуживания и ремонта конструкций в течение установленного срока службы объекта (рис. 1.1). **Системный подход к управлению** предполагает идентификацию и формализованное описание напряженно-деформированного состояния конструкций на основе зависимостей коррозионной системы «Нагрузка-Конструкция-Среда» [1]. Разработанная технология мониторинга коррозионного состояния обеспечивает возможность оценки параметров регулирования ресурса конструкций для реализации политики **постоянного улучшения**, направленной на совершенствование мер первичной и вторичной защиты. Преимущества регистрационного метода оценки показателей ремонтпригодности стальных конструкций по фактическому состоянию позволяют сформулировать **подход принятия решений** для обеспечения технологической безопасности конструкций зданий и сооружений в коррозионных средах. Можно заключить, что предлагаемая организационная структура **взаимовыгодных отношений с поставщиками** на основе принципов менеджмента качества

противокоррозионной защиты является основой для обоснования гарантированных показателей коррозионной стойкости и долговечности.

Критические функции безопасности. Для обеспечения надежности стальных конструкции необходимо обоснование мер первичной и вторичной защиты (рис. 1.1). Первичная защита включает конструктивные решения, повышающие коррозионную стойкость за счет рационального выбора стали, концентрации материала в сечениях, сопротивления внутренним факторам коррозии (местной, питтинговой, контактной, щелевой коррозии, коррозионному растрескиванию, коррозионной усталости и т. п.). Вторичная защита обеспечивает долговечность конструкций на основе правильного выбора защитных противокоррозионных покрытий. Расчет на коррозионную стойкость, долговечность и ремонтпригодность стальных конструкций связан с учетом показателей качества мер первичной и вторичной защиты на основе признаков предельных состояний первой и второй группы.

Предлагаемый порядок расчета стальных конструкций на коррозионные воздействия основывается на следующих условиях безопасности [1, с. 81]:

Учет опасности коррозионного разрушения выполняется на основе критериев вероятностных методов I уровня при раздельном рассмотрении нагрузок, воздействий и несущей способности.

Расчет на коррозионную стойкость производится по I и II группам предельных состояний, связанным с потерей несущей способности и ограничениями чрезмерных деформаций. Расчет показателей долговечности устанавливает критерии, появление которых затрудняет нормальную эксплуатацию конструкций в агрессивных средах.

Анализ показателей коррозионной стойкости и долговечности строительных металлоконструкций выполняется на основе изучения причинно-следственных связей внешних и внутренних факторов.

Изменчивость воздействий учитывается путем определения наиболее неблагоприятного сочетания экстремальных значений факторов агрессивной среды. Состав и интенсивность агрессивных воздействий устанавливается по данным строительной климатологии, нормативным параметрам коррозионной агрессивности атмосферы, результатам статистической оценки эксплуатационных воздействий рабочих сред.

Случайный характер показателей коррозионной стойкости, связанный с природой металлургических факторов, рассматривается для строительных сталей на основе нормального распределения, обеспечивающего точность оценки параметров процессов износа и старения.

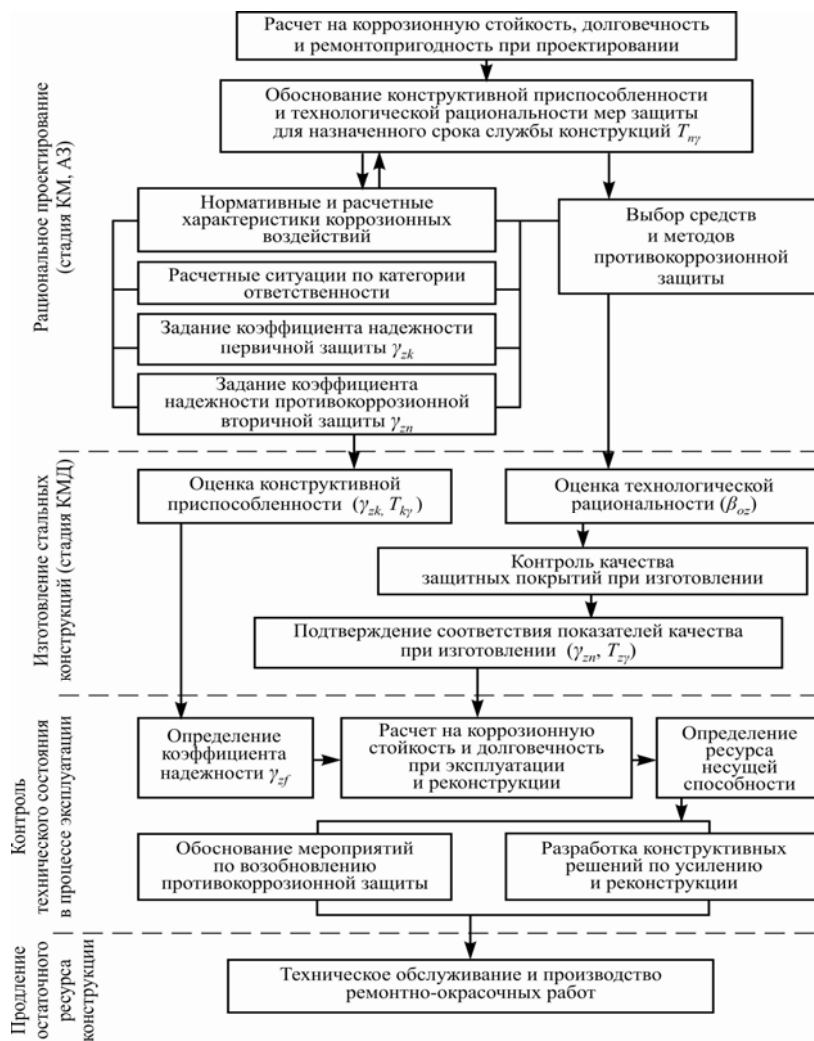


Рис.1.1. Схема процессного подхода к выбору мер первичной и вторичной защиты стальных конструкций от коррозии.

КМ - конструкции металлические
КМД - конструкции металлические детализованные
АЗ - антикоррозионная защита

Рассматривается работа материала стальных конструкций на действие статических нагрузок, без учета природы мало- и многоциклового коррозионной усталости.

Оценка показателей коррозионной стойкости и долговечности выполняется для однородных конструктивных элементов в пределах

однородных по составу и интенсивности воздействий зон эксплуатации промышленных и гражданских объектов.

Установленные условия безопасности обеспечивают возможность нормирования коэффициента надежности первичной защиты γ_{zk} и вторичной защиты γ_{zn} от коррозии для расчета строительных металлоконструкций на коррозионную стойкость и долговечность на стадии проектирования.

Коэффициенты надежности противокоррозионной защиты (γ_{zk} , γ_{zn}) устанавливаются возможные отклонения прочностных, деформационных, эксплуатационных характеристик конструктивных элементов, определенные для типовой модели эксплуатации объекта и заданного срока службы (T_{ny} , год). Требования к показателям долговечности первичной и вторичной защиты стальных конструкций допускается устанавливать в зависимости от срока эксплуатации T_{ny} .

Оценка уровня коррозионной опасности. Обоснование эффективности проектных решений защиты от коррозии производится по разработанной методике с учетом коэффициента готовности стальных конструкций (K_g).

Область применения материалов и рациональность их выбора зависит от назначения конструкций зданий и сооружений. В зависимости от последствий, вызванных воздействием агрессивных сред, установлены четыре категории ответственности стальных конструкций и их защитных покрытий:

S1 – категория ответственности, не допускающая появление очагов коррозионных поражений для первичной защиты и признаков нарушения декоративных и защитных свойств вторичной защиты.

S2 – категория ответственности, не допускающая появление очагов коррозионных поражений для первичной защиты и характеризующаяся снижением декоративных и защитных свойств вторичной защиты.

S3 – категория ответственности, допускающая появление очагов коррозионных поражений для первичной защиты в результате повреждения вторичной защиты.

S4 – категория ответственности, допускающая снижение показателей эффективности первичной защиты.

Подтверждение соответствия класса материала средств первичной и вторичной защиты категориям ответственности стальных конструкций и их защитных покрытий производится в соответствии с требованиями табл. 1.

Таблиця 1

Класс материала средств первичной и вторичной защиты	Категория ответственности конструкций и их защитных покрытий	Коэффициенты надежности	
		Первичной защиты, γ_{zk}	Вторичной защиты, γ_{zn}
I	C3, C4	0,95	0,8
II	C3	0,99	0,9
III	C2	-	0,95
IV	C1	-	0,99

Задача определения коэффициента готовности при воздействиях агрессивных сред (A_n , г/м²год) сформулирована как расчет стальных конструкций по предельным состояниям на коррозионную стойкость и долговечность по результатам ускоренных коррозионных испытаний защитных покрытий.

Коэффициент готовности стальных конструкций (K_g) является комплексным показателем ремонтпригодности, характеризующим параметры конструктивных и технологических мер первичной и вторичной защиты:

$$K_g = \frac{T_{k\gamma} + T_{z\gamma}}{T_{k\gamma} + nT_{z\gamma}}; \quad (1)$$

где $T_{k\gamma}$ – срок службы (год) стальных конструкций по показателю коррозионной стойкости (первичная защита);

$T_{z\gamma}$ – расчетный срок службы (год) защитных покрытий с доверительной вероятностью $\gamma=0,95$ по результатам ускоренных испытаний; n – количество ремонтных циклов возобновления противокоррозионной защиты при установленном сроке службы объекта.

По экспериментальным данным ускоренных коррозионных испытаний выполняется оценка коэффициентов надежности первичной защиты (γ_{zk}), вторичной защиты от коррозии (γ_{zn}) и устанавливается контрольный норматив отказа системы защитного покрытия. Аналитическая оценка временных характеристик табличной модели для заданного срока службы конструкций ($T_{n\gamma}$), сроков службы первичной ($T_{k\gamma}$) и вторичной защиты ($T_{z\gamma}$) выполняется с учетом расчетного сопротивления коррозионному воздействию конструктивного элемента (A_k , г/м² год) и критических значений коррозионных потерь (Ω_{St} , г/м²) [2].

Результаты контроля показателей качества используются для формирования спецификации материалов элементов конструкций по коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности.

Классификационные признаки уровней коррозионной опасности объектов КІ – КV представлены в табл. 2.

Таблица 2

Классификационные признаки уровня коррозионной опасности конструкций, зданий и сооружений¹⁾

Степень агрессивности воздействий, K , мм/год	Интервальные оценки коэффициента готовности противокоррозионной защиты, K_g				
	$0 < K_g \leq 0,1$	$0,1 < K_g \leq 0,3$	$0,3 < K_g \leq 0,5$	$0,5 < K_g \leq 0,7$	$0,7 < K_g \leq 1,0$
Слабоагрессивная, $0,01 < K \leq 0,05$	КІ	*	*	*	*
Низкоагрессивная, $0,05 < K \leq 0,15$	КІІ	КІ	*	*	*
Среднеагрессивная, $0,15 < K \leq 0,30$	КІІІ	КІІ	КІ	*	*
Высокоагрессивная, $0,30 < K \leq 0,50$	КІV	КІІІ	КІІ	КІ	*
Сильноагрессивная, $K > 0,50$	КV	КІV	КІІІ	КІІ	КІ

Примечание. Знак * обозначает, что для установленных интервальных значений признаков (K , K_g) уровень коррозионной опасности не нормируется.

Выводы. Разработанный методический подход обеспечивает задание требований к качеству противокоррозионной защиты и надежности стальных конструкций с учетом классификации уровней КІ–КV коррозионной опасности строительных объектов.

Использование критерия коррозионной опасности позволяет производить выбор мер первичной и вторичной защиты на стадии проектирования с учетом требований технологической рациональности противокоррозионной защиты при изготовлении и техническом обслуживании в процессе эксплуатации.

Таким образом, создаются условия для технического регулирования и подтверждения соответствия показателей коррозионной стойкости, долговечности, ремонтпригодности конструкций и их защитных покрытий на основе критических функций безопасности на всех стадиях жизненного цикла строительных объектов.

Литература.

- [1] Gorokhov E. V. Durability of Steel Structures under Reconstruction / E. V. Gorokhov, V. P. Korolyov. – Rotterdam, Brookfield : Balkema, 1999. – 306 p. – ISBN 90 5410 731 6.
- [2] Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений / [Шимановский А. В., Гордеев В. Н., Королёв В. П., Оглобля А. И. и др.]. – К. : Изд-во “Сталь”, 2008. – 463 с.

УДК 625.855.3:681.32

Расчетно-экспериментальный метод определения морозостойкости бетона на заполнителе из золошлаковой смеси ТЭС

Попов С.В., к.т.н., Брагинский В.Г., Куликова Т.Н.

ДП «Донецкий ПромстройНИИпроект», Украина

Аннотация. В Донецком Промстройниипроекте на основе экспериментальных данных установлена зависимость морозостойкости бетона на заполнителе из золошлаковой смеси от критерия морозостойкости и разработан расчетно-экспериментальный метод определения морозостойкости бетона, использующий указанную зависимость.

Анотація. У Донецькому Промбудндіпроекті на основі експериментальних даних визначено залежність морозостійкості бетону на заповнювачі із золошлакової суміші від критерію морозостійкості та розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення морозостійкості бетону, що використовує зазначену залежність.

Abstract. In Donpromstroyniiproekt on the basis of the executed researches dependence of frost resistance of concrete on a filler made of ashes-slag mixes from criterion of frost resistance is established and the settlement-experimental method of definition of frost resistance of the concrete, using the specified dependence is developed.

Ключевые слова: золошлаковая смесь ЗШС, морозостойкость бетона, минеральные топливные отходы, расчетно-экспериментальный метод определения морозостойкости бетона.

Численно критерий морозостойкости – отношение суммы относительных объемов цементного теста и условно замкнутых пор, образуемых в бетоне при введении воздухововлекающих или газообразующих добавок, к относительному объему открытых капилляров.

Критерий морозостойкости бетона определяется по формуле:

$$M = (C + V_{\text{возд}}) / V_{\text{о.к.}},$$

где C – относительный объем цементного теста в бетоне (в долях объема);

$V_{\text{возд}}$ – относительный объем условно замкнутых пор, образуемых при введении воздухововлекающих или газообразующих добавок;

$V_{\text{о.к.}}$ – относительный объем открытых капилляров, заполняемых водой в обычных условиях.

Относительный объем цементного теста в бетоне равен:

$$C = \frac{W}{1000} (1/\rho_{ц} + V/\rho_{ист}).$$

Для определения истинного водоцементного отношения из общего количества воды затворения вычитается вода, поглощаемая золошлаковой смесью в бетоне.

Относительный объем условно замкнутых пор определяется по разности объемных масс бетонных смесей без добавки и с поризующей добавкой:

$$V_{возд} = (Y_{б} - Y_{б.возд.}) / Y_{б}.$$

Относительный объем открытых капилляров определяется по водопоглощению бетона и равен:

$$V_{о.к.} = W_{м.б.}/100 \cdot Y_{б.с.}/1000.$$

Зависимость морозостойкости бетона на заполнителе из золошлаковой смеси ТЭС от критерия морозостойкости для всех составов, применявшихся в исследованиях, приведена на рис. 1.

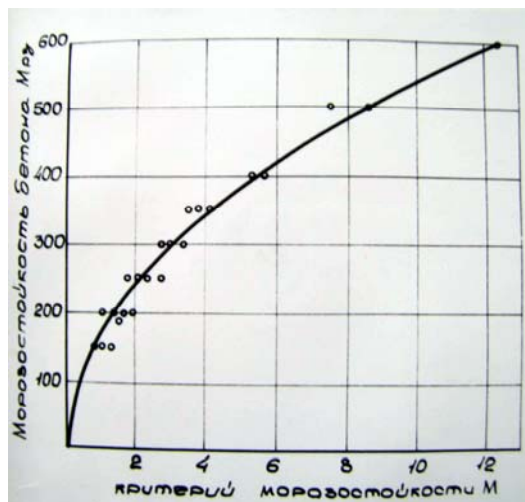


Рис.1. Зависимость морозостойкости бетона с заполнителем из ЗШС ТЭС от критерия морозостойкости

Эта зависимость выражается аналитической формулой:

$$M_{рз} = f(M) = 170 \sqrt{(C + V_{аша}) / V_{i.e}}$$

Предложенный расчетно-экспериментальный метод позволяет прогнозировать морозостойкость бетона с заполнителем из ЗШС ТЭС и оперативно, в процессе производства, контролировать соответствие его

требуемой марке по морозостойкости, что значительно сократит объем длительных стандартных испытаний.

Пример расчета морозостойкости бетона на ЗШС.

Исходные данные:

Расход портландцемента	$\rho_c = 363 \text{ кг/м}^3$;
Расход ЗШС Углегорской ТЭС	$= 1662 \text{ кг/м}^3$;
Расход воды	$V = 218 \text{ л/м}^3$;
Плотность портландцемента	$\rho_c = 3,1 \text{ кг/л}$;
Водопоглощение ЗШС в бетоне	$W_m = 7,8\%$;
Водоцементное отношение общее	$V/\rho_c = 0,60$;
Водоцементное отношение истинное	$V/\rho_{ист} = 0,239$;
Водопоглощение бетона	$W_{м.б.} = 5,7\%$;
Плотность сухого бетона	$\gamma_{б.с} = 2160 \text{ кг/м}^3$;

а) определяем относительный объем цементного теста:

$$C = \rho_c / 1000 (1/\rho_c + V/\rho_{ист}) = 363 / 1000 (1/3,1 + 0,239) = 0,204;$$

б) поризуемая добавка не вводилась: $V_{возд} = 0$;

в) определяем относительный объем открытых капилляров:

$$V_{о.к.} = W_{м.б.} / 100 \cdot \gamma_{б.с.} / 1000 = 5,7 / 100 \cdot 2160 / 1000 = 0,123;$$

г) вычисляем значение критерия морозостойкости:

$$M = (C + V_{возд}) / V_{о.к.} = 0,204 + 0 / 0,123 = 1,66;$$

д) расчетную морозостойкость бетона определяем по графику или по формуле:

$$M_{рз} = 170 \sqrt{(C + V_{аіçä}) / V_{і.е}} = 170 \sqrt{M} = 170 \sqrt{1,66} = 219$$

Действительная морозостойкость приведенного в расчете состава бетона, установленная опытным путем, была равна $M_{рз} 200$.

Расчетная морозостойкость близка к действительной.

Полученные зависимости позволяют прогнозировать показатели морозостойкости бетонов на ЗШС ТЭС.

Выводы. Следует продолжить исследования с целью их уточнения с учетом особенностей влияния технологических факторов и способов повышения морозостойкости бетона.

Литература

- [1] Братчун В. И. Мелкозернистые золошлакобетоны со специальными свойствами / В.И. Братчун, С.В. Попов, М.В. Деркач, С.М. Толчин // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. – Одесса : Город мастеров, 2003. – Вып.12. – С. 52–58.
- [2] Попов С. В. Дрібнозернисті щільні бетони зі спеціальними властивостями на заповнювачах із кам'яновугільних і антрацитових золошлакових матеріалів ТЕС Донбасу : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. В. Попов – Макіївка: ДДАБА, 2003. – 20 с.
- [3] Эффективность использования промышленных отходов в строительстве / Под ред. Я. А. Рекитара. – М. : Стройиздат, 1975. – 181 с.
- [4] Использование вторичных ресурсов: экономические аспекты : пер. с англ. / Под ред. Давида У. Пирса и Инго Уолтера. – М. : Экономика, 1981. – 288 с.
- [5] Ласкорин Б. Н. Безотходная технология в промышленности / Б. Н. Ласкорин, Б. В. Громов, А. П. Цыганков, В. Н. Сенин. – М. : Стройиздат, 1986. – 160 с.

УДК 624.014

Компонування моносиметричних перерізів двотаврових елементів із поперечно-гофрованими стінками рамних систем

Нілова Т.О.

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Анотація. У статті розглядаються питання проектування раціональних одноповерхових рамних систем із двотаврових елементів із поперечно-гофрованими стінками. Доведено, що для підвищення ефективності поперечно-гофрованих елементів слід використовувати моносиметричні перерізи. Наведена методика розрахунку моносиметричних перерізів мінімальної площі залежно від сполучень діючих зусиль.

Анотация. В статье рассматриваются вопросы проектирования рациональных одноэтажных рамных систем из двотавровых элементов с поперечно-гофрированными стенками. Показано, что для повышения эффективности поперечно-гофрированных элементов следует использовать моносимметричные сечения. Приводится методика расчета моносимметричных сечений минимальной площади в зависимости от сочетаний действующих усилий.

Abstract. In the article the problems are considered concerning design of rational one-storey frame structures of double-T sections with cross-corrugated webs. It is shown that for efficiency increase of cross-corrugated elements the singly-symmetric section should be used. The design procedure for singly-symmetric section with the minimum area is given depending on the combinations of effective forces.

Ключові слова: рамні системи, балки з поперечно-гофрованими стінками, компонування моносиметричних перерізів, коефіцієнт асиметрії перерізів.

В однопрольотних рамних каркасах найбільшого поширення знайшли конструктивні схеми з шарнірним поєднанням колон із фундаментами й жорстким – із ригелями та схеми з жорстким поєднанням з фундаментами і шарнірним – із ригелями (рис. 1). Однією з характерних особливостей цих схем, що суттєво впливає на розподіл внутрішніх зусиль (в першу чергу моментів), є величина розпору, що діє в рівні спирання на фундамент. Якщо для рам першого типу (рис. 1, а, б) величина розпору залежить від геометричних розмірів рами та співвідношення жорсткостей елементів, то в рамах другого типу (рис. 1в) розпір є мінімальним і залежить, у першу чергу, від висоти колон та горизонтального навантаження на них.

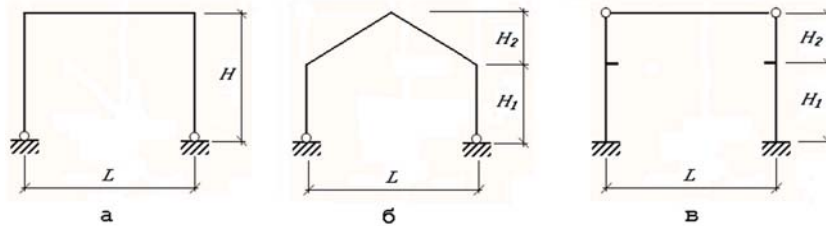


Рис.1. Схеми рам: а, б – з шарнірним спиранням на фундамент (тип I);
в – з жорстким (тип II)

У рамах першого типу знижується момент у середині прольоту ригеля на величину моменту в карнизному вузлі. При невеликій висоті колон (до 5...6 м) таке рішення дозволяє знизити витрати сталі на раму в цілому, проте при більшій висоті колон момент в їхньому верхньому перерізі суттєво збільшується, а тому збільшуються й витрати сталі на колони. Крім того, при слабких ґрунтах можуть зрости витрати на фундаменти, які мають сприймати, крім вертикальних навантажень, ще й горизонтальні зусилля від розпору.

При жорсткому сполученні колон із фундаментами (рами другого типу) згинальні моменти в колонах виявляються значно меншими в порівнянні з рамами типу I, проте збільшується момент у ригелі. Повздовжні сили в колонах в обох випадках залишаються практично незмінними.

Ефективність перерізів елементів із поперечно-гофрованими стінками значною мірою залежить від розрахункових зусиль M і N . Тому задача вибору ефективної конструктивної схеми повинна вирішуватися в кожному конкретному випадку шляхом порівняння витрат сталі або вартості конструкції.

Необхідно відзначити також той факт, що розрахункові довжини елементів $l_{ef} = \mu l$ при розрахунку на загальну стійкість в площині рами в рамах другого типу будуть значно меншими, ніж у рамах першого типу (рис. 1).

При розрахунку позациентрово-стиснутих елементів із гофрованими стінками перевірку на загальну стійкість необхідно виконувати в площині згинання і поза площиною згинання елемента. За прийнятою на сьогодні практикою проектування найчастіше використовуються симетричні перерізи елементів, в яких площі поясів однакові [4]. Проте, враховуючи той факт, що при одночасній дії M і N зусилля у поясах будуть різними, то різними мають бути і площі перерізів поясів.

У даній роботі показано, що для зменшення витрат сталі, як правило, необхідно використовувати моносиметричні перерізи.

Розглянемо загальні принципи компоновання і розрахунку моносиметричних перерізів елементів із поперечно-гофрованими стінками.

Введемо параметр, що характеризує співвідношення площин поясів моносиметричного двотавра $\eta = A_2/A_1 \leq 1$, де A_1 – площа перерізу найбільш стиснутого поясу, A_2 – протилежного йому.

Положення центра ваги перерізу можна записати через коефіцієнт асиметрії перерізу $\zeta = h_1/h_0$ (рис. 2):

$$h_1 = \zeta h_0; \quad h_2 = (1 - \zeta)h_0, \quad (1)$$

де h_0 – відстань між центрами ваги поясів.

Між η і ζ існують залежності:

$$\eta = \frac{h_1}{h_2} = \frac{\zeta}{1 - \zeta}; \quad \zeta = \frac{\eta}{1 + \eta}. \quad (2)$$

Для симетричного перерізу $\eta = 1$, а $\zeta = 0,5$.

Приймаючи, як завжди, що в елементах із тонкими поперечно-гофрованими стінками згинальні моменти сприймаються тільки поясами, а поперечні сили – стінкою, і використовуючи залежності (1) і (2), можна записати всі необхідні залежності для розрахунку моносиметричних гофрованих перерізів:

повна перерізу	площа	$A = A_1/(1 - \zeta) = A_2/\zeta;$	
момент перерізу	інерції	$I_x = A h_0^2 \zeta (1 - \zeta) = A_1 h_0^2 \zeta = A_2 h_0^2 (1 - \zeta);$	
радіус перерізу	інерції	$i_x = \sqrt{I/A} = h_0 \sqrt{\zeta(1 - \zeta)};$	(3)
моменти поясів:	опору	$W_1 = A h_0 (1 - \zeta) = A_1 h_0,$	

$$W_2 = Ah_0\zeta = A_{f1}h_0 \frac{\zeta}{1-\zeta} = A_{f2}\zeta.$$

Формули (3) дозволяють записати відносні ексцентриситети для найбільш стиснутого поясу 1 і протилежного йому 2 у вигляді:

$$m_1 = \frac{M}{N} \frac{A}{W_1} = \frac{M}{N h_0 (1-\zeta)}, \quad m_2 = \frac{M}{N} \frac{A}{W_2} = \frac{M}{N h_0 \zeta}. \quad (4)$$

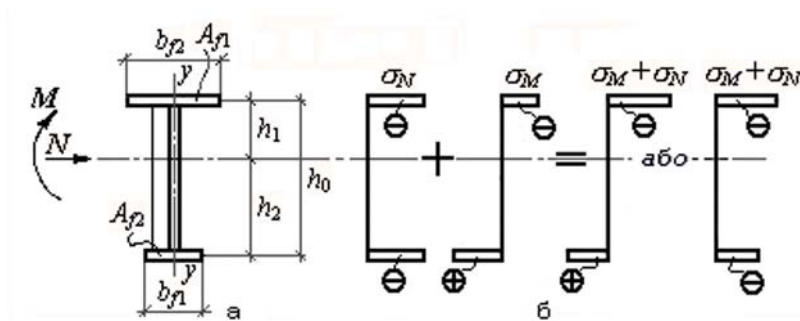


Рис.2. До розрахунку моносиметричних перерізів: а – схема перерізу; б – епюри нормальних напружень

Дослідимо вплив коефіцієнта асиметрії ζ на геометричні характеристики моносиметричного перерізу в порівнянні з симетричним, а відтоді і на витрати сталі. Для цього розглянемо коефіцієнти, що характеризують відношення геометричних характеристик моносиметричного перерізу до симетричного:

- коефіцієнт жорсткості $k_I = I_x^M / I_x^C = 4\zeta(1-\zeta) \leq 1$;

- коефіцієнти моменту опору для полиць 1 і 2

$$k_{w1} = \frac{W_1^M}{W^C} = 2(1-\zeta) \geq 1, \quad k_{w2} = \frac{W_2^M}{W^C} = 2\zeta \leq 1;$$

- коефіцієнти відносних ексцентриситетів

$$k_{m1} = \frac{m_1^M}{m_1^C} = \frac{0,5}{1-\zeta}, \quad k_{m2} = \frac{m_2^M}{m_2^C} = \frac{0,5}{\zeta};$$

- коефіцієнт радіусу інерції $k_i = \frac{i^M}{i_C} = 2\sqrt{\zeta(1-\zeta)}$.

Згідно з ДБН В.2.6-163:2010 [1] приймаємо, що в моносиметричних перерізах мінімальне значення коефіцієнта $\eta = A_2/A_1 = 0,5$, при цьому $\zeta_{min} = 0,334$. Результати визначення вказаних коефіцієнтів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

ζ	η	k_I	k_{m1}	k_{m2}	k_i	k_{w1}	k_{w2}
1,0	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,45	0,82	0,99	0,91	1,11	0,99	1,10	0,90
0,40	0,67	0,96	0,83	1,25	0,98	1,20	0,80
0,35	0,54	0,91	0,77	1,43	0,95	1,30	0,70
0,334	0,5	0,88	0,75	1,50	0,94	1,33	0,67

Як видно з таблиці, зі зменшенням коефіцієнта асиметрії ζ зменшується відносний ексцентриситет найбільш стиснутої полиці m_1 і радіус інерції перерізу i , проте значення m_1 зменшується значно швидше в порівнянні з радіусом інерції i .

Таким чином, гнучкість елемента $\lambda = l_{ef}/i$ змінюється не суттєво. Тому при розрахунку на загальну стійкість у площині згинання позациентрованих елементів використання моносиметричних перерізів завжди призводить до зменшення площі перерізу полиць A в порівнянні з симетричним перерізом. При цьому збільшується зусилля як у найбільш стиснутої полиці, так і у протилежній:

$$\begin{aligned} N_{f1} &= -N(1-\zeta)(1+m_1), \\ N_{f2} &= -N\zeta(1-m_2). \end{aligned} \tag{5}$$

Якщо $m_2 > 1$, то зусилля N_2 буде розтягуючим.

В моносиметричних перерізах збільшується площа перерізу A_1 найбільш стиснутої гілки, що відіграє позитивну роль.

Розрахунок елементів із поперечно-гофрованою стінкою на загальну стійкість при випинанні поза площиною згинання зводиться до перевірки кожної гілки як центрально-стиснутого силою N_f стрижня.

З теоритичної точки зору, критерієм ефективності перерізу елемента може слугувати його рівнотійкість при втраті стійкості в площині і поза площиною згинання.

Розрахункова довжина елемента в площині згинання в рамках першого типу залежить від геометричних розмірів і співвідношення жорсткостей елементів, у рамках другого типу розрахункова довжина стояків є незмінною і становить $l_{ef} = 2H$.

Розрахункова довжина гілки відносно осі $y-y$ залежить від умов закріплення по кінцях елемента, а також наявності конструктивних елементів (прогонів покриття і стінового фахверку, розпірок) що спираються на стиснуту гілку і унеможливають її горизонтальне переміщення. Проте внутрішня гілка елемента не має конструктивного розкріплення по довжині, і її розрахункова довжина може змінюватися постановкою додаткових розпірок, а в колонах ще й вибором конструкції бази колони.

Якщо верхній і нижній кінці гілки колони можуть вільно повертатися (шарнірне закріплення), то її розрахункова довжина дорівнює висоті колони. Проте існують дослідження [2], які свідчать, що нижній кінець колони завжди частково защемлений фундаментною плитою, і тому розрахункову довжину колони й гілки при випинанні поза площиною згинання можна приймати $l_{ef,y} = 0,8l$.

Для рам першого типу (рис. 1) пропонується розроблений вузол балансірного типу, який забезпечує вільний кут повороту колони в площині рами і защемлення поза площиною рами (рис. 3). При цьому розрахункову довжину гілки $l_{ef,y}$ можна прийняти такою, що дорівнює $0,7l$.

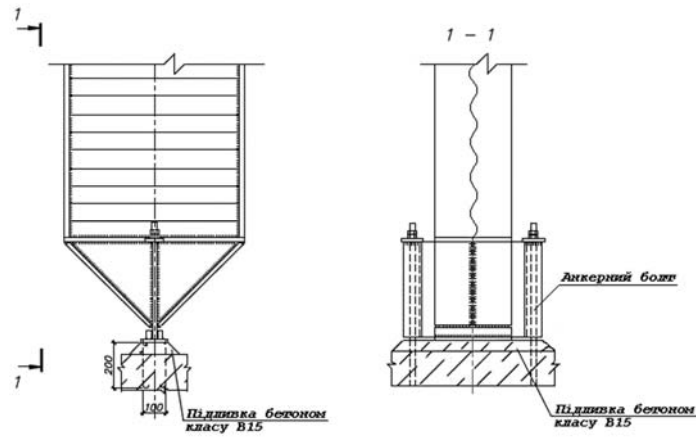


Рис.3. Балансирний вузол спірання колони на фундамент

Для визначення мінімально необхідної площі перерізу стиснутого поясу за розрахунковим зусиллям N_f при відомій розрахунковій довжині $l_{ef,y}$ доцільно скористатися методом прямого підбору перерізів центрально-стиснутих елементів [3].

Аналіз таблиці 1 показує, що у випадку одного розрахункового сполучення (момент одного знаку) максимальне зниження витрат сталі забезпечується при мінімальному значенні коефіцієнта асиметрії $\zeta=0,334$. Якщо при розрахунку елемента необхідно враховувати два розрахункових сполучення (тобто два моменти M_1 і M_2 різних знаків при однаковій стискуючій силі N), то значення коефіцієнта асиметрії слід приймати за формулою:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{(1-\zeta)}{\zeta} = \frac{1}{\eta}. \quad (6)$$

Висновки. Визначені за вказаною методикою площі полиць є теоритично необхідними, а тому мінімальними. На практиці геометричні розміри полиць повинні призначатися відповідно до сортаменту листової сталі таким чином, щоб їх площа мінімально відрізнялася від теоритичної. Ширину полиць доцільно призначати такою, щоб розкроювання листів здійснювалося без відходів.

Література

- [1] ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будинків і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу : проект.
- [2] Катюшин В. В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчёт, проектирование, строительство) / В. В Катюшин. – М. : Издательство «Стройиздат», 2005. – 656 с.
- [3] Нілова Т. О. Розрахунок і компонування перерізів стиснутих сталевих елементів з поперечно-гофрованими стінками / Т. О. Нілова, С. І. Білик, Л. І. Лавриненко // Современные строительные конструкции из металла и древесины / Сборник научных трудов. – Одесса, 2011. – №15. – Часть 2.
- [4] АО «Металлист - СМК». Рекомендации по проектированию (для внутреннего пользования). Балки двутавровые гофрированные облегченные (гофро-балки). ТУ У В.2.6.-28.1-30653953-007:2007. IV редакция. 2008.

УДК 624.011.78:629.5.018.4

Статические испытания опорных элементов для защиты от вибрации стальных конструкций

Селютин Ю.В., Стрелкова А.Ю.

ДонЦТБ ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского», Украина

Аннотация. Выполнено теоретическое и экспериментальное обоснование применения полимерных (композитных) материалов для разработки проектных решений по защите конструкций от действия технологической вибрации.

Анотація. Виконано теоретичні та експериментальні обґрунтування використання полімерних (композитних) матеріалів для розробки проектних рішень щодо захисту конструкцій від впливу технологічної вібрації.

Summary. Theoretical and experimental basis of application for design solutions of polymer (composite) materials to protect structures under technological vibrations is performed.

Ключевые слова: средства виброзащиты, композиционные материалы, полиуретановые образцы, статические испытания, модуль упругости опорных элементов.

Актуальность проблемы. Производственное оборудование, вызывающее периодические динамические или ударные (импульсные) нагрузки, является источником технологической вибрации. В соответствии с классификацией, установленной в ГОСТ 26568-85*, проектирование виброизоляции и конструктивных элементов для динамического виброгашения производится по рекомендациям ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко [3, 5].

Проблема обеспечения надежности строительных конструкций при действии динамических нагрузок связана с совершенствованием принципов формообразования, включающих использование материалов с заданными свойствами. Среди средств виброизоляции, вибродемпфирования и динамического виброгашения наибольшее распространение получают проектные решения с использованием композиционных материалов. За последнее десятилетие в строительной индустрии наметилась тенденция увеличения объемов использования конструкционных пластиков, которые находят широкое применение в промышленном, транспортном и гражданском строительстве.

Широкие возможности задания требуемых свойств полимерных материалов и композитов на их основе позволяют решать вопросы

разработки средств виброзащиты для обеспечения качества, надежности и долговечности конструкций зданий и сооружений.

Целью данной статьи является сравнительный анализ эффективности опорных элементов конструкций, выполненных с использованием композитных материалов, на основе статических испытаний.

Особенности деформирования и разрушения полимерных материалов требуют разработки инженерных методов расчета, основанных на неклассических подходах к определению характеристик сопротивления материалов. В соответствии с современными представлениями работа под нагрузкой полимерного или полимерного композитного материала может быть представлена структурной моделью изотропного или анизотропного линейного вязкоупругого тела [1]. По характеру изменения механических и физических свойств полимера выделяются следующие три фазовых состояния: стеклоподобное или кристаллическое, высокоэластичное, и вязкотекучее.

Композитный материал включает две или более фаз (компонентов). Матрица (связующее) придает необходимую форму, обеспечивает несущую способность и предохраняет материал наполнителя от механических и химических воздействий. Наполнитель используется в виде дисперсной фазы или армирующей структуры.

В строительстве получили распространение композиты с волокнистой структурой, в частности, армированные непрерывными волокнами. В качестве примера можно привести сталежелезобетонные конструкции с элементами стекловолоконного армирования. Применение конструктивных решений сталежелезобетонных конструкций с использованием стекло-, базальтопластиковой арматуры повышает трещиностойкость, коррозионностойкость и долговечность конструкций при агрессивных воздействиях в 1,5–1,7 раза [2].

Большой класс представляют композиты, армированные стеклотканью. Защитные покрытия для изоляции, ремонтного восстановления эксплуатационных свойств и противокоррозионной защиты стальных листовых конструкций на основе материалов «ТехноПласт» содержат полимерную основу и армирующие упрочняющие волокна [4].

При армировании слоистыми материалами композит получает структуру, обладающую трансверсальной анизотропией свойств. Слоистые полимерные композиты обладают повышенной жесткостью на изгиб и кручение. Указанные преимущества позволяют рассматривать слоистые композиционные материалы в качестве конструктивных элементов опорных конструкций.

Рассмотрим работу опорного конструктивного элемента в условиях всестороннего сжатия полимерного (композитного) материала в замкнутом пространстве. Для моделирования напряженно-деформированного состояния рассмотрены различные варианты компоновки конструктивных элементов опорной конструкции (табл. 1).



Рис.1. Образец опорной конструкции

Образцы опорной конструкции представляют собой стальной стакан диаметром $d_{\text{вн}} = 80$ мм и толщиной стенки $\delta_{\text{ст}} = 20$ мм, в который помещали слои полимерного (композитного) материала различной толщины. Полиуретановые образцы диаметром $d = 80$ мм изготавливались из материала Adiprene L167. Стальные образцы для образования слоистой структуры выполнены из стали ВСтЗкп2 диаметром $d_c = 80$ мм и толщиной $\delta_c = 15$ мм. Испытания проводились на установке МИ-40КУ путем ступенчатого приложения нагрузки (максимальная нагрузка $P = 40$ кН) с помощью стального плунжера (1).



Рис.2. Установка МИ-40КУ

Таблиця 1

Варианти компоновки конструктивных элементов опорной конструкции

Вариант опорной конструкции	Состав конструктивных элементов	Схема опорной конструкции
1	В стальном стакане (2) два полиуретановых образца (3) толщиной по 20 мм	
2	В стальном стакане (2) три (3) полиуретановых образца толщиной по 15 мм	
3	В стальном стакане (2) слоистая структура: 1-й и 3-й слои – сталь $\delta = 5$ мм (4), 2-й и 4-й – полиуретан $\delta = 20$ мм (3)	
4	В стальном стакане (2) слоистая структура: 1-й и 3-й слои – сталь $\delta = 5$ мм (4); 2-й и 4-й – полиуретан $\delta = 15$ мм (3)	

Диаграммы работы опорных конструкций для вариантов 1–4 представлены на рис. 1–4.

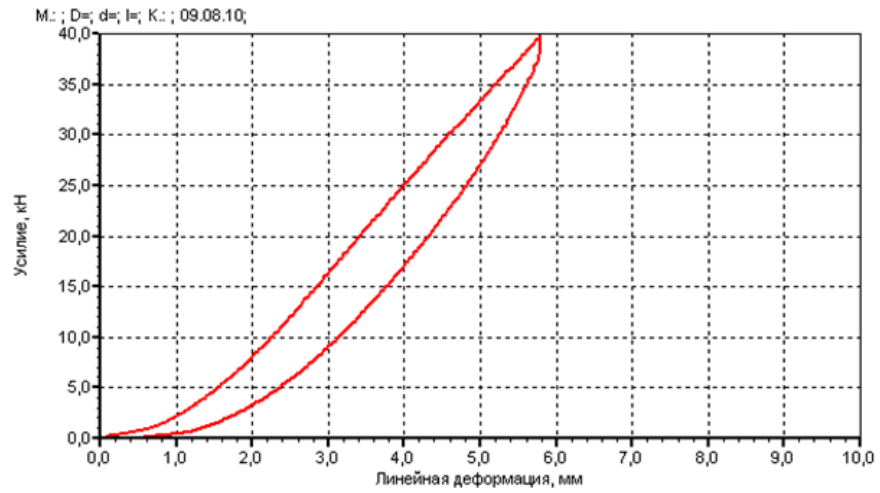


Рис.3. Диаграмма: усилие (P, кН) – линейная деформация (δ, мм) для опорного элемента (вариант 1)

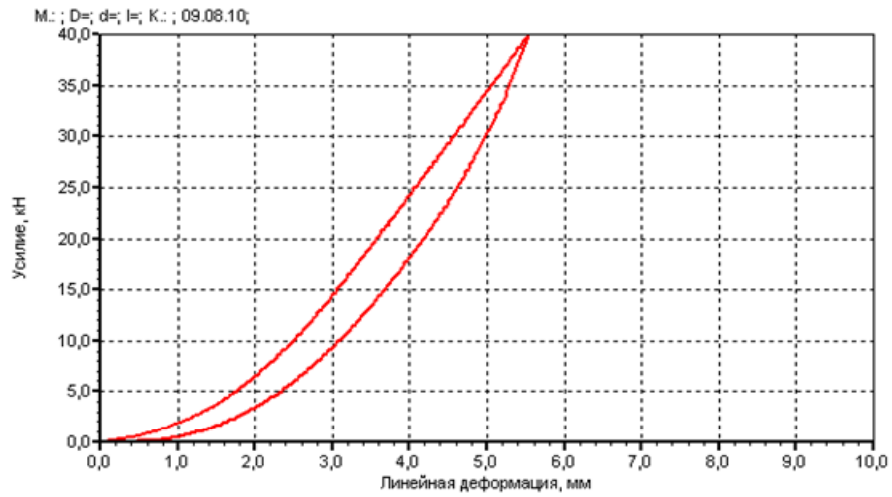


Рис.4. Диаграмма: усилие (P, кН) – линейная деформация (δ, мм) для опорного элемента (вариант 2)

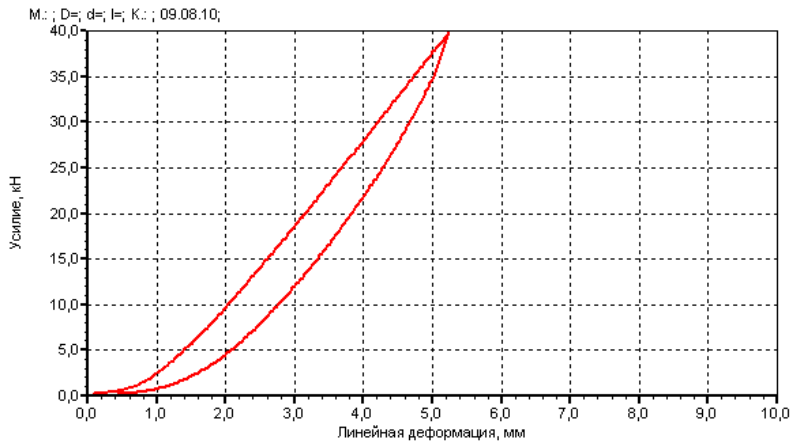


Рис.5. Диаграмма: усилие (P, кН) – линейная деформация (δ , мм) для опорного элемента (вариант 3)

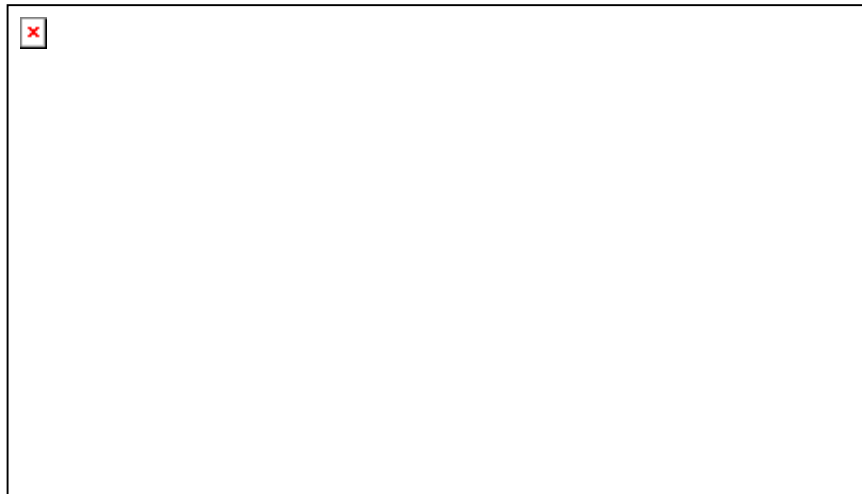


Рис.6. Диаграмма: усилие (P, кН) – линейная деформация (δ , мм) для опорного элемента (вариант 4)

По каждому графику проведены расчёты и определён модуль упругости для каждого вида опор.

Выводы. Результаты выполненных теоретических и экспериментальных работ позволяют выполнять статический расчет элементов опорных конструкций с применением полимерных (композитных) материалов для разработки проектных решений по защите конструкций и сооружений от действия технологической вибрации.

Литература

- [1]** Каминский А. А. Неклассические проблемы механики разрушения / А. А. Каминский, Д. А. Гаврилов. – К.: Наукова думка, 1993. – Т.3: Длительное разрушение полимерных и композитных материалов с трещинами. – С. 248.
- [2]** Селютин Ю. В. Довговічність бетонних конструкцій з елементами скло- і базальтопластикового армування / Ю. В. Селютин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Рівне: НУВГтаП, 2008. – Вип. 17. – С. 241–246.
- [3]** Каталог средств защиты от вибраций строительных конструкций прецизионного оборудования и приборов. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1977. – С. 39.
- [4]** Рекомендации по применению фотополимерных волоконно-армированных материалов «ТехноПласт» при ремонтно-восстановительных работах и защите от коррозии листовых металлоконструкций. – К.: УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского, 2006. – С. 48.
- [5]** Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования. – М. : Стройиздат, 1972. – С. 159.

УДК 624.014.012

Структура стандарта предприятия обеспечения технологической безопасности предприятия

¹Колесниченко С.В., к.т.н., ²Кулик А.А., к.т.н., ³Суярко В.А.

¹Донбасский центр технологической безопасности ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского», ²ЧАО «Макеевкокс», ³ПАО «Ясиновский коксохимический завод», Украина

Аннотация. В статье приводятся требования к стандарту и электронной базе данных предприятия по проблеме составляющей технологической безопасности – эксплуатации конструкций зданий и сооружений. Рассмотрена структура стандарта и базы данных, содержание основных разделов.

Анотація. У статті надано вимоги до стандарту та електронної бази даних підприємства щодо проблеми складової технологічної безпеки – експлуатації конструкцій будівель та споруд. Розглянуто структуру стандарту і бази даних, зміст основних розділів.

Summary. Demands for standard and database of enterprise for the problem as a component of technological safety – service operation of building structures is represented in the paper. The standard and database structure are considered, as well as its main content parts.

Ключевые слова: электронная база данных, стандарт, технологическая безопасность

Состояние проблемы и задачи исследования

В настоящее время в Украине действует значительное количество нормативных документов государственного уровня, регламентирующих составляющую технологической безопасности – эксплуатацию конструкций зданий и сооружений в условиях действующего предприятия. Сюда, прежде всего, следует отнести Постановления КМУ № 409 от 05.05.1997, № 1243 от 22.08.2004, № 1331 от 08.10.2004 и разработанные на их основе документы [5]. Существует также система отраслевых документов, регламентирующих правила безопасной эксплуатации зданий и сооружений, например, для предприятий горно-металлургического комплекса, состоящая из соответствующих «Правил...» и «Положений ...» [7–9].

Все эти нормативные документы требуют внедрения на каждом предприятии соответствующих стандартов и регламентов, в которых для конкретных производственных условий были бы закреплены полномочия

подразделений и служб в части надзора и контроля за нормальной эксплуатацией строительных конструкций.

Такие же требования определяются и стандартами ISO 9000 и 9001 «Система менеджмента качества», ISO 14000 «Система менеджмента окружающей среды» и ISO 18001 «Система управления профессиональной безопасностью и здоровьем». Причем система стандартов предприятия не должна подменяться разрабатываемыми в соответствии с требованиями стандартов ISO документированными процедурами, а наоборот, входит составной частью в систему этих документов. При этом не обязательно, чтобы такой документ носил название «Стандарт», он может называться и «Технический регламент» и «Руководство» и «Инструкция». Главное, чтобы его утверждение первыми руководителями предприятия, согласование и введение в действие осуществлялось в надлежащем порядке.

Структура стандарта предприятия

На основании имеющегося опыта разработки таких документов для предприятий коксохимических и металлургических производств Донецкой области нами предлагается следующая структура «Стандарта по обеспечению технологической безопасности при эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений» (в дальнейшем по тексту – Стандарт).

Первый раздел стандарта должен определять его основные цели и задачи. Здесь описываются процессы системы эксплуатационного состояния конструкций зданий и сооружений с учетом технологических особенностей предприятия, существующей отраслевой нормативно-технической базы, степени обеспечения ресурсами, управления, обслуживания и организации ремонтных работ. В этом же разделе должны приводиться все нормативные ссылки и основные положения процедуры оценки требований технологической безопасности. Особое внимание следует уделять номенклатуре зданий и сооружений, входящих в сферу распространения стандарта. В дальнейшем распределение обязанностей и полномочий служб будут назначаться именно исходя из этого.

Отдельным разделом должны быть представлены принципы обеспечения технологической безопасности при эксплуатации зданий и сооружений. Здесь подробно излагаются задачи менеджмента технологической безопасности (МТБ), последовательности решения задач, описание всех процедур, входящих в систему МТБ.

В этом разделе описываются основные требования к процедурам паспортизации, мониторинга, технического обслуживания и ремонтов

зданий и сооружений, описываются полномочия и процедуры взаимодействия производственной организации с организациями-подрядчиками, специализированными организациями, органами государственного контроля. Также в этом разделе дается характеристика режимов эксплуатации здания (от нормального до ликвидации), характеристики, описывающие каждое состояние, и процедуры принятия решений в системе МТБ.

Так, например, при описании процедуры паспортизации указываются виды паспортов, сроки и условия их создания, хранения и оформления, внесения изменений, полномочия собственных служб и полномочия сторонних специализированных предприятий в процессе всех этапов и процедур паспортизации.

Отдельной составной частью стандарта должна быть представлена организация управления предприятия по обеспечению технологической безопасности. Именно здесь закрепляются полномочия служб по эксплуатации зданий и сооружений из общего списка, определенного в первом разделе. При формировании служб, ответственных за безопасную эксплуатацию зданий и сооружений, должны быть изучены сложившиеся на предприятии структурные схемы, должностные полномочия, логические связи, схемы управления и условия технологических процессов. При этом основной проблемой является не столько формальное закрепление полномочий, сколько отслеживание того, чтобы это закрепление не шло вразрез с государственными и отраслевыми нормативными документами и действующими на предприятии приказами и распоряжениями.

Для успешного преодоления этой проблемы следующий раздел должен описывать правила проведения работ по обеспечению технологической безопасности. Данная часть стандарта должна включать разделы по содержанию конструкций зданий и сооружений, надзор за их техническим состоянием, правила проведения обследования, паспортизации и выполнения ремонтных работ. На основании действующих норм, прописывается процедура расследования причин аварий и обрушений конструкций зданий и сооружений.

Одной из важных задач стандарта является нормирование процедуры правильной классификации обнаруженных в процессе обследований и осмотров повреждений и дефектов.

Предлагаемая [6] классификация, на наш взгляд, является наиболее рациональной. Каждый дефект (повреждение) может быть отнесен к одной из трех категорий. Категория «В» – дефект (повреждение) малозначителен. Он обозначен, но не влияет на несущую способность или

перемещения конструкции. Категория «Б» – дефект (повреждение) значителен. Его размеры имеют четкое количественное описание, но еще не влияют на несущую способность или перемещения конструкции. Категория «А» – дефект (повреждение) критический. Его размеры влияют на несущую способность или перемещения конструкции. Категорирование дефектов (повреждений) является непростой задачей и для ее решения часто необходимо использовать расчетные процедуры. Для значительного количества повреждений категорирование осуществляется с помощью разработанных на основании [6] и являющихся обязательным дополнением к стандарту «Указаний по составлению ведомостей дефектов и повреждений при проведении осмотров и обследований строительных конструкций зданий и сооружений».

Наиболее рациональным шагом для дальнейшей систематизации повреждений и дефектов является использование информационных электронных баз данных хранения и обработки результатов обследований и осмотров [10, 11]. Учитывая развитие информационных технологий, стандарт должен регламентировать их возможное внедрение в общее информационное поле предприятия.

Являясь интегрированным документом, стандарт должен описывать структуру и правила заполнения действующих на предприятии документов и учетных журналов по контролю состояния технологической безопасности. Причем образцы этих документов должны быть представлены в приложениях к стандарту, а сама процедура документооборота регламентирована в соответствующей главе основного содержания.

Вместе с требованиями к документам в стандарте обязательно должен содержаться раздел, касающийся требований к персоналу, ответственному за безопасную эксплуатацию зданий и сооружений предприятия. Причем устанавливаются не только профессиональные требования, но и обязательное повышение квалификации, обучение, сдача экзаменов и получение соответствующих документов об образовании.

Отдельным разделом в стандарте должна быть представлена ответственность должностных лиц за обеспечение требований технологической безопасности.

В приложениях к основной части стандарта должны содержаться:

термины и определения;

список сокращений;

организационная структура службы технического надзора и службы надзора и эксплуатации зданий (сооружений);

формы и образцы журналов, ведомостей и актов;

указания по составлению ведомостей дефектов и повреждений при проведении осмотров и обследований строительных конструкций зданий и сооружений;

рекомендации по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений;

рекомендации по надзору и содержанию строительных конструкций зданий и сооружений.

Структура электронной базы данных

Безаварийная эксплуатация строительных конструкций возможна только на основе принятия решений при постоянном накоплении, систематизации и обработке информации об их состоянии, анализе развития повреждений во времени. Учитывая необходимость хранения и обработки большого количества информации, одним из вариантов решения проблемы может быть создание информационных систем, основанных на регистрационных методах – базах данных (БД) дефектов и повреждений конструкций. Блок-схема БД «Ресурс» представлена на рис. 1.

Основными разделами БД являются:

- паспортные данные о здании, сооружении, данные о генпроектировщике, сведения о предприятии;

- объемно-планировочные и конструктивные решения; вводятся данные об объемно-планировочных решениях, принятых конструкциях, оборудовании и условиях эксплуатации объекта;

- информация о существующих дефектах и повреждениях; для описанных конструкций вводятся данные обнаруженных при обследованиях и осмотрах дефектах и повреждениях; номенклатура дефектов и повреждений с их измеренными значениями принята по действующим нормативным документам [2, 3, 5]; при этом каждый дефект (повреждение) описан в соответствии с предложенной выше классификацией; категорирование дефектов (повреждений) является непростой задачей: с одной стороны, некоторые повреждения можно четко оценить на основании [5], критичность некоторых определяется расчетным путем, но ряд повреждений можно классифицировать только на основании опыта или соответствующих прогнозных моделей;

- анализ и принятие решений по ремонту (усилению); на основании данных по категориям дефектов (повреждений) можно подготовить отчеты (выборки) по соответствующей категории повреждения; отчет формируется на основании запроса соответствующего должностного лица как для отдельных зданий, так и для всех (группы) зданий; для обеспечения возможности принятия решения по ремонту для каждого повреждения формируется база вариантов усиления и ремонта.

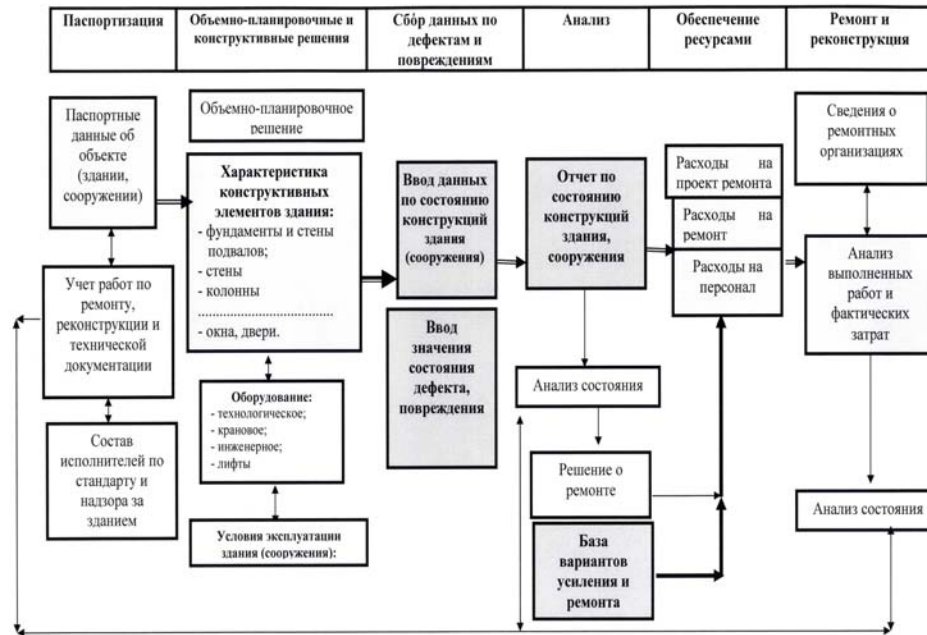


Рис. 1. Общая блок-схема базы данных «Ресурс»

Предлагается несколько принципиальных вариантов, из которых проектировщик может выбрать наиболее приемлемое решение и применить его для конкретной ситуации.

Справочная информация: сюда входят справочные данные по организациям – поставщикам продукции (металл, лакокрасочные материалы, сварочные и т. п.), проектировщикам, изготовителям, ремонтным предприятиям. Также содержится информация о категориях здания по ответственности, взрыво-пожароопасности, опасности технологических процессов.

Принципы построения базы данных таковы, что сведения об обнаруженных повреждениях, даже в случае их ремонта, сохраняются

постоянно, с указанием лица, принявшего решение о ремонте, дате ремонта и сведений о послеремонтном состоянии.

База данных реализована в сетевом исполнении и предполагает доступ к ней определенных должностных лиц. При реализации базы данных устанавливается система доступа с возможностью только просмотра (подготовки отчетов) и редактирования. Права редактирования БД (ввод информации, внесение корректировок, формирование библиотек и справочных данных) предоставляются отделом технического надзора.

Одним из преимуществ базы данных является возможность отслеживания развития характеристик повреждений во времени. В базе сохраняются все измеренные значения, в связи с чем предоставляется возможность прогнозирования перехода повреждения из одной категории в другую. Регистрация повреждений и дефектов конструкций позволяет производить анализ возможных отказов с разработкой соответствующих проектных решений по устранению неисправностей. Постоянный контроль изменения значений повреждений позволяет прогнозировать плановые осмотры конструкций цеховым персоналом, сосредоточив их внимание на наиболее проблемных местах.

На основании полученных результатов эксплуатации конструкции, в рамках программы обеспечения надежности (ПОН) возможно производить оценку ее остаточного ресурса и определять вероятность безотказной работы в заданном интервале для послеремонтного цикла (восстановленная конструкция) или продленный ресурс (для конструкций с закончившимся сроком эксплуатации).

Расчет вероятности безотказной работы позволит оптимизировать процессы технического освидетельствования (обслуживания) и восстановления конструкций, что, в свою очередь, является показателем ремонтпригодности объекта. В рамках ПОН рассчитываются сроки и режим контроля для восстановления, который (в зависимости от категории дефекта или повреждения) имеет четкие временные рамки и регистрируется в БД.

В случае внедрения на предприятии электронной базы данных принципы ее функционирования, редактирования и наполнения должны быть изложены в соответствующем разделе стандарта предприятия.

Выводы

Стандарт предприятия обеспечения технологической безопасности должен быть основным документом, регламентирующим взаимодействие всех служб предприятия при эксплуатации (содержании, надзоре и ремонте) строительных конструкций зданий и сооружений. Внедрение электронных

информационных баз данных позволяет систематизировать и прогнозировать такую работу.

Литература

- [1] Постанова КМУ № 409 від 5 травня 1997 р. «Щодо забезпечення надійної та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж».
- [2] Постанова КМУ № 1243 від 22 вересня 2004 р. «Порядок прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів».
- [3] Постанова КМУ № 1313 від 22 серпня 2000 р. «Про затвердження програми запобігання та реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру на 2000–2005 роки».
- [4] Постанова КМУ № 1331 від 8 жовтня 2004 р. "Про затвердження Державної науково-технічної програми "Ресурс".
- [5] Нормативные документы по вопросам обследования, паспортизации, безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений / Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, Госнадзорохрантруда Украины. – К., 1997.
- [6] ДБН 362-92. Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных зданий и сооружений.
- [7] Правила технической эксплуатации производственных зданий и сооружений предприятий горно-металлургического комплекса Украины / Утв. Минпромполитики Украины 12.11.2003. – 91 с.
- [8] Положение о службе технического надзора и ремонта производственных зданий и сооружений предприятий горно-металлургического комплекса / Минпромполитики Украины. – Днепропетровск, 2003. – 23 с.
- [9] Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий / Гипрококс, УХИН, Укркокс. – Харьков, 2001. – 309 с.
- [10] Шимановський О. В. Забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівельних металоконструкцій / О. В. Шимановський, В. М. Гордєєв, В. П. Корольов, О. І. Оглобля // Будівництво України. – 2004. – №2. – С. 15–18.
- [11] Шимановский А. В. Нормативное обеспечение безопасности зданий и сооружений при оценке остаточного ресурса металлоконструкций / А. В. Шимановский, В. Н. Гордеев, В. П. Королев, А. И. Оглобля, А. В. Перельмутер // Металлические конструкции. Взгляд в прошлое и будущее : сб. труд. VIII Укр. науч.-технич. конф. – К., 2004. – С. 417–428.

УДК 622.741

К вопросу обеспечения технологической и экологической безопасности агрегатов переработки жидких углеродистых масс

Топоров А.А., к.т.н., **Третьяков П.В.**, к.т.н., **Боровлев В.М.**, аспирант.

Донецкий национальный технический университет, Украина

Аннотация. В статье рассмотрены основные особенности работы пекококсовых печей, виды износа камер коксования пека, причины возникновения дефектов: механические воздействия, термические, гидравлические режимы обогрева камер. Определены возможные пути обеспечения технологической стабильности и экологической безопасности работы пекококсовых батарей.

Анотація. У статті розглянуто основні відмінності у роботі пекококсових печей, види зносу камер коксування пеку, загальні причини виникнення дефектів: механічні впливи, термічні, гідравлічні режими обігрівання камер. Визначено можливі шляхи забезпечення технологічної стабільності та екологічної безпеки роботи пекококсових батарей.

Abstract. In the article working conditions of the coke-pitch block equipment, kinds of their wearing, the main causes for defects caused by mechanical and thermal influences, hydraulic regime of chamber heating are considered. The possible methods to ensure technological stability and ecological safety of coke-pitch block are defined.

Ключевые слова: пекококсовая печь, дефект, ремонт.

Вступление. Основной задачей коксохимического производства является производство кокса из каменного угля для обеспечения работы горно-металлургического комплекса. Кроме кокса, в данном производстве получают ряд ценных побочных химических продуктов: коксовый газ, бензол и каменноугольную смолу [1]. Каменноугольная смола является исходным сырьем для производства каменноугольного пека и пекококса. Пек является важнейшим компонентом для производства анодной массы, графитированных электродов, различных углеродистых конструкционных материалов, выпускаемых предприятиями цветной металлургии (электродными и алюминиевыми заводами) [2].

По своему составу каменноугольная смола и пек, полученный из нее, являются сложной смесью углеводородов. Предполагают, что в каменноугольной смоле содержится около 10000, а в пеке – до 5000 различных соединений, состоящих в основном из 2–7 бензольных колец, соединенных одинарными связями или метиленовыми мостиками. Кроме ароматических соединений, методом инфракрасной спектроскопии в пеке обнаруживаются и алифатические соединения [3].

Одним из видов агрегатов, в которых выполняется термическая переработка пека, являются пекококсовые батареи, которые по принципу работы являются аналогом коксовых батарей, но имеют существенные отличия:

- 1) подача исходного материала (пека) осуществляется в жидком виде, при температуре 320 °С;
- 2) значительные нагрузки, которые воспринимают отопительные простенки при загрузке и выгрузке пекококса;
- 3) науглероживание на поверхности огнеупорной кладки отопительных простенков [4].

Одним из факторов, определяющих технологическую стабильность работы и экологическую безопасность всего агрегата, является уровень технического состояния огнеупорной кладки камер коксования, который снижается в результате накопления повреждений в процессе эксплуатации. К самым распространенным видам износа камер коксования пекококса относятся:

- 1) вертикальные трещины на крайних вертикалах и смещения кладки между ними;
- 2) заужения – деформирование стен камер на уровне верхних рядов кладки крайних вертикалов;
- 3) деформирование части простенка в сторону камеры коксования либо отопительного канала;
- 4) трещины и выдвигание кирпичей в центральной части камер, главным образом, под загрузочными люками;
- 5) "подрезы" – борозды на уровне первых двух рядов кладки от пода камеры;
- 6) раковины – коррозия динаса в зоне максимальных температур на 2–3 вертикалах коксовой стороны на 5–8 рядах от пода камеры;
- 7) отбитости и сколы кромок заплечиков со стороны армирующих броней;
- 8) трещины;
- 9) стертости и разрушения крайних сводовых и подовых кирпичей;
- 10) прогары в отопительных простенках.

Указанные выше дефекты, в зависимости от причин появления, можно разделить на 3 группы – дефекты, возникшие в результате:

механических воздействий;

термических ударов при глубоких теплосменах;

нарушений гидравлического и температурного режимов обогрева.

К механическим повреждениям относятся такие виды износа кладки камер коксования: "подрезы" у пода; стертости и разрушения от воздействия деформированной штанги коксовытальквателя; истирание коксом подов печей; провалы стен в головочной части камер; отбитости кромок головочных кирпичей; смещения и разрушения кладки под загрузочными люками; разрушения фасадов простенков. Наиболее опасными механическими повреждениями являются деформации стен – смещения и уклоны простенков в сторону камер; вогнутости и выпуклости, которые определяют необходимость аварийного вывода ряда печей из эксплуатации [5, 6].

Из других видов механических повреждений стен камер коксования серьезную опасность представляют собой глубокие сколы кромок кирпичей между первыми и вторыми рядами кладки от пода камеры, а также "подрезы", которые имеют вид борозд различной протяженности и глубины. Наличие таких дефектов приводит к "тугому ходу" и "бурению" пекококса, ускоренному износу кладки печей. Ускоренному износу подвергаются крайние 5–10 подовых кирпичей с обеих сторон печей в результате глубоких теплосмен при выдаче пекококса и обработке печей и истирающих воздействий коксовытальквателей, которые усиливаются при отклонениях горизонтальности путей передвижения коксовых машин, неравномерных осадках батарей.

Нарушение гидравлического и температурного обогрева приводит к тому, что формирование структуры кокса против первых и вторых вертикалов происходит неравномерно; в результате этого в объеме коксового пирога возникает неоднородность свойств и разрывы сплошности, что является одной из причин обвалов кокса при снятии дверей. Перегрев анкерных колонн из-за горения просачивающегося газа или масс пекококса, выпавшего из камеры в результате обвала головок, недопустим, так как это приводит к изгибу колонн, нарушению армирования и разрывам кладки.

К дефектам кладки, возникающим в связи с температурными условиями службы динасовых огнеупоров, следует отнести коррозию динаса и появление раковин на стенах камер в зоне максимальных температур. Износ камер коксования начинается с их головочных зон, что определяется условиями службы динаса в двух крайних вертикалах.

В процессе эксплуатации кладка различных конструктивных элементов коксовой батареи подвергается разрушающему воздействию высоких

температур, достигающих в отопительной системе 1300–1350 °С, а в устройствах для отвода продуктов сгорания – минимум 300 °С. При нормальной работе коксовых батарей на внутренней поверхности стен печных камер за один оборот печей происходят два значительных понижения температуры: первое – во время выдачи пекококса и обработки печной камеры за счет охлаждения воздухом и второе – после загрузки жидким пеком. Наиболее опасными, определяющими последовательный износ камер коксования, являются термические напряжения, приводящие к развитию трещин в головочной части отопительных простенков.

Постановка задачи. На коксохимических заводах, согласно [7], периодичность осмотров составляет 1 раз в 6 месяцев, но в случае повреждения кладки печи осмотры проводятся ежемесячно, чтобы своевременно проводить ремонтно-профилактические или восстановительные работы. Результаты осмотров заносятся в журнал дефектов с указанием областей и размеров отклонений. На рисунке 1 приведен пример результатов для печи 3, батареи № 5 пекококсового цеха ПАО «Авдеевский коксохимический завод» после 180 месяцев эксплуатации.

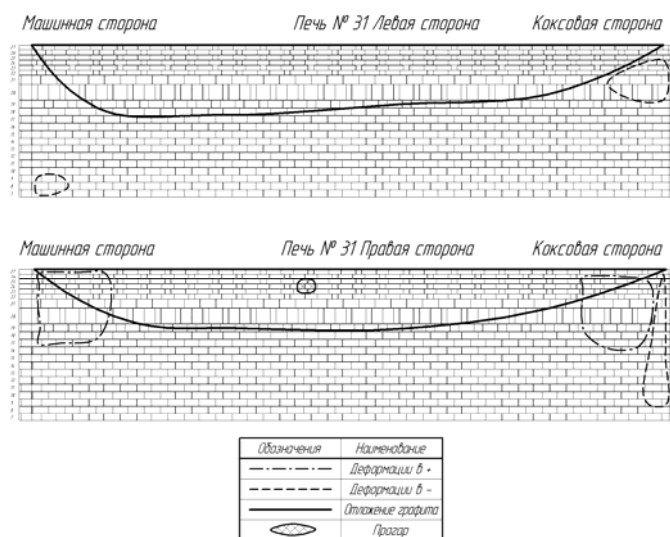


Рис.1. Оформление осмотра состояния простенков пекококсовой батареи

Целью данной работы является исследование технического состояния простенка пекококсовой печи от момента пуска до вывода из эксплуатации.

Методика досліджень. Изучение технического состояния проведено на основании данных по эксплуатации пекококсовой батареи № 5 пекококсового цеха Авдеевского коксохимического завода. Непрерывный срок эксплуатации пекококсовой батареи № 5 составил 15 лет. Для удобства и наглядности данные отображены ежемесячно. Для проведения анализа был выбран простенок камеры 3, условно обозначенный 3.1. Для повышения наглядности в дальнейшем проведена разбивка на два рисунка с учетом относительных площадей и объемов. Отдельно показаны прогары и трещины в анализируемом простенке.

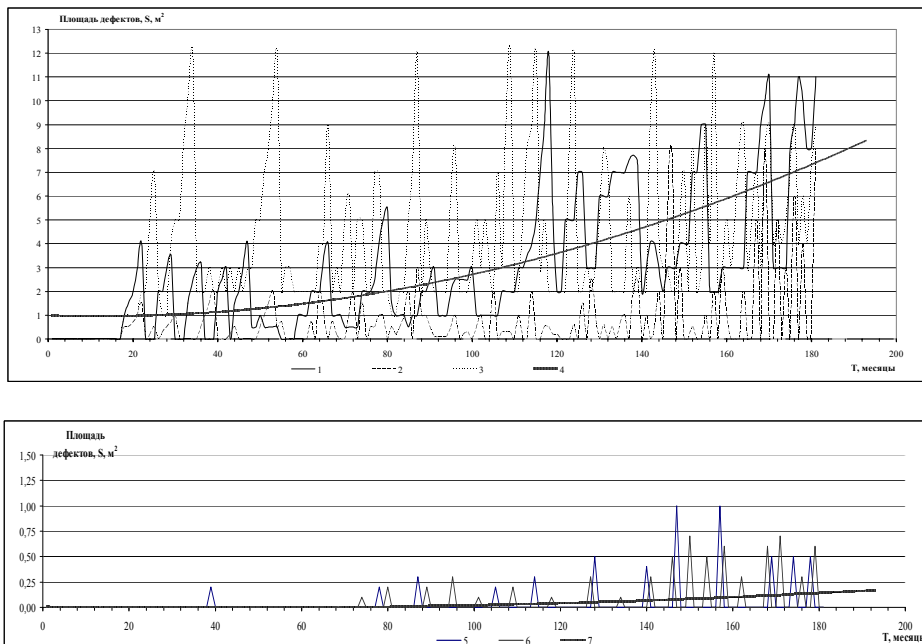


Рис. 2. Развитие дефектов в течение эксплуатации в простенке 3.1:
1 – деформации вовнутрь камеры; 2 – деформации изнутри камеры; 3 –
образование отложений графита; 4, 7 – среднее состояние; 5 – образование
прогаров; 6 – образование сквозных трещин

Относительная площадь дефекта была соотнесена с общей площадью простенка камеры, который составляет $38,86 \text{ м}^2$. Относительный объем дефектов был соотнесен к половине объема простенка камеры коксования. Для анализируемого объекта половина объема простенка камеры составляет $9,78 \text{ м}^3$.

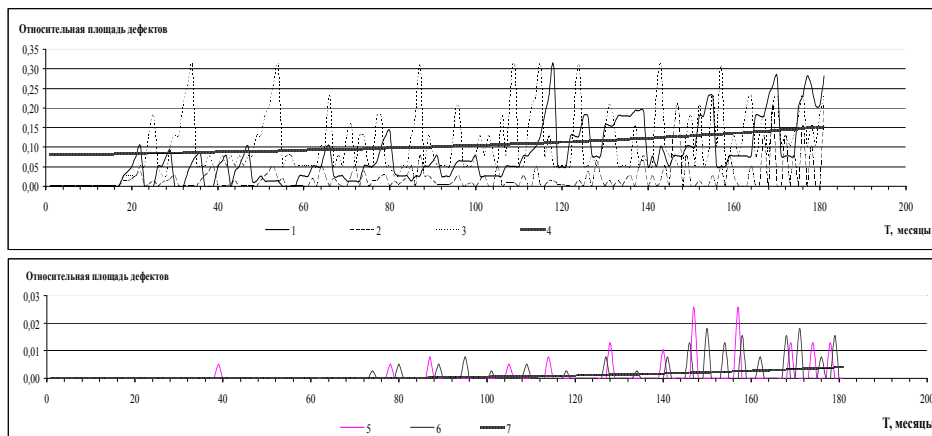


Рис. 3. Развитие относительных площадей дефектов
в течение эксплуатации в простенке 31:

1 – относительная площадь деформации вовнутрь камеры; 2 – относительная площадь деформации изнутри камеры; 3 – относительная площадь образования отложений графита; 4, 7 – среднее значение относительных площадей дефектов; 5 – относительная площадь образования прогаров; 6 – относительная площадь образования сквозных трещин

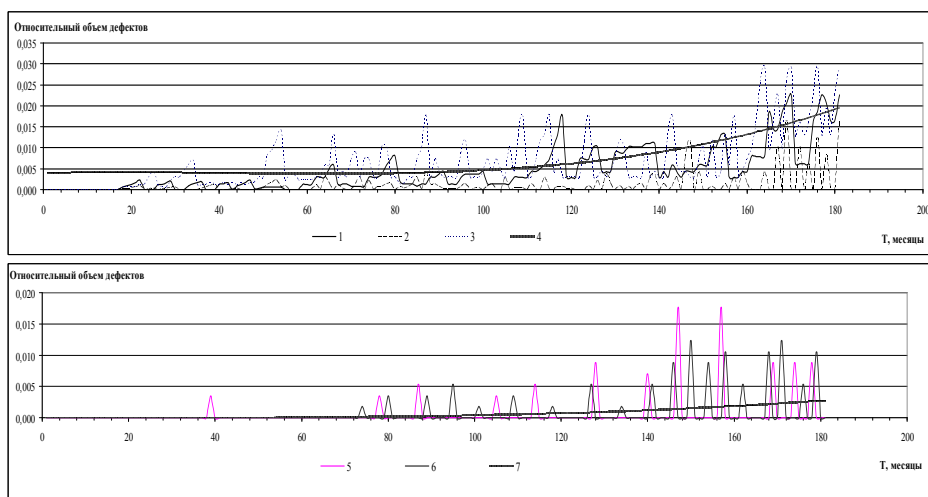


Рис. 4. Развитие относительных объемов дефектов
в течение эксплуатации в простенке 3.1:

1 – относительный объем деформации вовнутрь камеры; 2 – относительный объем деформации изнутри камеры; 3 – относительный объем образования отложений графита; 4, 7 – средний относительный объем дефектов; 5 – относительный объем образования прогаров; 6 – относительный объем образования сквозных трещин

Наиболее быстрому износу подвержены первые подовые кирпичи выстилки камер коксования, уплотнение стыков между армирующими рамами или бронями и заплечиками головок простенков, кладка основания газоотводящих люков, футеровка дверей и стояков, регулировочные приспособления регистры, особенно в зоне сборного канала.

Основными способами контроля состояния пекококсовой печи и отопительных простенков являются осмотры кладки камер коксования и фиксирование:

- деформаций, раковин, трещин, прогаров, оплавлений;
- состояния кладки подов и сводов;
- состояние уплотнения стыков между армирующими рамами и кладкой, заплечиков простенков;
- состояния рам, броней, дверей.

Основными мероприятиями, которые проводятся в данное время, являются ремонтно-восстановительные работы по результатам осмотра:

- торкретирование смесями МШ-28, ПШТ-1, МДК;
- подмазка сколов ручным способом;
- перекладка головок отопительных простенков;
- использование керамической сварки.

На основании опыта эксплуатации пекококсовых печей возможно определить примерные сроки службы кладки отдельных элементов и соответственно рекомендовать периодичность выполнения ремонтов кладки пекококсовых печей:

Таблица 1

Периодичность выполнения ремонтов элементов печи

№ п/п	Наименование участков или элементов печи	Периодичность
1	Перестилка верха печи	1 раз в 5 лет
2	Замена горелок	1 раз в 4 года
3	Замена нижних регистров	1 раз в 4 года
4	Замена футеровки дверей	1 раз в 3 года
5	Замена футеровки стояков	1 раз в 3 года
6	Замена первых двух сводовых кирпичей	1 раз в 4 года
7	Ремонт закладки над рамами	1-2 раз в 3 года
8	Ремонт закладки под рамами	1-2 раз в 3 года
9	Продувка насадки регенераторов	1 раз в год

Кроме того, в таблице не указаны систематические ремонты, которые проводятся по мере надобности:

- подмазка раковин, трещин, стыков между дверными рамами, заплечиками обогревательных простенков;
- торкретирование поврежденных в головках камер и стыков между рамами;
- замена заплавленной насадки регенераторов;
- очистка корнюров и верхней зоны регенераторов.

После проведения значительных ремонтных работ необходимо строгое соблюдение температурного режима, иначе дефекты, устраняемые в результате ремонта, могут увеличиться.

Влияние на степень износа кладки пекококсовых печей зависит также от периода коксования. Пагубное влияние оказывают слишком длительные периоды – до 40 часов, вместо паспортных 18–25 часов. Кладка претерпевает значительное заграфичивание до 100–150 мм толщиной и площадью 10–15 м² и деформации вовнутрь камеры 70–120 мм толщиной и площадью 5–7 м².

Вследствие вышеуказанных факторов необходим анализ и ранжирование разрушающих факторов, которые приводят к увеличению скорости накопления дефектов, появлению критических дефектов и разрушений, изменению гидравлического и температурного режима работы агрегата; поиск методов и средств исключения таких факторов в практике эксплуатации пекококсовых батарей с целью обеспечения технологической стабильности их работы и экологической безопасности.

Выводы. Определен период эксплуатации, после которого возникает резкое увеличение площадей и объемов дефекта. В данном случае период составил 9 лет или 108 месяцев. Прогары и сквозные трещины образуются после 5–6 лет эксплуатации.

После 7–9 лет эксплуатации пекококсовых печей традиционные методы ремонтов являются малоэффективными. Поэтому требуются проведение дополнительных исследований в данном направлении.

Литература

- [1] Шеррюбле В. Г. Пековый кокс в углеродной промышленности / В. Г. Шеррюбле, А. Н. Селезнев. – Челябинск : Издатель Татьяна Лурье, 2003. – 296 с.
- [2] Привалов В. Е. Каменноугольный пек / В. Е. Привалов, М. А. Степаненко. – М. : Металлургия, 1981. – 208 с.
- [3] Питюлин И. Н. Научно-технологические основы создания каменноугольных углеродсодержащих материалов для крупногабаритных электродов : монография / И. Н. Питюлин. – Харьков, 2004. – 480 с.

- [4] Toporov A. A. Analysis of work conditions of coke-pitch block equipment / A. A. Toporov, O. E. Alexeyeva, V. N. Borovlev // Young scientists researches and achievements in science : материалы межвузовской конференции для молодых ученых. – Донецк : ДонНТУ, 2011 – С. 123–127.
- [5] Кауфман А. А. Мастер коксового производства / А. А. Кауфман, А. З. Смелянский, Г. Д. Харлампович. – М. : Metallurgiya, 1994. – 240 с.
- [6] Лгалов К. И. Ремонт кладки и армирующего оборудования коксовых печей / К. И. Лгалов, С. И. Кафтан, Г. М. Вольфовский. – М. : Metallurgiya, 1966. – 328 с.
- [7] Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий. – Харьков, 2001. – 310 с.

УДК 692.445

Автоматизация процесса подготовки исходных данных при расчете сетчатых куполов на все виды нагружений

Тур В.И., к.т.н., Тур А.В., аспирант

¹Ульяновский государственный технический университет, ² Самарский
государственный архитектурно-строительный университет, Российская Федерация

Анотация. Разработана авторская программа, позволяющая в автоматическом режиме генерировать расчетную схему купола для работы с программным комплексом «Лира».

Анотація. Розроблено авторську програму, що дозволяє в автоматичному режимі генерувати розрахункову схему купола для роботи з програмним комплексом «Ліра».

Abstract. Authors' PC program which allows in automatic mode to generate a structural design of dome for mutual computing with PC program «Lira» is developed.

Ключевые слова: сетчатый купол, программный комплекс, нагружение.

Достаточно часто при проектировании пространственных конструкций приходится рассматривать несколько вариантов конструктивных решений, различающихся между собой по ряду параметров. При проектировании сетчатого купола такими параметрами могут быть высота подъема и количество ярусов купола. Следует отметить, что построение расчетной схемы сетчатого купола является достаточно трудоемкой задачей, так как сетчатые купола имеют значительное количество типоразмеров стержней, стержни ориентированы друг к другу под различными углами, нагрузки на стержни различаются как по величине, так и по направлению. Пример геометрической схемы каркаса купола приведен на рис. 1.

С целью сокращения трудозатрат на построение расчетной схемы была разработана авторская программа, позволяющая в автоматическом режиме генерировать расчетную схему купола и передавать ее в ПК «Лира». Рассмотрим подробнее эту программу.

Программа создавалась в среде Microsoft Excel, диалоговое окно программы и входные данные показаны на рис. 2. Первым этапом подготовки исходных данных было создание таблиц, описывающих взаимное расположение узлов и стержней конструкции для различного количества ярусов купола, а также таблиц, описывающих аэродинамические коэффициенты на поверхности купола. Аэродинамические коэффициенты принимались по [1], в пределах одного стержня аэродинамический коэффициент считался постоянным. Затем, в зависимости от заданных геометрических параметров купола и числа

ярусом рассчитывались координаты узлов купола, длины стержней, нагрузки на стержни и узлы купола. Результатом деятельности программы является генерация файла в формате *.txt, который может быть экспортирован в ПК Лира. В txt-файле описываются координаты узлов купола, расположение элементов, нагрузки на элементы и узлы купола, а также расчетное сочетание усилий.

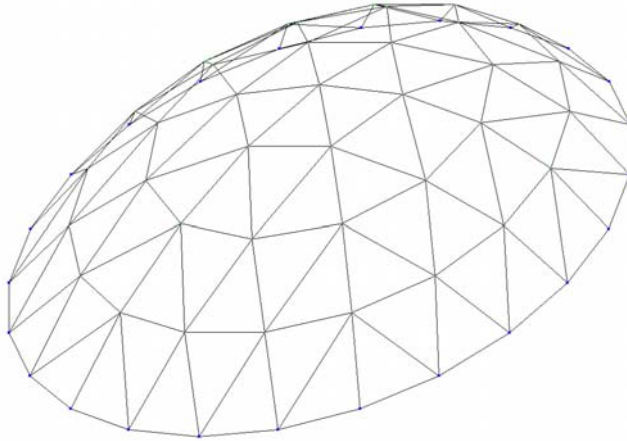


Рис. 1. Пример геометрической схемы каркаса купола

Остановимся подробнее на сборе нагрузок на стержни купола. При расчете принимается допущение, что нагрузка на стержень купола является равномерно-распределенной и передается только с площади поверхности купола, ограниченной четырехугольником, вершинами которого являются концы стержня каркаса купола и центры смежных треугольников, образованных стержнями каркаса купола (см. рис. 3). Нагрузки на стержень разделяются на 5 нагружений.

Первое нагружение представляет собой постоянные нагрузки – собственный вес стержня и вес покрытия купола. Кроме того, в первое нагружение входят узловые нагрузки, моделирующие вес узловых соединений. Вес узловых соединений определялся в процентах от общего веса стержней купола. Коэффициент для вычисления веса узловых соединений также возможно изменять в диалоговом окне программы.

Второе нагружение – снеговая нагрузка, равномерно распределенная по поверхности купола.

Общие переменные				
№	Переменная	Обознач.	Знач.	Ед. изм.
1	Число ярусов	n	7	-
2	Диаметр	D	24	м
3	Высота	h	6	м
4	Коэффициент для вычисления массы	m_k	0.15	-
5	Снеговая нагрузка	S_g	0.24	т/м ²
6	Ветровая нагрузка	w_0	0.038	т/м ²
7	Вес 1 м ² покрытия купола	q_p	0.0733	т/м ²
8	Вес одного погонного метра стержня	P_sm	0.0045	т/м
9	Тип КЭ	ke_type	10	
10	Признак схемы	scheme_sig	4	

Рис. 2. Диалоговое окно программы

Третье нагружение – снеговая нагрузка, равномерно распределенная по половине площади купола, с одной стороны.

Четвертое нагружения – снеговая нагрузка, неравномерно распределенная по поверхности купола, определяемая по [2], прил. Б. 13. Второе, третье и четвертое нагружения в таблице расчетных сочетаний усилий являются взаимоисключающими.

Пятое нагружение – ветровая нагрузка. Так как ветровая нагрузка действует перпендикулярно поверхности купола, ее необходимо было разложить на составляющие силы, действующие вдоль глобальных осей.

Следует также отметить, что площади сбора нагрузок от веса покрытия купола, ветровой и снеговой нагрузок несколько различаются, так как нагрузка от веса покрытия купола и ветровая нагрузка собираются с площади поверхности купола, а снеговая нагрузка собирается с площади горизонтальной проекции поверхности купола.

Коэффициенты в таблице расчетных сочетаний усилий также прописаны и автоматически формируются, при необходимости возможно внести изменения уже в ПК «Лира».

Также в программе реализована возможность выбора типа конечного элемента для расчета и возможность изменить признак схемы.

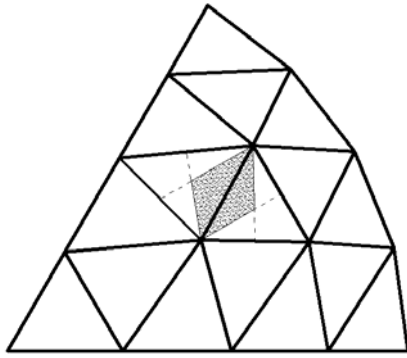


Рис. 3. Схема сбора нагрузок на стержень

Так как стержни каркаса купола, кроме растяжения-сжатия, испытывают еще изгиб, то для корректного расчета необходимо было установить положение местных осей элементов. Угол поворота местных осей стержней различен, и их расчет представлял бы собой трудоемкую задачу, но ввиду того, что местная ось Z у всех стержней каркаса купола проходит через центр сферы, описанной вокруг купола, для вычисления углов поворота местных осей стержней достаточно было задать направляющую точку, общую для всех стержней.

После импорта txt-файла в ПК «Лира» необходимо лишь задать желаемое сечение стержней каркаса купола, согласующееся по массе с введенными данными, и подать задачу на расчет.

Вывод: предложенная программа позволяет значительно сократить время и трудоемкость составления расчетной схемы купола, в результате чего при проектировании купола становится возможным рассмотреть большое количество вариантов и выбрать оптимальный из них.

Литература

- [1] Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра / ЦНИИПСК им. Кучеренко. – М., 1978.
- [2] СТО 36554501-015-2008. Нагрузки и воздействия / ФГУП «НИЦ «Строительство». – М., 2008.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

У збірнику публікуються не опубліковані раніше та не призначені для одночасної публікації в інших виданнях статті, що містять нові результати теоретичних та експериментальних досліджень у сфері розвитку методів розрахунку і проектування конструкцій, будівель і споруд, розроблення раціональних типів конструкцій, експериментально-теоретичних досліджень роботи елементів і з'єднань, удосконалення матеріалів, технологій виготовлення і монтажу, ремонту і реконструкцій будівель і споруд; пропозиції щодо розвитку і вдосконалення нормативної бази в галузі будівництва тощо.

Наукові статті повинні містити: опис проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими програмами чи практичними завданнями; короткий аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми і на які посилається автор; виділення невирішених питань або проблем, котрим присвячується стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з цього дослідження і перспективи подальших досліджень за даним напрямком.

Статті подаються українською, російською або англійською мовами у роздрукованому виді (в двох екземплярах, один із яких повинен бути підписаний усіма авторами статті) та в електронному виді на магнітному носіїві звичайною або електронною поштою. Обсяг статті, як правило, не повинен перевищувати 7 сторінок форматом А4 (210x297 мм), включаючи рисунки, таблиці та перелік використаної літератури. Статтю необхідно супроводжувати короткою анотацією, надрукованою українською, російською та англійською мовами. До статті потрібно додати для кожного із співавторів авторську довідку, в якій вказати прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання, місце і адресу основної роботи, посаду та контактний телефон.

Стаття набирається в редакторі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 11 пт., міжрядковий інтервал – одинарний. У лівому верхньому кутку сторінки вказується УДК. Прізвища, ініціали авторів та назва статті – вирівнювання по центру, напівжирним. З нового абзацу подається текст статті з вирівнюванням по ширині.

Таблиці набираються шрифтом Times New Roman, розміром 10 або 9 пт. Розмір таблиці не повинен бути більше 12 см по ширині.

Формули в тексті набираються в редакторі Word Microsoft Equation або у програмі MathType шрифтом Times New Roman, розміром 11 пт., текст та змінна формули – курсивом.

Креслення, рисунки, фотокартки вставляються в текст та додатково подаються окремими файлами з розширенням .tif, .gif або .jpg за розміром по ширині 10–15 см (300 точок/дюйм).

Перелік використаної літератури оформляється відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 і наводиться наприкінці статті за алфавітом. Наприклад, для книги – прізвище й ініціали автора, назва книги, місце видання й видавництво, рік видання, том (підкреслити), кількість сторінок. Не дозволяється робити посилання на неопубліковані роботи.

Кожна стаття підлягає рецензуванню, у випадку повернення статті на доопрацювання датою надходження вважається дата одержання редакцією остаточного варіанта тексту. Після доопрацювання стаття знову розглядається редколегією.

Дотримання зазначених вимог дозволить скоротити термін опрацювання та підготовки до друку матеріалів, що надійшли до редакційної колеґії збірника.

Розраховуємо на співпрацю.

Наукове видання

ТОВ «Укрінсталькон
ім. В.М. Шимановського»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
Українського інституту сталевих конструкцій
імені В.М. Шимановського

Відповідальний редактор
Технічний редактор
Дизайн
Комп'ютерна верстка

О. В. Шимановський
С. В. Колесніченко
В. С. Артюшенко
Я. В. Левченко

Рекомендовано до друку вченою радою ТОВ
«Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»
(протокол № 4 від 25.08.2011)

Підписано до друку 09.09.2011.
Формат видання 70x100/16.
Папір офсетний. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 14,83. Тираж 100 пр. **Зам. №**

Видавництво «Сталь».
02660, ГСП-660, м. Київ, просп. Визволителів, 1,
тел. 229-83-51; 543-95-56
www.isdat.com.ua
