



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ПІВНІЧНО-СХІДНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
ТРАНСПОРТНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

*Присвячується 80-ти річчю
кафедри будівельних, колійних та
вантажно-розвантажувальних
машин*

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
УКРАЇНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Випуск 148

Частина 2

Харків 2014

УДК 621.8:624:625:625.144.5:629:691-4

У збірнику відображені матеріали та наукові розробки вчених і спеціалістів залізничного транспорту, наукових установ і промисловості з вирішення сучасних задач та проблем розвитку конструкцій і систем управління підйомно-транспортних, дорожніх, будівельних та вантажно-розвантажувальних машин. Розглядаються питання технологій транспортного будівництва, залізничної колії та колійного господарства, будівельних матеріалів, конструкцій та штучних споруд, застосування нанотехнологій на транспорті та в будівництві.

Збірник призначений для інженерно-технічних працівників, магістрантів, студентів і науковців залізничного транспорту та промисловості.

З електронною версією збірника можна ознайомитися на сайті: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe.

Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (Польща). Реєстрацією збірника можна ознайомитися на сайті <http://jml2012.indexcopernicus.com/masterlist.php?page=127>.

ISSN 1994-7852

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 8617 видане 06.04.2004р. Друкується за рішенням Вченої ради академії, протокол № 7 від 11 вересня 2014 р.

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанова президії ВАК України № 1-05/4 від 26 травня 2010 р.)

РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧА РАДА:

Члени Ради:

д.т.н., професор С.В. Панченко – голова Ради
д.т.н., професор С.І. Приходько – заступник голови
к.т.н., професор А.О. Каграманян – заступник голови
завідуючий НДЧ С.В. Михалків – заступник голови
д.т.н., професор А.Б. Бойнік
д.т.н., професор Т.В. Бутько
д.е.н., професор В.Л. Дикань
д.т.н., професор А.М. Котенко

д.т.н., професор С.В. Лістровий
д.т.н., професор В.І. Мойсенко
д.е.н., професор Л.О. Позднякова
д.т.н., професор А.А. Пługін
д.т.н., професор Е.Д. Тартаковський
д.т.н., професор Л.А. Тимофеева
д.т.н., професор А.П. Фалендиш
д.т.н., професор Я.В. Щербак

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

д.т.н., професор А.А. Пługін – головний редактор
д-інженер, професор Х.-Б.Фішер, Веймарський будівельний університет (Німеччина)
д.т.н., професор В.С. Лесовик, Белгородський державний технологічний університет ім. В.Г. Шухова (Росія)
д.т.н., професор А.Д. Омаров, Гуманітарний університет транспорту і права ім. Д.А.Кунаєва (Республіка Казахстан)
д.х.н., професор А.М. Пługін
д.т.н., професор М.Ю. Ізбаш
д.т.н., професор В.С. Софронов
д.т.н., професор Г.М. Шабанова
д.т.н., професор О.М. Даренський
д.т.н., професор Ю.О. Ландау
к.т.н., доцент Г.Л. Ватуля

За загальною редакцією докторів техн. наук, професорів А.А.Плугіна, О.М.Даренського,
к.т.н., доцента С.В. Вороніна

ISSN 1994-7852

Зареєстровано 2 червня 2007 р.

у ISSN International Centre 20. Rue
Bachautmont, 75002 PAPIIS, FRANCE

©Українська державна академія
залізничного транспорту, 2014

ЗМІСТ

Будівельні матеріали, конструкції і споруди

<i>Плугин А.Н., Трикоз Л.В., Плугин А.А., Плугин Д.А., Конев А.А., Борзяк О.С.</i> Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений	5
<i>Бондар В.О., Бондар Л.В., Сушко В.О.</i> Розподіл корозійних процесів на арматурі періодичного профілю залізобетонних конструкцій	20
<i>Бевза В.В., Конєв О.А., Афанасьєв О.В.</i> Аналітичне дослідження впливу надлишкових електричних зарядів та електрополів землі на пошкодження конструкцій будівлі, що реконструюється	25
<i>Костюк Т.А., Плугин А.А., Плугин А.А., Арутюнов В.А., Партала Н.Н., Суханова Ю.А., Фишер Х.-Б.</i> Влияние волокнистых наполнителей на физико-механические свойства цементных композитов	32
<i>Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Партала Н.М., Нестеренко С.Г., Перестюк В.В., Никитенко А.В.</i> Цементні та полімерцементні дрібнозерністі бетони для прокладного шару безбаластного мостового полотна із залізобетонних плит	39
<i>Романенко О.В.</i> Оптимальна величина водоцементного відношення особовидкотверднучого безпропарювального бетону	46
<i>Сізова Н. Д., Плугін А. А., Калінін О. А., Міхєєв І. А., Плугін А.А.</i> Комп'ютерна програма для проектування складу бетону «ПСБ УкрДАЗТ»	51
<i>Трикоз Л.В., Савчук В.Ю.</i> Застосування активного мулу станцій біологічного очищення для стабілізації ґрунтів	58
<i>Раджабзадег Могсен (Иран), Кичаева О.В.</i> Влияние грунтовых условий на взаимодействие основания с малоэтажными зданиями	62
<i>Самченко Р.В., Павлов І.Д., Юхименко А.І., Шокарев В.С., Степура І.В., Шокарев А.В.</i> О геотехнологиях восстановления деформированных зданий и обеспечения их дальнейшей нормальной эксплуатации	70
<i>Самченко Р.В.</i> Особливості технології усунення кренів димових труб регулюванням жорсткістю основ	76
<i>Юхименко А.І.</i> Горизонтальне армування ґрунтів – ефективний спосіб підсилення основ	82
<i>Суханова Ю.А., Касьянов В.В.</i> Анализ поврежденных и способов ремонта подводных частей гидротехнических сооружений	87
<i>Плугін А.М., Плугін А.А., Тулей Ю.Л., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Лютий В.А.</i> Досвід експлуатації залізобетонних шпал з пружними рейковими скріпленнями, розробленими в УкрДАЗТ	92
<i>Плугін А.А., Мірошніченко С.В., Лобяк О.В., Забіяка О.А., Линник Г.О., Шуба Т.</i> Аналіз напружено-деформованого стану плит безбаластного мостового полотна і прокладного шару під ними	104
<i>Семко О.В., Гасенко А.В., Гукасян О.М.</i> Результати випробувань трубобетонних елементів з порушеною технологією бетонування осердя	111

<i>Ватуля Г.Л., Игнатенко А.В.</i> Численное моделирование работы сталебетонных балок при трехстороннем нагреве	119
<i>Гасенко А.В., Гудзь С.А., Дарієнко В.В.</i> Оптимізація розмірів сталезалізобетонних балок при їх розрахунку згідно з вимогами ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010	123
<i>Фурсов В.В., Бидаков А.Н.</i> Клеефанерная балочная конструкции с х-образной фанерной стенкой и пазловыми соединениями фанеры	130
<i>Пашинський В.А., Плотніков О.А.</i> Методика імовірнісного оцінювання температурного режиму стін	138
<i>Полтавець М.А.</i> Функциональный подход к изучению организационно-технологического генезиса строительных систем	143
<i>Морозова Г.В.</i> Застосування програми автоматизованого проектування для визначення мінімальної відстані між «квадратом» і прямокутниками	149
<i>Залізнична колія та колійне господарство</i>	
<i>Астахов В.Н., Саяпин А.С., Лоцман П.И.</i> Методика геодезического расчета кривизны структурных элементов трассы железной дороги	157
<i>Баль О.М., Ковальчук В.В., Костик Б.В.</i> Дослідження ефективності застосування геотекстилю в конструкції залізничної колії	162
<i>Бугаєць Н.В.</i> Експериментальні дослідження вібраційних процесів в рейкошпальній основі колій незагального користування	170
<i>Вітольберг В.Г.</i> Моделювання роботи залізобетонних шпал типу СБ 3-0 методом скінчених елементів	175
<i>Воронин С.В., Скорик А.А., Лоцман К.П.</i> Диффузионная модель устойчивости земляного полотна	180
<i>Даренський О.М., Бойко Я.В., Дувалко В.І.</i> Аналіз роботи скріплень типу КПП-5 при крученні рейки	185
<i>Даренський О.М., Васильченко Ю.О., Назаров Є.В.</i> Аналіз роботи скріплення КПП-5 при вертикальних навантаженнях	188
<i>Петрушевська А.А., Игнатенко Є.В.</i> Експериментальні дослідження квадратних сталебетонних плит з різними умовами опору та кроком анкерних упорів	192
<i>Фаст Д.А.</i> Розрахунок техніко-економічної ефективності при відновленні дерев'яних шпал метрополітену пластмасою акриловою самотвердною АСТ-Т	197
<i>Воронин С.В., Карпенко С.С., Коростелёв Е.Н.</i> Моделирование контакта «колесо-рельс» по боковой поверхности пути на машине трения	201
<i>Овчинников О.О.</i> Основні процеси, що викликають зношення підкладки у скріпленні типу «метро»	205

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, КОНСТРУКЦІЇ І СПОРУДИ

УДК 544.032

**НОВЫЕ ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ И ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЙ МАТЕРИАЛОВ,
КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Д-р хим. наук А.Н. Плагин, канд. техн. наук Л.В. Трикоз,
доктора техн. наук А.А. Плагин, Д.А. Плагин,
инж. А.А. Конев, канд. техн. наук О.С. Борзяк

**НОВІ РУШІЙНІ СИЛИ І ПРИЧИНИ РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ, КОНСТРУКЦІЙ І
СПОРУД**

Д-р хім. наук А.М. Плагін, канд. техн. наук Л.В. Трикоз,
доктори техн. наук А.А. Плагін, Д.А. Плагін, інж. О.А. Конєв,
канд. техн. наук О.С. Борзяк

**NEW DRIVING FORCES AND CAUSES OF DESTRUCTION OF MATERIALS,
CONSTRUCTIONS AND STRUCTURES**

Doct. of chem. sciences A.N. Plugin, cand. of techn. sciences L.V. Trykoz,
doct. of techn. sciences A.A. Plugin, doct. of techn. sciences D.A. Plugin,
eng. O.A. Konev, cand. of techn. sciences O.S. Borziak

На основе развиваемого авторами нового научного направления «Субмикро- и макроколлоидная химия и Физико-химическая механика Земли» выявлены новые ранее неизвестные ученым разрушительные силы электрической природы, лежащие в основе глобальных разрушений и изменения свойств материалов. Раскрыты механизмы возникновения этих сил, а также механизмы их воздействия на аномальное разрушение мостов, провалы и опускания грунтов, ухода воды, пологие и отвесные оползни, наклоны древних башен и др.

Ключевые слова: физико-химическая механика, напряженность электрического поля, поляризация.

На основі розвинутого авторами нового наукового напрямку «Субмікро- і макроколоїдна хімія і Фізико-хімічна механіка Землі» виявлені нові раніше невідомі вченим руйнівні сили електричної природи, що лежать в основі глобальних руйнувань та зміни властивостей матеріалів. Розкрито механізми виникнення цих сил, а також механізми їх впливу на аномальне руйнування мостів, провали й опускання ґрунтів, відходу води, пологі і прямовисні зсуви, нахили стародавніх веж та ін.

Ключові слова: фізико-хімічна механіка, напруженість електричного поля, поляризація

In the article the authors develop a new research direction "Submicro- and macrocolloidal Chemistry and Physicochemical Mechanics of the Earth". The authors identified new destructive forces of electrical nature that previously unknown to scientists. These forces are the foundation of global destruction and change the properties of materials. The mechanism of origin these forces is disclosed in this article. These forces are the cause of the abnormal destruction of bridges, soil dips and lowering, water care, sloping and steep landslides, incline of the ancient towers, etc. Global catastrophes on Earth occur many times more frequent in recent decades: earthquakes, volcanoes, hurricanes, tsunamis, floods, tornadoes, etc. Unexpected large cracks in the construction of bridges and abnormal fluctuations often occur. Elasticity, strength and fracture stability of materials bridges are lost in a strange way. All of the above is due to the accumulation of large excess charges of different signs in the surface layers of soil. Also all of the above is due to the

influence of the vertical and horizontal components of the electric fields of the Earth and the corresponding polarization of structures.

Keywords: *physicochemical mechanics, electric intensity, polarization*

Введение. В литературных и информационных источниках расширяется тревожная информация о многократно участившихся с конца прошлого столетия глобальных катастрофах на Земле: землетрясениях, вулканах, ураганах, цунами, наводнениях, торнадо и др. Они стали возникать и на территории Украины. Участились также случаи разрушений огромных сооружений, в частности мостов, потери несущей способности грунтов в основании сооружений, участились случаи крупнейших оползней, провалов грунта, за короткий промежуток времени ушло далеко от берегов Аральское море и др. Это свидетельствует о возникновении новых разрушительных сил в природе, ранее не учитываемых наукой о Земле, а для строительных конструкций – материаловедческими науками.

Но, очевидно, эти силы являются универсальными, т.к. уничтожают не только верхний облик Земли и искусственные сооружения на ней, но и приводят к гибели растительного и животного мира – массовые лесные пожары, массовое выбрасывание китов и рыб на берег, массовая гибель и падение с неба птиц. У человечества появились новые болезни, уносящие огромное количество жизней, в частности СПИД.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Возникла острая необходимость вскрыть причины всех этих земных катастроф, массовой гибели людей, разрушений больших зданий и сооружений. Ответ на вопрос о причинах происходящего должна дать прежде всего фундаментальная физика – основа естествознания и науки о Земле. Однако, современная фундаментальная физика оказалась беспомощной в раскрытии природы этих процессов и явлений. Ни одного решения, как предотвратить от разрушений и гибели, с ее стороны нет. Такая наша оценка физики основывается еще и на мнении многих ученых о «крахе» современной фундаментальной физики, абсурдности релятивистской физики и квантовой механики, абстрактности математических моделей и др.

На наш взгляд, общей причиной указанной беспомощности физики и не только современной, а и вообще, является то, что Земля и процессы, на ней происходящие, не являются объектами ее исследований. Земля, все ее структурные элементы, явления и процессы – это дисперсные системы различной степени дисперсности и с физико-химическими взаимодействиями между ее структурными элементами, и, следовательно, они являются объектами исследований коллоидной химии и физико-химической механики, соответствующим образом развитых.

Многолетние исследования нашей научной школы по повышению долговечности материалов, конструкций и сооружений в сложных условиях эксплуатации позволили развить новую научную дисциплину – «Субмикро- и макроколлоидная химия и Физико-химическая механика Земли». На основе этой науки нами раскрыты все механизмы и движущие силы земных катастроф, в т.ч. со времен появления людей на планете (4,4 млн лет назад), разработаны предложения по их предотвращению.

Анализ последних исследований и публикаций. Аномальные разрушения и повреждение мостов. В [1] нами впервые показано, что практически все легкие подвесные мосты, считавшиеся надежными, высокоэффективными и малозатратными, построенные в середине прошлого столетия, разрушились под влиянием избыточных отрицательных зарядов, возникающих на дне рек и других больших водотоков. Новым подвесным мостам придали большую массу и жесткость, они стали очень трудоемкими в изготовлении и неэкономичными. Такая потеря устойчивости и надежности происходит и для неподвесных железобетонных мостов. В частности, в 2010 г. возникли непредвиденные колебания нового Волгоградского моста с амплитудой колебаний около 2 м. Его уравнивали очень тяжелыми прототивовесами специальной конструкции. Также от действия указанных избыточных отрицательных зарядов возникли еще на стадии строительства дополнительные растягивающие напряжения

и большие трещины в конструкциях опор Южного и Дарницкого мостов через р. Днепр в г. Киеве.

Гигантские провалы в грунтах. В последние годы значительно участились и увеличились в объеме, поглощая и разрушая здания и сооружения, гигантские провалы в земле. Причинами провалов в грунте считаются: проведение строительных работ без качественных инженерно-геологических изысканий; карсты из-за растворимости грунтов (известняк, гипс, каменная соль); утечка воды из лопнувших водопроводов; размыв грунта подземными водами; строительство на подрабатываемых территориях и др. Однако, строительство без качественных инженерно-геологических изысканий скачкообразно возросло лишь в странах бывшего СССР после перестройки, в остальных странах, особенно в США и Китае, где происходит наибольшее количество провалов, этого нет. Проявление остальных факторов также не претерпело скачкообразных изменений. Следовательно, причины

внезапного возникновения в последние годы провалов в грунтах являются другими. Во-первых, они не имеют видимых признаков и, как правило, проявляются внезапно, и больше всего в городской черте. Они бывают очень глубокими (десятки метров) и больших размеров в плане (вплоть до сотен метров), чаще круглые, овальные, или менее глубокие конусообразные (рис. 1, а, б). Происходят также опускания земли на больших участках (рис. 2, 3).

Происходят и участились в 2010 г. провалы грунтов в Москве и Петербурге. Некоторые ученые предполагают, что главная причина этих провалов – грунтовые воды и неупорядоченное строительство, а также неправильное использование земных недр. Провалы связывают также с зонами растяжения, возникающими при изгибе плиты или в связи с ее закручиванием. В частности, в Китае – это изгиб Евразийской плиты при опускании плиты Сунда [2]. Однако провалы возникают и в зонах, расположенных далеко от этих плит.

а)



б)



Рис. 1. Провал глубиной более 100 м (а) [3] и конусообразный (б) [4] в Гватемале



Рис. 2. Провал на мосту в Чебоксарах [5]



Рис. 3. Опускание земли [4]

Опускание земли и уход воды. В последние годы на больших территориях многих стран усилилось опускание земли и уход воды. В частности, это происходит в Китае в дельте реки Янцзы, в провинциях Шаньси и Шэньси. В самом городе провалы грунта стали причиной растрескивания стен в 167 зданиях, причем 34 из них были серьезно повреждены, пострадало более 1200 человек. Исчезновение воды в реках и их притоках, в колодцах поставило в бедственное положение людей, проживающих в их районах. На наш взгляд, все объяснения и данные в них явления и процессы не могут служить причиной провалов, оседаний и ухода воды, это всего лишь сопутствующие факторы. Все провалы, опускания и уход воды в различных странах и

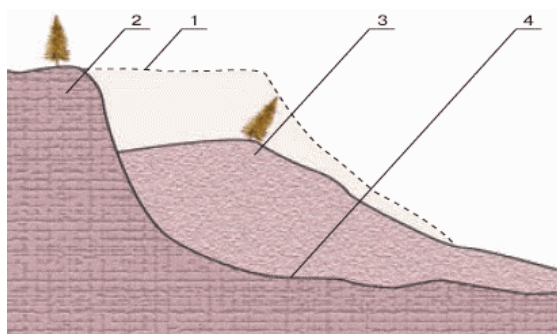


Рис. 4. Схема оползня на вершине склона

В этих схемах полного сползания грунта не происходит. На рис. 4 опускается часть грунта на вершине склона, а сам склон просто смещается и становится более пологим. По этой схеме оползень не может быть длинным. На следующей схеме (рис. 5) ступени оползня остаются на склоне по мере уменьшения веса



Рис. 6. Отвесный оползень под домом [6]

на различных континентах Земли имеют общую причину, общую движущую силу.

Следует отметить, что в последние десятилетия Аральское море за короткий срок ушло далеко от берегов, особенно у г. Аральска, расположенного недалеко от космодрома Байконур. А провинция Шэньси также располагается между космодромами Цзюцюань и Тайюан. Провинция Хунань расположена рядом с космодромом Сичан. Территории рядом с космодромами имеют избыточный положительный заряд, что оттолкнуло катионы в воде грунтов, а с ними и саму воду.

Пологие и отвесные оползни. Оползень – это отрыв земляных масс от склона и перемещение их по нему под воздействием силы тяжести по схемам, приведенным на рис. 4, 5.

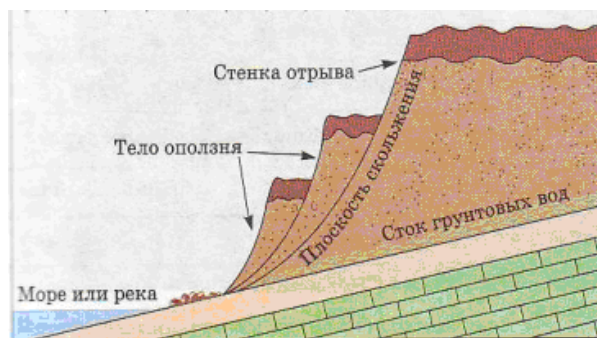


Рис. 5. Оползень на побережье моря или реки

сползающих частей грунта. В реальных оползнях грунт часто отрывается от основной массы, вертикально оседает и как-бы рассыпается по почти горизонтальной поверхности (рис. 6, 7) или далеко скользит по поверхности (рис. 8, 9), превращаясь в относительно тонкий слой.



Рис. 7. Явный отрыв грунта из-под дома и его вынос в реку [7]



Рис. 8. Далеко растекающийся оползень [8]



Рис. 9. Оползни на Батыевой горе г. Киев [9]

Нередко такой оползень заносит целые поселки на почти горизонтальной местности. Силы трения такого слоя намного больше, чем составляющая веса. Это, а также препятствие со стороны зданий, сооружений и насаждений, дополнительно сдерживают поток, поэтому он не может распространяться далеко. Обычные механические силы, следовательно, не являются главными в растекании пологих оползней на большое расстояние. Такими силами реально являются электрические, возникающие за счет противоположных по знаку огромных избыточных зарядов.

Определение цели и задачи исследований. Выявление причин всех перечисленных выше земных катастроф, массовой гибели людей, разрушений больших зданий и сооружений возможно на основе разрабатываемого нами нового научного направления «Субмикро- и макроколлоидная химия и Физико-химическая механика Земли», что позволит раскрыть все механизмы и движущие силы земных катастроф, в т.ч. со времен появления людей на планете, и разработать предложения по их предотвращению.

Основная часть исследования. Новые представления о движущих силах природных явлений на Земле.

Природа возникновения заряда и электростатического поля Земли на основе термодиффузионного механизма. Так как температура ядра Земли (примерно 6000°C) намного выше температуры ее верхних слоев, возникает термодиффузия электронов из ядра к

поверхности, что приводит к возникновению избыточного электрического заряда Q на поверхности Земли и, соответственно, электростатического поля. Как известно, в настоящее время средняя напряженность этого поля равна $E = -130 \text{ В/м}$. По различным причинам она изменяется в пределах от минус 1000 В/м до плюс 200 В/м . При этом на больших по площади участках Земли избыточные заряды могут приобретать огромные величины. Такая напряженность электрического поля Земли установилась в результате динамического равновесия между термодиффузионным притоком электронов из ядра и их диффузионным оттоком в космический вакуум. В далеком прошлом, когда Земля формировала кору, скорость притока электронов из ядра опережала скорость их оттока, в результате чего накапливался избыточный отрицательный заряд в коре Земли и в ее поверхностных слоях. Это приводило к частым природным явлениям, воспринимаемым нами в настоящее время как катастрофа – землетрясениям, вулканам, потопам, оледенениям, а также к разрушению создаваемых людьми жилищ и других строительных сооружений, к изменению свойств их строительных материалов как древних, так и современных.

Новые представления о механизме возникновения пологих и отвесных оползней. По данным из [10] нами построен график, отражающий самые катастрофические оползни 20-21 веков и их зависимость от запусков космических ракет (рис. 10).

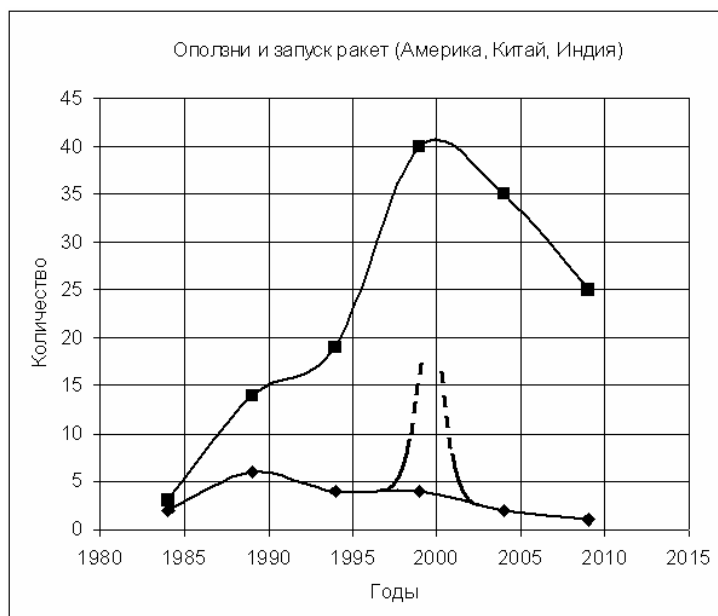


Рис. 10. Зависимость количества катастрофических оползней (нижняя кривая) от количества запущенных наиболее тяжелых американских, китайских и индийских ракет (верхняя кривая)

Как видим из рис. 10, проявляется сильная зависимость от запуска наиболее мощных американских ракет – Спейс Шаттл (2030 т) и достаточно тяжелых ракет Китая и Индии. Отсюда следует, что резкое увеличение количества катастрофических оползней в мире после 1995 года обусловлено запусками космических ракет, главным образом

произведенными с космодромов Американского континента, а потом Китая и Индии. Влияние космических запусков ракет на инициирование провалов, опусканий и оползней в рассмотренных странах подтверждается расположением космодромов и стран с наибольшим количеством указанных явлений на карте мира (рис. 11).

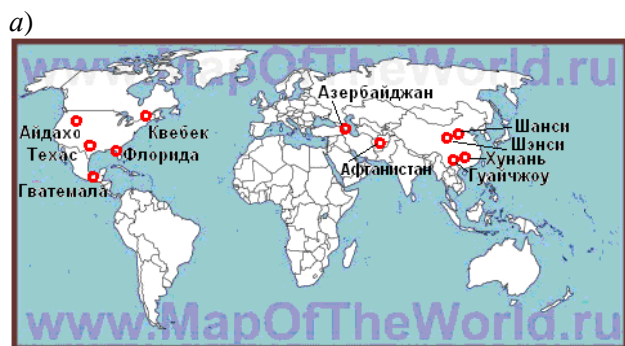


Рис. 11. Расположение на карте мира стран с наибольшим количеством провалов, опусканий и оползней (а) и зон, где максимальны избыточные отрицательные заряды в районе космодромов (б)

Механизм этого влияния космических запусков на инициирование провалов, опусканий и оползней заключается в следующем. При запусках ракет в зоне, приближенной к космодрому, в поверхностном слое Земли накапливается избыточный

положительный заряд. Он интенсифицирует увеличение интенсивности термодиффузионного притока отрицательно заряженных электронов и реонов, что приводит к резкому увеличению избыточного отрицательного заряда на ближайших к ним

территориях. Отрицательно заряженные частицы грунта отталкиваются, увеличивается толщина их двойных электрических слоев, особенно при сочетании с наводнением, грунт становится рыхлым или текучим. Это инициирует возникновение его провалов и опусканий. Со стороны ближайших массивов грунта с избыточным положительным зарядом, этот грунт испытывает притяжение и отрывается горизонтально от верха откоса или склона и рассыпается по поверхности даже с небольшим уклоном. При сочетании с обводнением (например, на побережье или при наводнении) грунт приобретает текучесть и может перейти в грязевой поток или сель. То есть, космические запуски приводят к накоплению избыточных положительных или отрицательных зарядов на больших территориях в направлении космического запуска, что инициирует возникновение провалов и опусканий грунта, отвесных оползней, а также растягивает пологие оползни на большую длину.

Таким образом, наибольшие провалы, опускания грунтов, уход воды, отвесные и сильно пологие оползни обусловлены накоплением больших избыточных зарядов в поверхностных слоях грунтов и сильно интенсифицировались с началом запуска космических ракет.

Новые представления о механизме изменения численности людей на Земле. Избыточный электрический заряд (и электрическое поле) являлся также главным фактором, оказывающим влияние на динамику

численности людей на Земле (их сохранения и, наоборот, бесследного исчезновения). В связи с этим, по динамике численности людей на Земле, по характеру и сохранности строительных сооружений и их материалов можно судить о разрушительной активности нашей планеты в целом, ее современном состоянии. Указанный фактор выразим формулой

$$K_{ИЗ} = e^{-\frac{F_{ОТТ}}{P_{ГР}}}, \quad (1)$$

где $F_{ОТТ}$ – сила электростатического отталкивания объекта (человека, сооружения) от Земли, Н; $P_{ГР}$ – сила гравитационного притяжения, Н.

Кроме того, существенным фактором являются воспроизводимость людей за счет их рождаемости и смертности, которую выразим коэффициентом K_B . Обычно его принимают равным 2 % (0,02). Соответственно, общую численность людей на Земле в период i можно выразить формулой

$$N_i = T_i \cdot K_B^2 \cdot e^{-\frac{F_{ОТТ}}{P_{ГР}}} / 1000000, \quad (2)$$

где N_i – численность людей на Земле в i -м году, людей; T_i – продолжительность существования, годы; 1000000 – переход к млн чел.

На рис. 12 приведены результаты расчета по формуле (2) и известные данные из [11] численности людей на Земле в период от 2 тыс. лет до рождества христового (Р.Х.) по настоящее время.

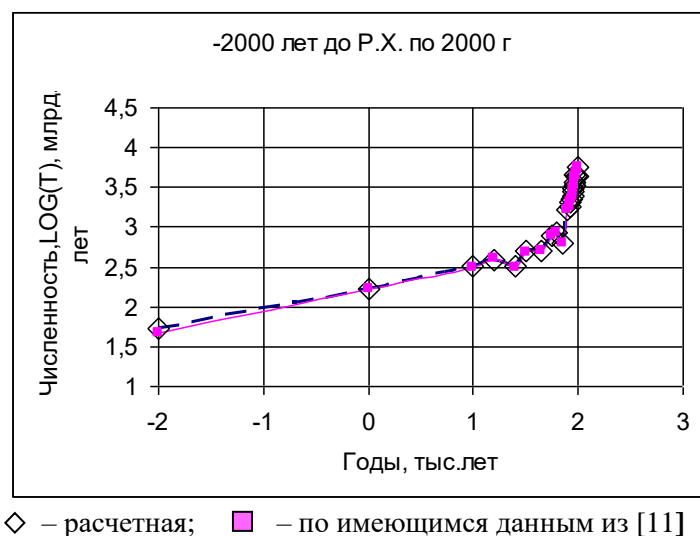


Рис. 12. Численность людей на Земле

Близость расчетных и известных данных по этим графикам свидетельствует о корректности представлений о существовании избыточного электрического заряда (и электрического поля Земли) и его влиянии на существование людей на ней. Следовательно, избыточный электрический заряд (и электрическое поле Земли) оказывали и оказывают определяющее влияние на все разрушительные процессы и явления на Земле.

Новые представления о механизме возникновения горизонтальных электрических сил и наклоне сооружений. Электрическое поле Земли поляризует все высокие строительные сооружения, в результате чего их верхняя часть приобретает избыточный отрицательный заряд, а нижняя – положительный. Это должно приводить к возникновению растягивающих продольных напряжений в конструкциях, ускоряющих трещинообразование и разрушение, и появлению горизонтальных электростатичес-

ких сил, стремящихся отклонить такие сооружения от вертикальной оси в течение практически всего времени их эксплуатации, что наблюдалось нами для опор контактной сети в [12]. В наибольшей степени такие отклонения должны проявиться в древних массивных сооружениях, например, древних башнях. Это действительно так, «падающих» башен насчитывается в мире большое количество [13].

Выполним проверку изложенной гипотезы на примере известных в мире «падающих башен», представленных на рис. 13-24 (из [13]). В каждом отдельном случае ищут причины на основе общинженерных представлений. Большинство из них является недоказанными, и, на наш взгляд, не причинами, а сопутствующими факторами. Существует много версий относительно причин наклона и так называемого падения рассмотренных и других башен. Все они разнообразны и практически не подтверждены.



Рис. 13. Пизанская башня



Рис. 14. Две башни Асинелли и Гарисенда в городе Болонья, Италия

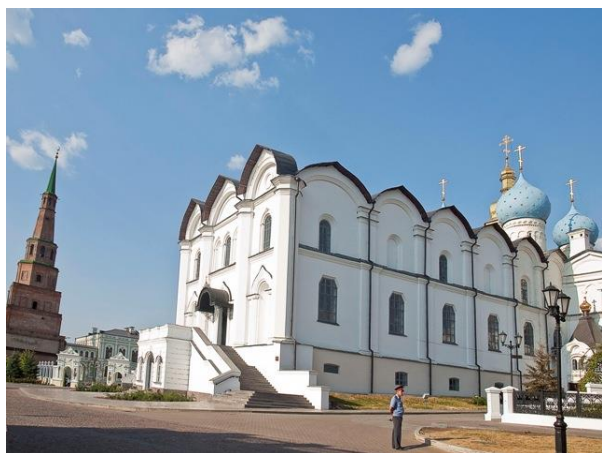


Рис. 15. Дозорная Башня Сююмбике, г. Казань, Татарстан



Рис. 16. Церковная колокольня в деревне Зуурхузен, недалеко от города Эмден, Германия, XV век



Рис. 17. Круглая башня монастиря Килмакду, Голуэй, Ірландія



Рис. 18. Падаюча башня в Бад-Франкенгаузені, Німеччина, 1382 г.



Рис. 19. Совиня башня фортечних стін, м. Пиржице, Польща



Рис. 20. Нев'янська башня і поруч Спасо-Преображенський собор



Рис. 21. Падаюча башня «Хучжу» в Шанхаї



Рис. 22. Падаюча башня в уезді Суйчжун, Китай, X-XII століття



Рис. 23. Падающая башня Ничю (Хучю)



Рис. 24. Наклонная башня Телук Интана, шт. Перак, Малайзия

Выполненный нами анализ характера наклона башен показывает, что все они наклонены в сторону от рядом расположенных больших сооружений, и лишь две башни – Сююмбике в Казанском кремле и Невьянская – в сторону расположенных рядом соборов. Отличительным является также наклон китайских пагод (башен), которые строят отдельно стоящими. Это позволяет предположить, что на все эти башни действует горизонтальная сила одной и той же природы, возникающая под действием электрического поля Земли и избытка различных по знаку зарядов на конструкциях и на поверхности различных участков и территорий Земли (горизонтальная составляющая электрического поля). Исходя из этого, нами разработаны представления о механизме возникновения таких сил электрической природы и, соответственно, механизме наклона башен.

По нашему мнению, неоднородность электрического поля Земли определяется главным образом макроколлоидными процессами и явлениями, из которых для рассматриваемого механизма наибольшее значение имеют следующие:

- перенос катионов грунта под влиянием потоков воды и дождя с возвышенных мест суши к побережью океана, моря или крупного водоема;

- диффузионное вымывание (вынос) катионов грунта побережья в воду океана, моря и текущей реки.

В результате на побережье возникает огромный избыточный положительный заряд, а на суше – отрицательный. Наиболее распространенный случай отклонения башен от рядом расположенных сооружений более наглядно проявляется для Пизанской башни от рядом расположенного собора Санта-Мария (рис. 13), а также для двух башен – Асинелли и Гарисенда (рис. 14). Электрическое поле Земли поляризует башни и собор, в результате чего их верхняя часть приобретает избыточный отрицательный заряд, и возникает горизонтальная сила отталкивания между ними. Так как собор имеет большую площадь опоры, под влиянием этой силы отталкивания наклоняется Пизанская башня. Башни Асинелли и Гарисенда близки по площади опирания, однако Асинелли более низкая, поэтому центр силы отталкивания у нее расположен выше, и она отталкивается в большей степени (рис. 14). Пизанская башня отклоняется в направлении юга, это направление не совпадает с направлением электрического поля (рис. 25). Это, а также взаимное отклонение башен Асинелли и Гарисенда, подтверждает справедливость указанных представлений.

Исследования показали, что наклон башен Сююмбике и Невьянской связан с укладкой чугунного пола в рядом расположенном Благовещенском соборе, а также в Невьянской башне и рядом расположенном Спасо-Преображенском соборе (рис. 26). С учетом этого рассмотрим схемы направления

наклонов башен. Согласно [14] во второй половине XVIII века в основном применялись чугунные плиты для пола российского производства размерами 70x70 см толщиной 2 см. Такие же размеры 720x720 мм и толщину 2 см имели чугунные плиты, которыми облицовывали цоколи столбов весовой Барнаульского завода, построенной в конце XVIII века [15], а также подоконники и верхние перемычки над окном демидовской тюрьмы в

Нижнем Тагиле [16]. Следовательно, чугунные плиты, уложенные в пол Благовещенского собора Казанского кремля, отлитые на Демидовском заводе в 1743 году, имели толщину 2 см и, соответственно, чугунный пол имел очень большую массу [17]. Таких же размеров и толщины уложены в пол и чугунные плиты Невьянской башни и рядом расположенного Свято-Покровского монастыря.



Рис. 25. Наклон Пизанской башни и направление электрического поля



Рис. 26. Чугунный пол Благовещенского собора Казанского кремля

Чугун характеризуется тем, что атомы и зерна железа, содержащегося в нем в подавляющем количестве, по сравнению с углеродом, спонтанно поляризуются в направлении каких-либо сдвигающих электроны внешних орбиталей поля, например, электрического, теплового или так называемого магнитного. Такими полями придают железу свойства постоянных магнитов. Это соответствует возникновению огромных по величине электрических дипольных моментов на зернах и, соответственно, кусках или листах чугуна.

Сплошной чугунный пол в течение определенного времени поляризуется в направлении Северного электрического (так называемого магнитного) поля Земли, создавая вдоль поверхности пола огромный электрический дипольный момент и, соответственно, электрическое поле. Это обусловлено тем, что диэлектрическая

проницаемость железа огромна по сравнению с неметаллическими материалами. В результате поле Земли (напряженность в среднем 130 В/м) полностью нейтрализуется противопологом чугунного пола. В то же время поле чугунного пола поляризует чугунный сплошной каркас собора положительным полюсом с его северной стороны и отрицательным полюсом с южной. То есть возникает своеобразный вертикально расположенный конденсатор с горизонтально направленным диполем над землей в направлении север-юг.

На каркасе Невьянской башни возникает такой же диполь, но противоположного направления. Они притягиваются силой $f_{прит}$, а их рядом расположенные положительные полюса отталкиваются силой $f_{отт}$. Равнодействующая сила $f_{РАВН}$ и наклон башни в результате принимают юго-западное направление (рис. 27, а).

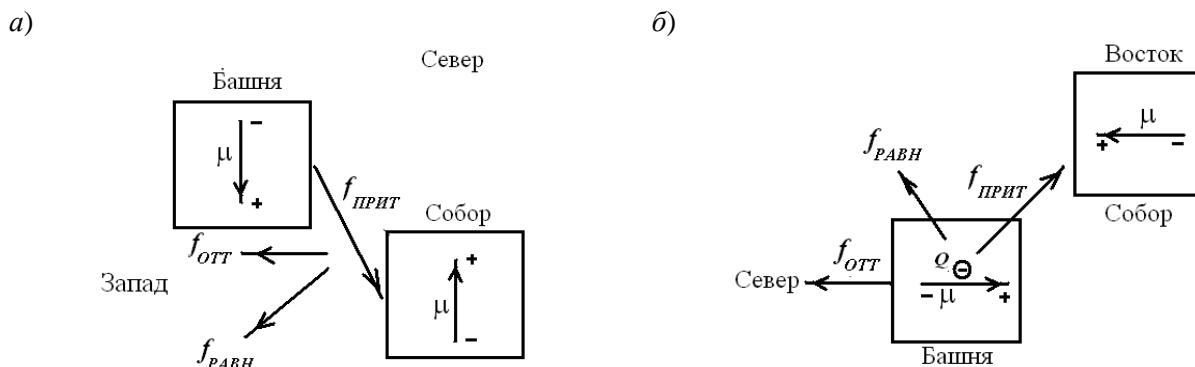
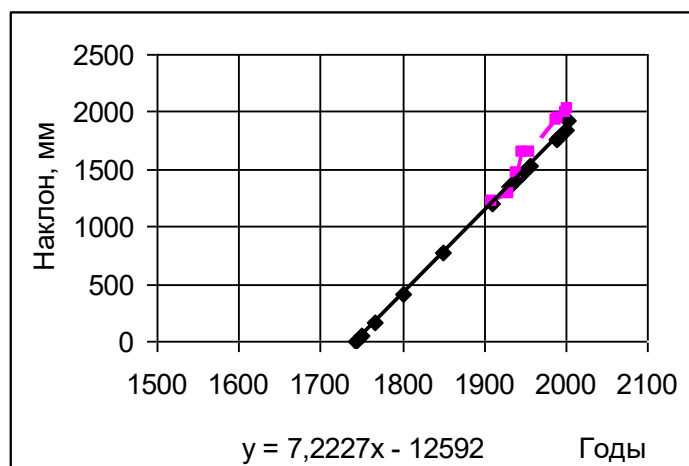


Рис. 27. Схема возникновения равнодействующей силы, наклоняющей Невьянскую (а) башню и башню Сююмбике (б)

В отличие от Невьянской, башня Сююмбике не имеет чугунного пола, поэтому она поляризуется электрическим полем Земли с образованием противоположно направленного диполя, отталкивающегося от диполя собора. Вместе с тем она также поляризуется полем Земли с возникновением в ее верхней части большого отрицательного заряда, который притягивается к положительному полюсу дипольного момента собора. В результате башня отталкивается от собора силой $f_{отт}$ и притягивается к нему своим верхом силой $f_{прит}$. Результирующая этих сил и,

соответственно, наклон направлены на северо-запад (рис. 27, б), что совпадает с действительным наклоном башни Сююмбике. Данные об изменении крена башен во времени по [18] приведены на графике (рис. 28). С учетом того, что Невьянская башня изогнулась, очевидным является периодическая утрата чугунным каркасом и кирпичной кладкой упругости с переходом к пластическим свойствам. В башне Сююмбике этого не происходило в связи с отсутствием сплошного чугунного или железного каркаса по высоте.



■ – измеренные значения; ■ – по уравнению тренда

Рис. 28. Величина наклона башни Сююмбике по годам

Изложенное свидетельствует о реальном существовании электрических полей, направленных нормально к поверхности Земли и вдоль Северного и Южного полюсов или в

других направлениях вдоль поверхности Земли, вызывающих огромные силы, действующие на большие и высокие сооружения, а также

влияющие на полную или частичную потерю упругих свойств строительных материалов в них.

Определение значений наклона по уравнению тренда в программе Excel применено для экстраполяции значений к начальному состоянию башни и, соответственно, ориентировочному определению даты начала прогибов. По данным измеренных значений (рис. 28, верхняя кривая) видно, что наклон изменялся практически линейно в течение 1910-1941 годов. К 1946 году он существенно увеличился. Это, очевидно, связано с военным периодом, когда на территории кремля находились эвакуированные заводы и танковое училище, в частности, возникали большие вибраций, особенно когда вблизи нее проходили танки [19].

После войны в 1950-е годы на состояние башни безусловное влияние оказывало строительство защитной дамбы, а вслед за этим – водохранилища на реке Казанка и всего волжского комплекса. В связи с этим для экстраполяции наклона башни в начальный период ее существования был выбран период 1910-1941 годы, когда условия ее эксплуатации башни были максимально близкими к предшествующему периоду. Соответствующий такой экстраполяции график свидетельствует о том, что наклон башни начался в примерно в 1740 году. Это время соответствует появлению в России демидовских чугунных листов для пола. Следовательно, как и для Невьянской башни, наклон башни Сююмике связан с укладкой чугунных полов в Благовещенском соборе Кремля при его реконструкции.

Башни Китая "Хучжу" и башня в уезде Суйчжун, имеющие сильный наклон в одинаковом направлении – восточном, расположены, соответственно, в Шанхайском районе на побережье Восточно-китайского моря и в уезде Суйджун провинции Ляонин на побережье залива Бохайвань. В отличие от подавляющего большинства китайских башен и пагод, построенных в основном из дерева, они построены из кирпича и камня. Обе башни имеют со стороны обратной наклону сильные разрушения, обусловленные вышележающим раствором и выпадением камня и кирпича.

Как доказано в [20], на поверхности морских побережий и больших водоемов устанавливается разность избыточных зарядов (потенциалов) между прибрежной зоной и вышележающей береговой сушей за счет переноса дождевыми водами катионов с возвышенного побережья в море. Соответственно, возникает макроэлектродное поле с положительным полюсом на побережье и отрицательным на вышележающей береговой суше. В то же время башни поляризованы электрическим полем Земли по высоте, при этом верх башни имеет отрицательный избыточный заряд, а низ – положительный. В результате верх башни постепенно наклоняется в сторону побережья моря или водоема с избыточным положительным потенциалом. Это обеспечивает наклон и даже изгиб (рис. 21) башни «Хучжу» в Шанхае и башни в уезде Суйчжун провинции Ляонин в сторону берега Восточно-китайского моря и залива Бохайвань (рис. 29).



Рис. 29. Башня в Суджуне и башня «Хучжу» на карте Китая

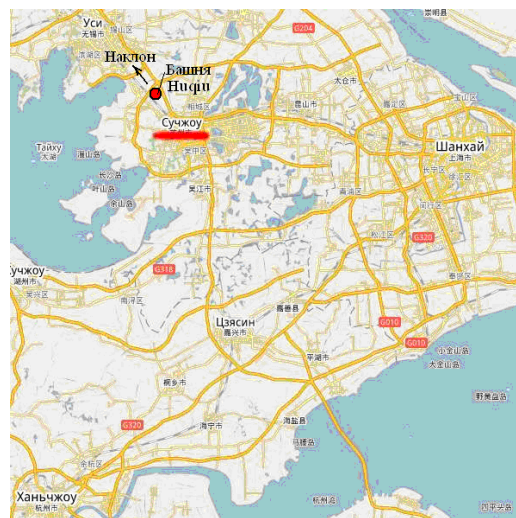


Рис. 30. Направление падения башни Хучю и направление электрополя у озера Тайху

Такой механизм подтверждается наклоном падающей башни Нициу (Хуццо) в северо-западном направлении к озеру Тайху

(рис. 30) и наклоном башни Телук Интана, шт. Перак, Малайзия к юго-западу (рис. 31).



Рис. 31. Провинция Перак

Выводы. Наибольшие провалы, опускания грунтов, уход воды, отвесные и сильно пологие оползни, наклон древних башен, различные разрушения конструкций обусловлены накоплением больших избыточных зарядов различных знаков в поверхностных слоях грунтов, а также влиянием вертикальной и горизонтальной составляющих электрического поля Земли глобального и локального масштабов и соответствующей поляризацией конструкций. Эти процессы сильно интенсифицировались в

последние десятилетия с началом запусков космических ракет.

Горизонтальная составляющая электрического поля локального масштаба возникает под влиянием макроколлоидных процессов и явлений, основными из которых являются перенос катионов в грунтах с возвышенных мест к побережью моря или водотока, а также вынос этих катионов из побережья в воду океана, моря или водотока и катионов Ca^{2+} из конструкций.

Список использованных источников

1. Плугин, А.Н. Исследования и обнаружение новых особосложных условий эксплуатации сооружений и конструкций за счет избыточных зарядов на поверхности Земли [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз, Д.А. Плугин, Ал.А. Плугин // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 2. – С.13-16.
2. Самые ужасные провалы грунта [Электронный ресурс] / Бугага. – Режим доступа: <http://www.bugaga.ru/interesting/1146739292-top-10-samy-e-uzhasnye-provaly-grunta.html>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
3. Гигантские провалы в земле [Электронный ресурс] / Politicon. – Режим доступа: <http://politicon1.at.ua/forum/38-3269-1>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
4. Земля мстит людям за созданный хаос [Электронный ресурс] / Гипотезы и факты. – Режим доступа: <http://gifakt.ru/archives/index/zemlya-mstit-lyudyam-za-sozdannyj-haos>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
5. Провал грунта на мосту в Чебоксарах [Электронный ресурс] / Катастрофы, стихийные бедствия, природа, погода, климат. – Режим доступа: <http://stormnews.ru/?p=7099>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
6. Оползни: тихое, но смертельное стихийное бедствие [Электронный ресурс] / Невероятно, но факт. – Режим доступа: <http://www.chuchotezvous.ru/natural-disasters/501.html>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
7. Высотный новый дом рухнул в Александрии [Электронный ресурс] / Metro. – Режим доступа: <http://www.metronews.ru/novosti/vysotnyj-novyj-dom-ruhnul-v-aleksandrii-est-zhertvy>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
8. Топ 10 самых разрушительных явлений природы [Электронный ресурс] / DeKaTop. – Режим доступа: <http://dekator.com/archives/3707>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).

9. Из-за оползней на Батыевой горе будут отселения [Электронный ресурс] / Ukrnews24.net. – Режим доступа: <http://kiyany.obozrevatel.com/life/47908-iz-za-opolznej-na-batyevoj-gore-budut-otseleniya.htm>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
10. Самые крупные оползни в истории [Электронный ресурс] / Катастрофы и стихийные бедствия. – Режим доступа: <http://katastrofam-net.ru/samyie-krupnyie-opolzni-v-istorii.html>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
11. Капица, С.П. Сколько людей жило, живет и будет жить на земле. Очерк теории роста человечества [Электронный ресурс] / С.П. Капица // Режим доступа: <http://malchish.org/lib>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
12. Плугин, Д.А. Развитие теории электрокоррозии обводненных конструкций и разработка электрокоррозионностойких материалов и способов защиты [Текст]: дисс. ... докт. техн. наук: спец. 05.23.05 / Д.А. Плугин. – Укр. гос. акад. жел.-дор. тр-та. – Х., 2014. – 420 с.
13. Немного просчитались: 10 падающих башен со всего мира [Электронный ресурс] / Novate. Архитектура. – Режим доступа: www.novate.ru/blogs/070114/25043. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
14. Старинные чугунные лестницы и полы [Электронный ресурс] / Мастерские братьев немцев. – Режим доступа: http://artkamin.com/fer_inter. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
15. Юдин, М.А. Барнаульский сереброплавильный завод [Электронный ресурс] / Судьбы. Михаил Андреевич Юдин. – Режим доступа: <http://new.hist.asu.ru/biblio/sudbi/B8.html>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
16. Слукин, В. Тайны уральских подземелий [Электронный ресурс] / В.М. Слукин. – Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1988. – 272 с. // Уральская библиотека. – // Режим доступа: http://urbibl.ru/Knigi/slukin_ur_podzem_10.htm. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
17. Снести нельзя отреставрировать [Электронный ресурс] / KazanFirst. – Режим доступа: <http://kazanfirst.ru/feed/8034>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.07.2014).
18. Галимшин, Р.А. Исследование действительного состояния башни "Сююмбике" казанского кремля [Электронный ресурс] / Р.А. Галимшин, А.З. Манапов, А.А. Абдюшев // Известия КГАСУ. – 2005. – №1 (3). – Режим доступа: [http://izvestija.kgasu.ru/files/N1\(3\)2005/Galimshin_62-67.pdf](http://izvestija.kgasu.ru/files/N1(3)2005/Galimshin_62-67.pdf). (Дата обращения: 15.07.2014).
19. Хайрутдинов, Р.Р. Сохранить наше народное достояние»: Архитектурный ансамбль Казанского кремля в 1940–1950-е гг. [Электронный ресурс] / Р.Р. Хайрутдинов, А.Ш. Кабирова // Научный Татарстан. – 2011. – № 2. Режим доступа: <http://www.antat.ru/cgi-bin/img.pl/files/NT2011/NT-2-2011-3.pdf>. (Дата обращения: 15.07.2014).
20. Плугин, А.Н. Разработка схем протекания постоянных токов утечки через бетонные и железобетонные конструкции [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Д.А. Плугин, Л.В. Трикоз, Ал.А. Плугин // 36. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х., 2014. – Вип.143. – С.115-124.

Плугін Аркадій Миколайович, д-р хім. наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: plugin.star@mail.ru.
Трикоз Людмила Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net.
Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: plugin-aa@rambler.ru.
Плугін Дмитро Артурович, д-р техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: plugin-da@mail.ru.
Конев Олександр Анатолійович, інженер кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: konev_0411@mail.ru.
Борзяк Ольга Сергіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: borzjaka@rambler.ru.

Plugin Arkadij, doct. of chem. sciences, professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: plugin.star@mail.ru.
Trykoz Liudmyla, cand. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net.

Plugin Andrij, doct. of techn. sciences, professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: plugin-aa@rambler.ru.

Plugin Dmitrij, cand. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: plugin-da@mail.ru.

Konev Oleksandr, engineer Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: konev_0411@mail.ru.

Borziak Olga, cand. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: borzjaka@rambler.ru.

УДК 624.012.41:620.193.2

РОЗПОДІЛ КОРОЗИЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА АРМАТУРІ ПЕРІОДИЧНОГО ПРОФІЛЮ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Д-р техн. наук В.О. Бондар, канд. техн. наук Л.В. Бондар,
старш. викл. В.О. Сушко

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА АРМАТУРЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Д-р техн. наук В.А. Бондар, канд. техн. наук Л.В. Бондар,
старш. преп. В.А. Сушко

DISTRIBUTION CORROSION PROCESS FOR REINFORCED STEEL PERIODIC PROFILE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Doct. of techn. sciences V.O. Bondar, cand. of techn. Sciences L.V. Bondar,
Senior lecturer V.O. Sushko

У даній роботі використувавши двовимірне диференційне рівняння Лапласа, що описує дифузне поле концентрації анодних і катодних деполяризаторів, виявлені основні закономірності розподілу корозійного процесу на арматурі періодичного профілю.

Розроблена математична модель яка з достатнім наближенням описує динаміку корозійного процесу на арматурі періодичного профілю. Показано, що корозійні процеси на арматурі призводять до вирівнювання профілю арматури.

Ключові слова: залізобетон, корозія, корозійна стійкість, арматура.

В данной работе используя двумерное дифференциальное уравнение Лапласа, описывающее диффузное поле концентрации анодных и катодных деполяризатора, выявлены основные закономерности распределения коррозионного процесса на арматуре периодического профиля.

Разработана математическая модель, которая с достаточным приближением описывает динамику коррозионного процесса на арматуре периодического профиля. Показано, что коррозионные процессы на арматуре приводят к выравниванию профиля арматуры.

Ключевые слова: железобетон, коррозия, коррозионная стойкость, арматура.

In determining the service life of reinforced concrete structures in restoring structures that operate in aggressive environments, the question arises determining the degree of corrosion of reinforcement. In this work have used two-dimensional differential equation Laplace. It describes the diffuse field concentration anodic and cathodic depolarizers. The basic patterns of distribution of the corrosion process on a periodic profile reinforcement with depolarizer diffusion through concrete surface.

The developed mathematical model for reinforcement corrosion periodic profile. Model approximated describes the dynamics of the corrosion process. Periodic reinforcement profile makes her uneven surface in aggressive environments. As a result, there is an unequal distribution corrosive of currents.

Chlorides is a standard aggressive environment for corrosion research reinforcement. Therefore, researches it has been used this environment. Since research shows that corrosion processes change the profile reinforcement. Profile of reinforcement leveled.

Keywords: reinforced concrete, corrosion, corrosion resistant fittings.

Постановка проблеми. За даними відомих російських спеціалістів із теорії залізобетону [1,7] думка про абсолютний захист арматури в бетоні залізобетонних конструкцій не вірна.

З кожним роком спостерігається тенденція до підвищення ступеню агресивної дії середовищ на залізобетонні конструкції будівель і споруд. Це пов'язують з інтенсифікацією технологічних процесів, зі зростанням фонду будівель і споруд, запаси міцності будівельних конструкцій в яких значно зменшилися в результаті дії корозійних середовищ, широким використанням в будівництві конструкцій, що мають зменшену корозійну стійкість (попередньо-напружених, тонкостінних та ін.).

Аналіз причин ушкоджень залізобетонних конструкцій вказує на те, що переважною причиною виходу їх з ладу є процес корозії сталеві арматури при доступі активуючих електролітів – розчинів солей та ін.

В даному випадку при виконанні відновлюваних робіт на залізобетонних конструкціях виникає питання визначення ступеня корозії арматури.

Як показали обстеження ряду залізобетонних конструкцій, що експлуатуються в таких умовах [4], періодичний профіль арматури приймає активну участь в розподілі корозійних ділянок на її поверхні. Тому виникає необхідність в дослідженні закономірностей корозії арматури періодичного профілю.

Формулювання цілі роботи. Виявити основні закономірності розподілу корозійного процесу на поверхні арматури періодичного профілю при дифузії деполяризатора (кисню) через бетонне покриття.

Аналіз останніх досліджень. Для оцінки атмосферної корозії арматури залізобетонних конструкцій використовуються емпіричні залежності [6,8]. Такі залежності дозволяють отримати наближені результати. Зважаючи на те, що корозія арматури в бетоні носить електрохімічний характер, ряд розробок зорієнтовані на використання електрохімічних і

електричних параметрів при розрахунках корозії арматури. Так, в роботі [9] запропонований метод визначення розподілу корозії арматури залізобетонних конструкцій, що базується на використанні потенціодинамічних поляризаційних вольт-амперних характеристик і узагальненого закону Фарадея.

Грунтовими дослідженнями в [2] було доведено, що вологий стан бетону має вирішальний вплив на корозію арматури в залізобетонних конструкціях. Обмін середовища у поверхні арматури обмежений і може виконуватися лише за рахунок рідини і газів в капілярах і порах бетону. При відносній вологості повітря більше 80 % корозія арматури в бетоні обмежена катодним процесом, тобто швидкістю надходження кисню до поверхні арматури. Тому в роботі [5] в якості базової була прийнята модель корозії, що враховує дифузійні процеси при надходженні кисню до поверхні арматури.

Математична модель корозії арматури в бетоні, що описане в роботі [11], також отримана на основі дифузійних рівнянь із балансу маси, балансу електричного заряду, енергетичного балансу, із врахуванням нерівності ентропії.

Виявлення не розв'язаних раніше частин проблеми. Загальним недоліком розроблених моделей корозії арматури є те, що корозійний стан арматури не ув'язується із геометрією її профілю, що не дає можливості точно оцінити втрати площі перерізу при її корозії.

Виклад основного матеріалу. Вологий бетон є провідником 2-го роду, тому процес корозії арматури у ньому можливо розглядати з позиції звичайної електрохімічної теорії корозії металів в електролітах.

Періодичний профіль арматури робить її поверхню не рівнодоступною по відношенню до компонентів електроліту, що призводить до суттєвих змін у розподілі корозійних струмів на поверхні арматури у поздовжньому напрямку.

Теоретичний аналіз корозійних процесів в даних умовах проведено на математичній моделі, у який границя фаз "бетон – метал"

представлений у вигляді синусоїдального слабко вигнутого профілю:

$$y = H \sin kx, \quad (1)$$

де H – амплітуда; $k = 2\pi/L$; L – період; x, y – поточні координати. Причому $Hk < 1$.

Будемо вважати, що масоперенос анодних і катодних деполяризаторів у поверхні арматури, що кородує, визначаються дифузією, що на достатній відстані від межі фаз щільність струму постійна. При таких припущеннях у стаціонарних умовах задача зводиться до сумісного рішення двовимірних рівнянь Лапласа, що описують дифузне поле анодних і катодних деполяризаторів

$$\Delta \vec{N} = 0 \quad (2)$$

при наступних граничних умовах:

а) рівняння форми границі фаз

$$y = H \sin kx; \quad (3)$$

б) умова сталих значень щільності струму на значній відстані від границі фаз

$$\begin{aligned} -i &= \sigma_1 \frac{\partial C^1}{\partial y} = i_{\text{eod}}; \\ -i &= \sigma_2 \frac{\partial C^2}{\partial y} = i_{\text{eod}}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} C^1 = C_a &= \frac{i_{\text{eod}}}{k\sigma_a} \left[V - h \left(-e^{-V} (A \cdot \sin kx + B \cdot \cos kx) + \sin kx \right) \right]; \\ C^2 = C_a &= \frac{i_{\text{eod}}}{k\sigma_a} \left[V - h \left(-e^{-V} (A \cdot \sin kx + B \cdot \cos kx) + \sin kx \right) \right], \end{aligned} \quad (6)$$

де $V = ky - h \sin kx$;

$h = kH$, A і B – сталі інтегрування.

Розподіл анодного корозійного струму по синусоїдальному профілю у першому наближенні має вид:

$$i_a(x) = k\sigma_a \left(\frac{\partial C_a^0}{\partial V} + h \frac{\partial C_a^1}{\partial V} \right) \text{ при } V = 0. \quad (7)$$

в) умови поєднання процесів на поверхні поділу фаз

$$\sigma_1 \frac{\partial C^1}{\partial y} = \sigma_2 \frac{\partial C^2}{\partial y}; \quad (5)$$

г) умова екіпотенціальності поверхні арматури, потенціал якої дорівнює стаціонарному потенціалу, $E_{\text{ст}}$.

В рівняннях (2-5):

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \text{ - оператор Лапласа;}$$

C^1, C^2 - концентрації анодного і катодного деполяризаторів;

$$\sigma_1 = Z_a D_a F; \sigma_2 = Z_k D_k F;$$

Z - заряд іонів, що дифундують;

D - коефіцієнт дифузії відповідних деполяризаторів;

F - число Фарадея;

$i_{\text{кор}}$ - середня щільність струму корозії;

$\frac{\partial C}{\partial n}$ - похідна по нормалі до профілю.

Рівняння (2) вирішувалось методом збурення, представляючи концентрації у вигляді рядів по малому параметру kH .

Скориставшись запропонованими прийомами в [3], граничними умовами (3-5), отримано наступне рішення рівняння (2):

Після підстановки $\frac{\partial C_a^0}{\partial V}$ і $\frac{\partial C_a^1}{\partial V}$ отримали

рівняння для визначення розподілу корозійного струму по синусоїдальному профілю у першому наближенні:

$$i_a(x) = i_{\text{eod}} \left[1 + h(A \cdot \sin kx + B \cdot \cos kx) \right]. \quad (8)$$

Для визначення сталих A і B скористались відомими формулами для

визначення стаціонарного потенціалу на метали в умовах, коли анодні і катодні реакції визначаються дифузією [10]

$$E_{\bar{n}\delta} = E_a^0 + b_a \ln \frac{C_{as}}{C_{ao}},$$

$$E_{\bar{n}\delta} = E_k^0 + b_k \ln \frac{C_{ks}}{C_{ko}}, \quad (9)$$

де E_a^0 , E_k^0 – рівноважні потенціали анодного і катодного деполяризаторів;

C_{as} , C_{ks} , C_{ao} , C_{ko} – концентрації анодних і катодних деполяризаторів у поверхні і в об'ємі розчину;

$$b_a = \frac{RT}{Z_a F}; b_k = \frac{RT}{Z_k F}.$$

Після підстановки А і В у (8), отримаємо:

$$i_a(x) = i_{\bar{n}\delta} (1 + Hk \cdot \sin kx). \quad (10)$$

Використавши закон Фарадея можливо виразити зміни за часом амплітуди профілю:

$$-dH = \frac{M}{\rho \cdot Z_a \cdot F} (i_{\wedge} - i_{\vee}) dt. \quad (11)$$

де M і ρ – молекулярна маса і густина металу, що розчиняється; i_{\wedge} і i_{\vee} – щільність струму розчинення металу на гребенях і між гребенями профілю; Z_a – валентність іонів анодного деполяризатора; F – число Фарадея.

Так як

$$i_{\wedge} - i_{\vee} = [(1 + Hk) - (1 - Hk)] \cdot i_{\bar{n}\delta} = 2i_{\bar{n}\delta} \cdot kH,$$

то (11) можливо переписати в наступному виді:

$$\frac{dH}{H} = -A \cdot dt, \quad (12)$$

де $A = \frac{M}{\rho \cdot Z_a \cdot F} \cdot 2i_{\bar{n}\delta} \cdot k.$

Загальне рішення диференціального рівняння (12).

Після підстановки початкових умов

$$H|_{t=0} = H_0 \text{ і потенціювання, отримаємо:}$$

$$H = H_0 \cdot e^{-At}, \quad (13)$$

Якщо вважати, що товщина прокородованого металу

$$\delta = \frac{2M}{\rho \cdot Z_a \cdot F} \cdot t,$$

то

$$H = H_0 \cdot e^{-\delta \cdot k}. \quad (14)$$

Адекватність прийнятої моделі було перевірено експериментально на відрізках арматурних стрижнів періодичного профілю №36 по ГОСТ 5781-82. Коли арматура знаходиться в контакті із агресивним розчином, що накопився в бетоні, то в таких умовах зберігається ряд загальних закономірностей, які відповідають корозії сталі при повному зануренні в електролітичний розчин. Тому в якості корозійного середовища використано розчин 3% NaCl, у якому витримувалися відрізки арматурних стрижнів протягом 4-х місяців (2880 годин). Середня швидкість корозії арматурної сталі в 3%-му розчині NaCl – $i_{\text{кор}} = 0,000003 \text{ A/cm}^2$.

На зразках були зняті профілографи до корозії та після витримки в корозійному розчині. Середня висота гребенів арматури до випробувань $h_r = 2,0565$ мм, після випробувань – $h'_r = 2,0169$. Суттєвих змін у відліках на профілограмах між гребенями не спостерігалось. Тобто, спостерігався вирівнюваний ефект. В якості показника вирівнювального ефекту арматурного стержня вибрано відношення $h'_r:h_r$, яке в даному випадку складало

$$h'_r/h_r = 2,0169/2,0565 = 0,98.$$

Згідно (14) в якості вирівнювального ефекту може бути вибрано

$$H/H_0 = 1/e^{\delta \cdot k}.$$

Товщина прокородованого металу буде:

$$\delta = \frac{2M \cdot i_{\bar{n}\delta} \cdot t}{\rho \cdot Z_a \cdot F} = \frac{2 \cdot 56 \cdot 0,000003}{8,7 \cdot 2 \cdot 26,8} \cdot 2880 = 0,0021;$$

$$k = \frac{2\pi}{L} = \frac{2 \cdot 3,14}{0,14} = 15,3;$$

$$\delta \cdot k = 0,0021 \cdot 15,3 = 0,032.$$

Тоді

$$\frac{H}{H_0} = \frac{1}{e^{0,032}} = 0,97.$$

Таким чином, значення вирівнювального ефекту, отримане за прийнятою моделлю і експериментально мало відрізняються.

Висновки. На розподіл корозійного струму суттєвий вплив має геометрія арматурного профілю.

Теоретично і експериментально підтверджено, що в умовах низькопотенціальної корозії на арматурному профілі спостерігається ефект вирівнювання поверхні.

Розроблена модель з достатнім наближенням може характеризувати реальний корозійний процес на арматурному періодичному профілі.

Список використаних джерел

1. Алексеев, С.Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций [Текст] / С.Н. Алексеев // Защита строительных конструкций от коррозии. – М.: Гостройиздат, 1961. – С. 25-39.
2. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах [Текст] / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шиссель. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
3. Барабошкин, А.Н. О микрораспределении тока на катоде при электролитическом выделении осадков с низкой электропроводностью [Текст] / А.Н. Барабошкин, М.И. Брейнин // Труды института электрохимии Уральского филиала АН СССР, 1986. – Вып. 11.
4. Бондарь, В.А. Особенности коррозии арматуры периодического профиля [Текст] / В.А. Бондарь // Известие вузов. Строительство. – 1992. - №4. – С. 114-115.
5. Бондарь, Л.В. Арматурный стержень как корродирующий элемент [Текст] / Л.В. Бондарь, В.А. Бондарь // Тези доповідей Міжнародної наук.-техн. конференції «Розвиток технічної хімії в Україні», 1-3 листопада, 1995. – Харків, 1995. – Вип. 1. – С. 205.
6. Кузнецов, Ю.Д. Особенности долговечности железобетонных конструкций при реконструкции промышленных предприятий [Текст] / Ю.Д. Кузнецов, И.Н. Заславский. – К.: Будівельник, 1985. – 112 с.
7. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
8. Полак, А.Ф. Коррозия железобетонных конструкций зданий нефтяной промышленности [Текст] / А.Ф. Полак, В.Б. Ратинов, Г.Н. Гофман. – М.: Стойиздат, 1987. – 159 с.
9. Червоная, М.Е. Определение коррозионной стойкости арматуры [Текст] / М.Е. Червоная, А.С. Кошмат // Строительные материалы и конструкции. – 1986. – №4.
10. Феттер, К. Электрохимическая кинетика [Текст] / К. Феттер. – М.: Химия, 1967. – 176 с.
11. Zyburg Adam. Opis elektrodyfuzyjne procesu korjzji zbrojenia w zelbecie // Arch. inz. lad. - 1989. - 35. №4. - p. 63-67.

Бондар Віктор Олександрович, д-р техн. наук, професор, кафедра технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка.

Бондар Людмила Вікторівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка.

Сушко Володимир Олексійович, старший викладач, кафедра технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка.

Bondar Viktor Oleksandrovych, doctor of technical science, professor, department of technology building designs, products and materials, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university.

Bondar Ludmila Viktorovna, candidate of technical science, associate professor, department of technology building designs, products and materials, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university.

Sushko Vladimir Alekseevich, senior lecturer, department of technology building designs, products and materials, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university.

УДК 544.032

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАДЛИШКОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАРЯДІВ ТА ЕЛЕКТРОПОЛІВ ЗЕМЛІ НА ПОШКОДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ, ЩО РЕКОНСТРУЮЄТЬСЯ

**В.В. Бевза, інж. О.А. Конєв,
канд. техн. наук О.В. Афанасьєв**

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ЗАРЯДОВ И ЭЛЕКТРОПОЛЕЙ ЗЕМЛИ НА ПОВРЕЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РЕКОНСТРУИРУЕМОГО ЗДАНИЯ

**В.В. Бевза, инж. А.А. Конев,
канд. техн. наук А.В. Афанасьев**

ANALYTICAL STUDY OF THE EFFECT OF EXCESS ELECTRICAL PERSERIES AND ELECTRIC FIELDS EARTH ON THE DAMAGE STRUCTURES

V.V. Bevza, engineer O.A. Konev, cand. of techn. sciences O.V. Afanasyev

Представлено результати аналітичних досліджень виникнення надлишкових зарядів у конструкціях будівлі, реконструкція якої передбачена дипломним проектом. Передбачені міри по захисту конструкцій від руйнуючої дії надлишкових зарядів.

***Ключові слова:** будівля, залізобетон, надлишкові заряди, електрополе Землі, руйнування, захист.*

Представлены результаты аналитических исследований возникновения избыточных зарядов в конструкциях здания, реконструкция которого представлена в дипломном проекте. Предусмотрены меры по защите конструкций от разрушительного действия избыточных зарядов.

***Ключевые слова:** здание, железобетон, избыточные заряды, электрополе Земли, разрушение, защита.*

The results of analytical studies of the emergence of excess charges in the structure of the building , reconstruction which provides diploma . There are measures to protect structures from the damaging effects of excessive charges.

***Keywords:** building, reinforced concrete, excess charges electric fields Earth, destruction, protection.*

Вступ. Дослідження, що виконувалися при розробці даної статті використовуються для захисту будівель і споруд з монолітного залізобетону у будівельній галузі. Дозволяють забезпечити довговічність та надійність будівель.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Переважним методом зведення будівель в колишньому СРСР було будівництво зі збірного залізобетону. З переходом будівельного комплексу на ринкові відносини цей метод почали замінювати на будівництво з монолітного залізобетону, що в теперішній час

стало переважним методом будівництва [1]. Однак монолітне будівництво має і недоліки, серед яких важливими для надійності є поява тріщин, що часто закінчуються руйнуванням конструкцій або і будівель. Вважають, що основною причиною цих пошкоджень є вітрові та температурні фактори, що призводять до нахилів, коливань, кручень і т.д. у висотних будівлях.

Проте нові уявлення, що розроблені на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДАЗТ, дають основу для висновку, що причинами виникнення таких пошкоджень є надлишкові електричні заряди та електрополя Землі.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є захист об'єкту що будується у м Вінниця по вул. Київська та є також і темою кваліфікаційної дипломної роботи на основі досвіду наукових досліджень кафедри БМКС УкрДАЗТ.

Основна частина досліджень. На всі висотні будівлі діє вертикальне негативне електрополе Землі напруженістю E , рис. 1, та горизонтальне електрополе між океаном (річкою) і сушею E_{o-c} (позитивним знаком в сторону водойми і негативним – до суходолу) [2]. Електрополе Землі E_z наводить на будівлю величезний вертикальний дипольний момент μ_r і електрополе поляризації, що направлені в сторону річки негативним полюсом, а в сторону суходолу – позитивним полюсом.

Електрополе Землі виникає по так званому механізму термодифузії, який заключається у наступному. Так як температура ядра Землі (приблизно 6000°C) набагато вище температури її верхніх шарів, виникає термодифузія електронів з ядра до поверхні, що призводить до виникнення надлишкового електричного заряду Q на поверхні Землі і, відповідно, електростатичного поля, рис. 1. На теперішній час середня напруженість цього поля становить $E = -130 \text{ В/м}$ и та змінюється в

межах від -1000 до $+200 \text{ В/м}$. На великих площі ділянках Землі надлишкові заряди можуть набувати значних величин.

Крім того, споруда, що будується в дипломному проекті знаходиться в зоні, розміщені на висоті, по відношенню до ріки Південний Буг, рис. 2. По нормалі до річки між її берегом та суходолом виникає, як указувалось, електрополе с позитивним знаком, обернуте до річки, а негативним полюсом в сторону суходолу. Відповідно, конструкції будівлі попадають під дію цього електрополя. Зі сторони ріки вони набувають надлишкового позитивного заряду, а з протилежної сторони – негативний.

Крім цього, під дією електрополя Землі поляризувались арматурні стержні негативним полюсом вверху і позитивним до плити балкону. Те ж в плитах покриття – відємним на поверхні і позитивним з нижньої сторони. Це ще більше підсилило електрокорозію. І ще одним фактором виникнення надлишкових зарядів в конструкціях будівлі є струми витоку рейсів трамвайної колії, що проходить неподалік.

На рис. 3 представлений стан конструкцій будівлі з бічної сторони будівлі.

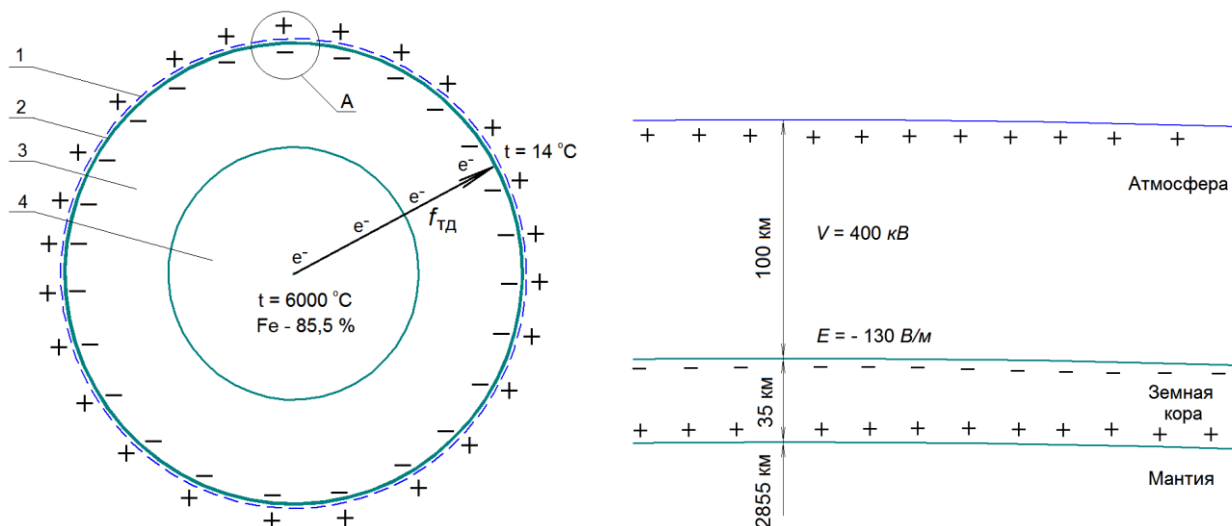


Рис. 1. Схема формування надлишкового електричного заряду і потенціалу на поверхні Земної кори за рахунок термодифузії електронів заліза, в напрямку від ядра Землі до її кори:

- 1 – атмосфера, $h \approx 100 \text{ км}$; 2 – Земна кора; $\delta \approx 35 \text{ км}$;
- 3 – мантія, $\delta \approx 2855 \text{ км}$; 4 – ядро, $r \approx 3488 \text{ км}$ [2]

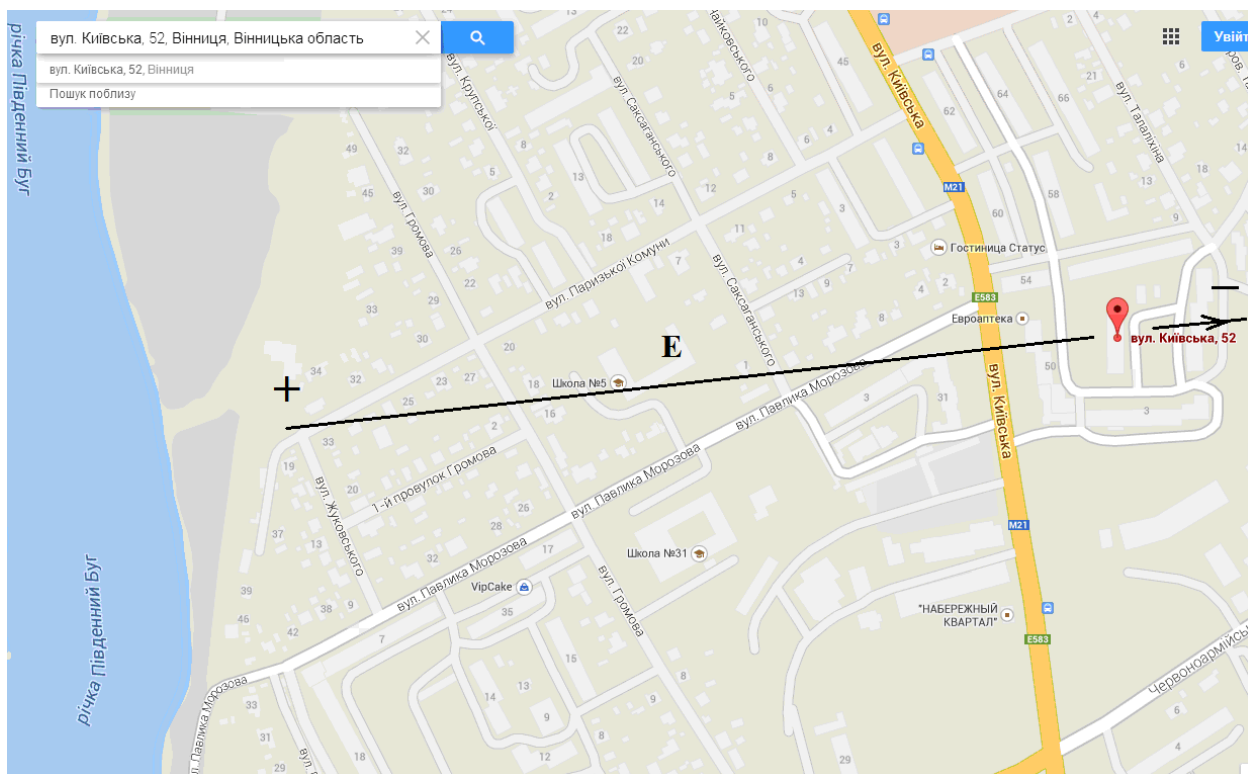


Рис. 2. Розміщення будівлі, що проектується в м. Вінниця відносно річки Південний Буг та інших будівель і виникнення електрополя E [3]

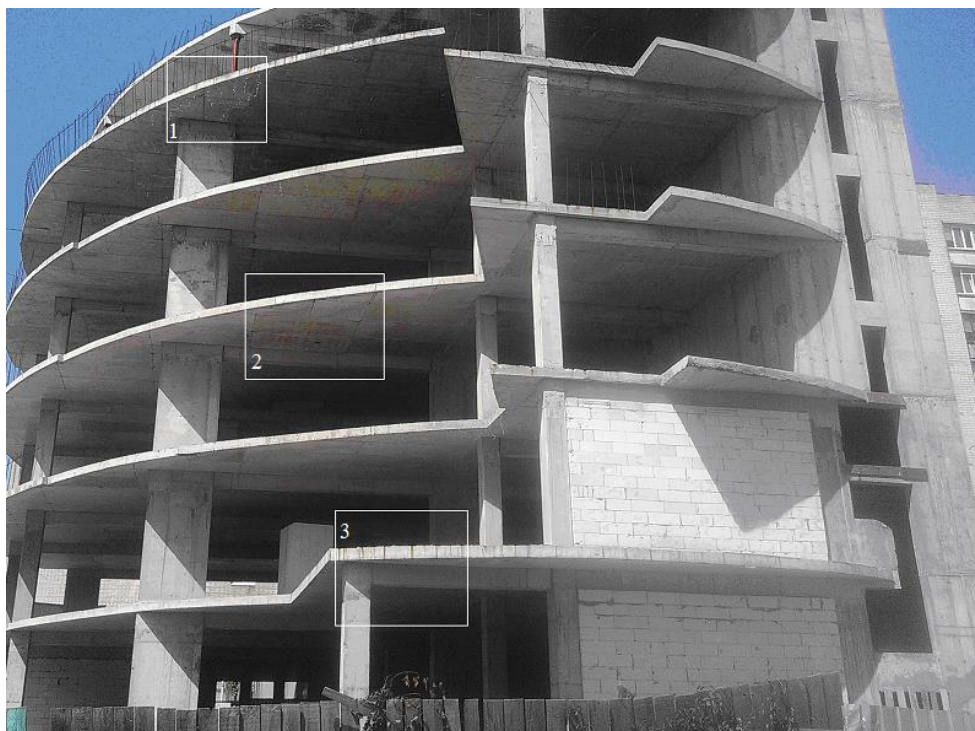


Рис. 3. Існуючий стан будівлі на 21.06.14 р.

У збільшених фрагментах 1 і 3, рис. 4, рис. 5, проглядаються ознаки значного вилуговування бетону балконних плит (білі хвилясті полоси) і електророзіи арматури, що

виглядає із балконних плит (вертикальні коричневі полоси на ребрах плит, у той час як тінь від арматурних стрижней відкидається у глиб будови.



Рис. 4. Збільшений фрагмент 1. Вилуговування бетону на балконних плитах



Рис. 5. Збільшений фрагмент 3. Корозія арматури бетону на балконних плитах

На рис. 6 представлений стан конструкцій будівлі з боку фасаду. Із збільшених фрагментів 1 і 2, рис. 7, проглядаються ознаки виникнення початкових тріщин у залізобетонних плитах перекриття і

колонах повздож арматури. На збільшеному фрагменті 3, рис. 8, проглядаються ознаки електророзіи арматури і вилуговування бетону через тріщини під нею.

Методи боротьби з накопиченнями надлишкових зарядів. Найдавнішими спорудами на Землі і самими довговічними, як відомо, є єгипетські піраміди. Умова їх збереження та стійкості однозначно визнається їх формою та відсутністю зон розтягу. Погоджуючись з цим як з однією з умов,

розуміємо все ж, що головною умовою їх довговічності є стікання надлишкових негативних зарядів з вершини в космос завдяки їх пірамідальній формі та дії латеральних електроповерхневих сил відштовхування між ними, рис. 9.



Рис. 6. Існуючий стан будівлі на 21.06.14 р.



Рис. 7. Збільшений фрагмент 1 і 3. Ознаки утворення початкових тріщин повздовж арматури у плитах перекриття і колонах



Рис. 8. Збільшений фрагмент 3. Корозія арматури бетону на залізобетонних плитах перекриття

Подібний відрив надлишкових негативних зарядів виникає в усіх високих будівлях і баштах зі шпилем, рис. 10.

Разом з надлишковим зарядом на самій споруді через його вершину будуть стікати в космос надлишкові заряди і з навколишнього ґрунту та з найближчих будівель, забезпечуючи стабіль-

зацію властивостей ґрунтів, стійкість конструкцій, збереження їх пружних властивостей.

У зв'язку з викладеним у дипломному пректі передбачена гострокутна покрівля, влаштування з усунення попадання надлишкових зарядів за рахунок шунтування, глибоких заземлювачів із діодом та ін.

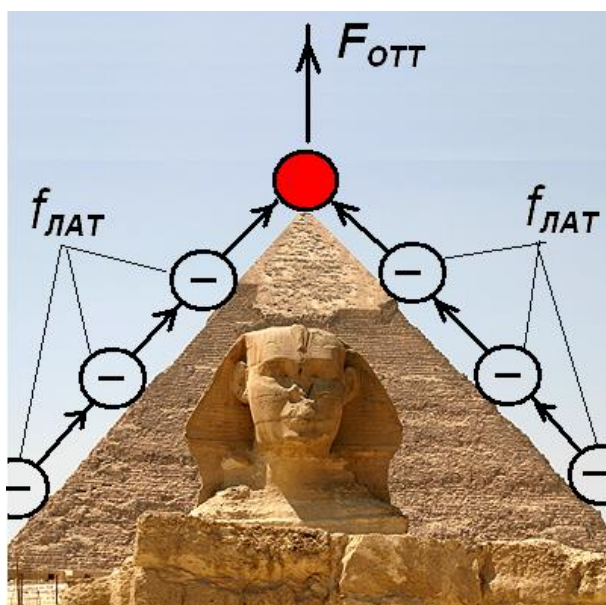


Рис. 9. Виникнення сил $f_{\text{ЛАТ}}$ та $F_{\text{ОТТ}}$ в єгипетській піраміді [4]



Рис. 11. Залізобетонна башня Бурдж-Халіфа, Дубай, 828 м, 2010 [5]

Висновки з дослідження і перспективи подальшого розвитку:

1. Всі високі монолітні будівлі відрізняються від решти суцільним арматурним каркасом, що в зв'язку з практично безкінечною діелектричною проникністю сталі та здатністю металу спонтанно поляризуватися в найменших електричних полях призводить до виникнення горизонтальних та вертикальних дипольних моментів і надлишкових електричних зарядів.

2. Надлишкові негативні заряди призводять до виникнення тріщин, а позитивних до електрокорозії.

3. Виконано аналітичні дослідження виникнення надлишкових зарядів у конструкціях будівлі, реконструкція якої передбачена дипломним проектом.

4. Передбачені міри по захисту конструкцій від надлишкових зарядів.

Список використаних джерел

1. В мировом строительстве доминирует монолитный бетон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.nestor.minsk.by/sn/2003/50/sn35014.ht].

2. Плугин, Д.А. Развитие теории электрокоррозии обводненных конструкций и разработка электрокоррозионностойких материалов и способов защиты [Текст]: дис... докт. техн. наук: 05.23.05 / Д.А. Плугин. – Харьков, 20014. – 420 с.

3. Карта города Винница [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://map.i.ua/vinnysia>.

4. Трикоз, Л.В. Теория избыточных разрушающих зарядов и разработка способов сохранения стойкости материалов, конструкций и сооружений в их присутствии [Текст]: дис... д-ра техн. наук: спец. 05.23.05 / Л.В. Трикоз. – Харьков: УкрГАЖТ, 2014.

5. Бурдж-Халифа – самое высокое здание в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://plurrimi.com/fact/45>.

Рецензент д-р хім. наук, професор А.М. Плугін

Бевза Віктор Володимирович, студент групи МЗ-ПЦБ-Б-12 ІППК Української державної академії залізничного транспорту. E-mail: bevzav@ukr.net.

Конев Олександр Анатолійович, інженер кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: konev_0411@mail.ru.

Афанасьєв Олександр Валерійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: s-ja@bk.ru.

Bevza Viktor student group MZ-PCB-B 12 Ukrainian State Academy of Railway Transport. E-mail: bevzav@ukr.net.

Konev Oleksandr, engineer Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: konev_0411@mail.ru.

Afanasyev Oleksandr, cand. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: s-ja@bk.ru.

УДК 691.3

ВЛИЯНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Кандидаты техн. наук Т.А. Костюк, А.А. Плугин,
д-р техн. наук А.А. Плугин, инженеры В.А. Арутюнов, Н.Н. Паргала, Ю.А. Суханова,
докт.-инж. Х.-Б. Фишер

ВПЛИВ ВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИТІВ

Кандидати техн. наук Т.О. Костюк, О.А. Плугін,
д-р техн. наук А.А. Плугін, інженери В.А. Арутюнов, Н.М. Паргала, Ю.А. Суханова,
докт.-інж. Х.-Б. Фішер

INFLUENCE OF FIBER FILLERS TO PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITES

Candidates of techn. sciences Т.О. Kostiuk, О.А. Plugin,
doct. of techn. sciences А.А. Plugin, engineers V.A. Arutiunov, N.M. Partala and Yu.A. Sukhanova,
dr.-ing. Hans-Bertram Fischer

Выполнен анализ влияния волокнистых наполнителей – стекляного, хризотилового, полиэфирного, полипропиленового на физико-механические свойства цементных композитов. Установлены закономерности влияния вида и модуля упругости волокон на модуль деформации, прочность и трещиностойкость композитов.

Ключевые слова: цементная композиция, волокнистый наполнитель, деформативность, прочность, трещиностойкость.

Виконано аналіз впливу волокнистих наповнювачів – скляного, хризотилового, поліефірного, поліпропіленового на фізико-механічні властивості цементних композитів. Встановлено закономірності впливу виду і модуля пружності волокон на модуль деформації, міцність і тріщиностійкість композитів.

Ключові слова: цементна композиція, волокнистий наповнювач, деформативність, міцність, тріщиностійкість.

The analysis of influence of fibrous fillers – glass, chrysotile, polyester, polypropylene on physical and mechanical properties of cement composites was done. The regularities of influence of type and elastic modulus of the fibers on deformation module, strength and crack resistance of the composites are determined.

Keywords: cement composites, fiber filler, deformability, strength, crack resistance.

Актуальность темы и постановка проблемы. Наиболее распространенным способом улучшения физико-механических свойств цементных материалов для ремонтных и реставрационных работ – трещиностойкости, прочности на изгиб и растяжение, динамической прочности, стойкости к истиранию, износостойкости является введение волокнистых наполнителей. Однако используемые на практике зависимости этих характеристик от вида и количества наполнителей определяются преимущественно

эмпирическим путем, что весьма трудоемко и не позволяет быстро перестраиваться на другие виды волокон. В [1–7] были выполнены теоретические и экспериментальные исследования зависимости ряда физико-механических характеристик цементных материалов от вида и физико-химических свойств волокнистых наполнителей. В [1; 3; 6] было показано, что стекляннное и полиэфирное волокно служат подложкой для продуктов гидратации цемента, которые совместно образуют непрерывную прочную структуру,

повышая прочность цементного камня на растяжение при изгибе до 16 МПа, а также его гидрофизических характеристик. Однако количественные зависимости деформативных и прочностных характеристик цементных композитов от вида и количества волокон остались недостаточно изученными и обоснованными.

Цель и методика исследования – установление зависимостей деформативных и прочностных характеристик цементных композитов от вида и количества волокнистых наполнителей расчетно-аналитическими методами.

Основной материал исследования. На электронно-микроскопических снимках изотропных цементных композитов с волокнистыми наполнителями (рис. 1, а, б) видно, что фрагменты их структуры, ответственные за физико-механические свойства, возможно представить в виде сочетания параллельных колонн с различными деформативными характеристиками, как это представлено в [8] для композита, состоящего из цементного камня и заполнителей (рис. 1, в).

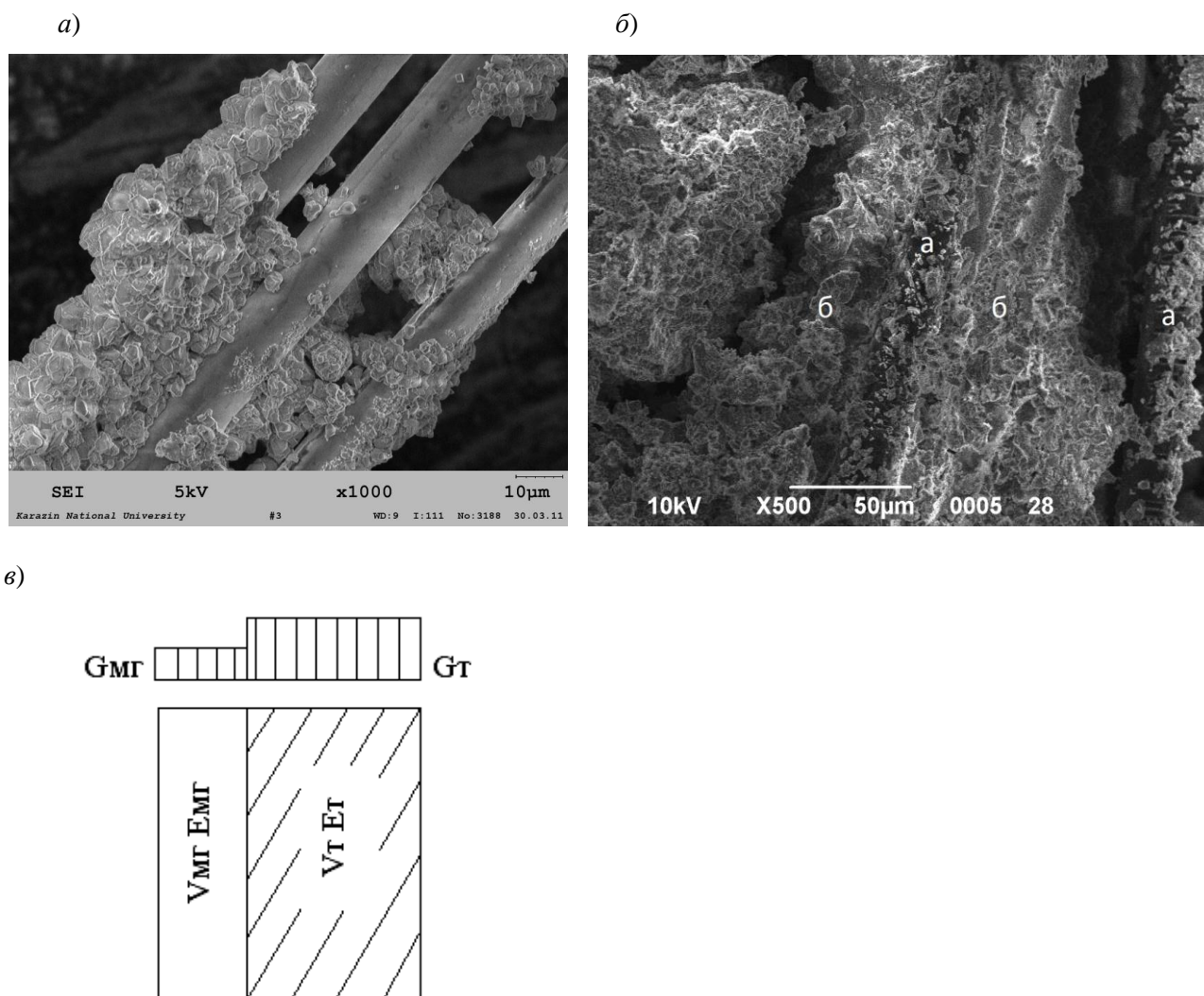


Рис. 1. Микроструктура цементного композита:
 а, б – электронно-микроскопические снимки композитов со стеклянным (а) и полиэфирным (б) волокном (а – волокно; б – цементная матрица);
 в – схема распределения объемов и напряжений в единичном объеме композита (V_{MG} – объем мягкого компонента, V_T – объем твердого компонента в композите)

Модуль упругости (деформации) композита в [8] предложено рассчитывать из условия:

$$\varepsilon = G_{MG}/E_{MG} = G_T/E_T, \quad (1)$$

где ε – упругая деформация композита; E_{MG} – модуль упругости мягкого компонента; E_T – модуль упругости твердого компонента; G_{MG} – напряжение в мягком компоненте; G_T – напряжение в твердом компоненте.

При условии, что сумма сил в сечении должна быть равна общей внешней силе $G \times 1$,

$$G_{MG}V_{MG} + G_TV_T = G \times 1, \quad (2)$$

где V_{MG} – площадь поперечного сечения колонны, состоящей из мягкого компонента, равная относительному объему мягкого компонента; V_T – площадь поперечного сечения колонны, состоящей из твердого компонента, равная относительному объему твердого компонента.

Из (1) и (2) получаем уравнение модуля упругости композита:

$$E = V_{MG}E_M + V_TE_T, \quad (3)$$

Характер влияния волокнистых наполнителей на прочность композитов на сжатие может позволить оценить формула, предложенная Л.И. Онищиком [9] для бетонов на пористых и мягких заполнителях:

$$E = 4000 \cdot \sqrt{R\rho^3} + 25000, \quad (4)$$

где E – модуль упругости, кгс/см²; R – прочность на сжатие, кгс/см²; ρ – средняя плотность, т/м³.

Преобразуем (3) для определения прочности в зависимости от модуля упругости:

$$R = [(E-25000)/4000]^2/\rho^3. \quad (5)$$

Модуль упругости цементного камня по данным разных авторов находится в пределах от 15000 [7] до 23000 [8] МПа. Значения модуля упругости волокон по данным разных источников приведены в табл. 1. Результаты расчета модуля деформации и прочности на сжатие по (3) и (5) приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 1

Модуль упругости и плотность волокон

Источ-ник данных	Значения	Модуль упругости волокна				Плотность волокна, г/см ³			
		Стекло-лянного	Хризоти-лового	Поли-эфир-ного	Полипро-пилено-вого	Стеклан-ного	Хризо-тилового	Поли-эфир-ного	Поли-пропиле-нового
НИИпроект-асбестцемент [9]	По данным источника	0,7×10 ⁴ кгс/мм ²	(0,5–0,8)×10 ⁴ кгс/мм ²	0,015×10 ⁴ кгс/см ²	0,011×10 ⁴ кгс/см ³	2,2–2,8	2,5	1,3–1,4	0,9
	Среднее, МПа	68600	63700	1470	1078	2,5		1,35	
Украинское хризотиловое объединение [10]	По данным источника	70-97 ГПа	164 ГПа	28 ГПа	8–200 ГПа	2,54–2,7	2,6	1,75	0,9
	Среднее, МПа	83500	164000	28000	104000	2,62			
Википедия и др. Интернет-ресурсы [11]	По данным источника	73-86 ГПа	175-210 ГПа	5-10 ГПа	6700–11900 кгс/см ²	2,5	2,6	1,4	0,93
	Среднее, МПа	79500	192500	7500	911				
Принятое в расчет		80000	180000	7500	1000	2,5	2,6	1,4	0,9

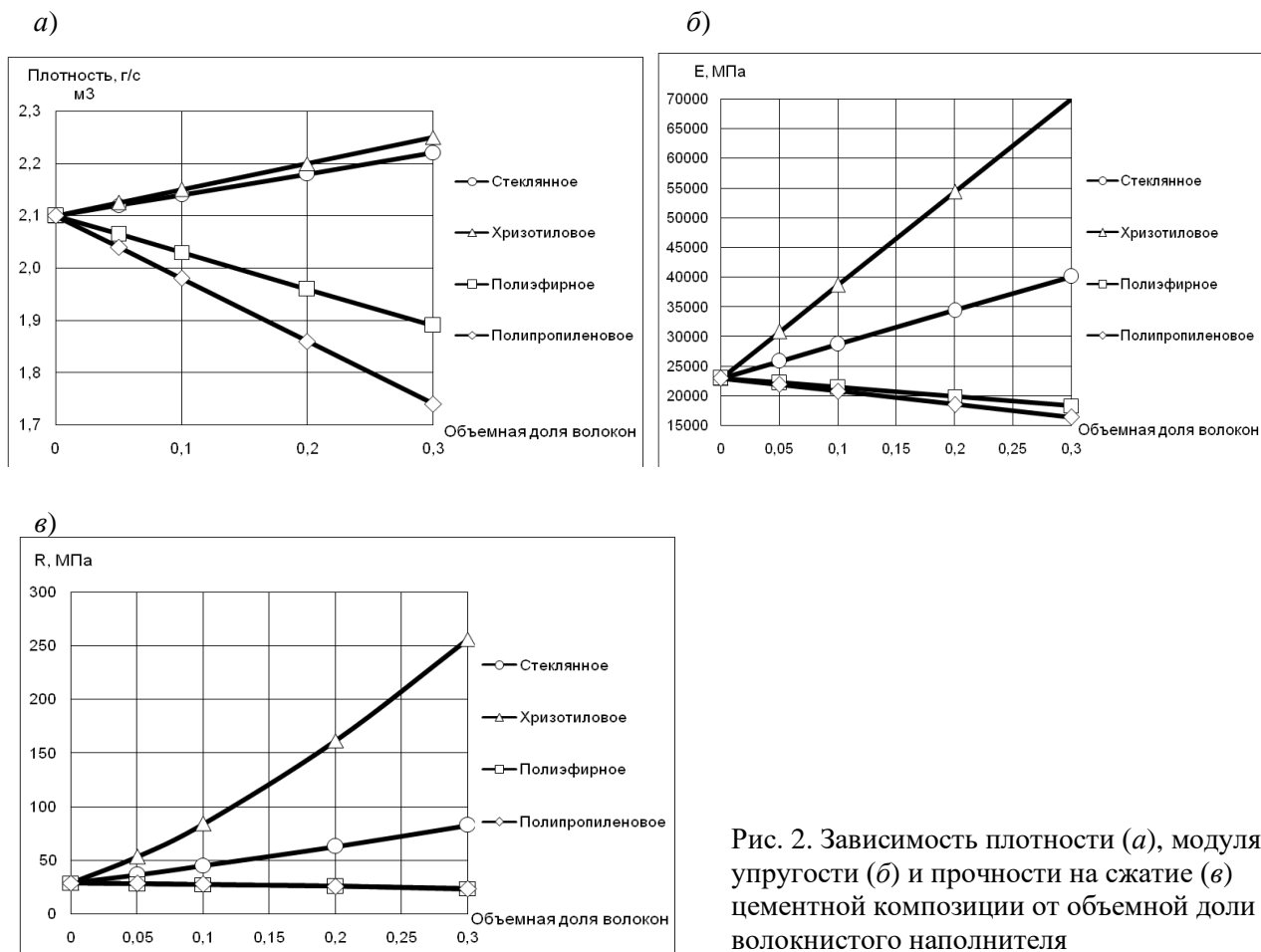


Рис. 2. Зависимость плотности (а), модуля упругости (б) и прочности на сжатие (в) цементной композиции от объемной доли волокнистого наполнителя

Из табл. 2 и рис. 2 видно, что введение в цементный камень волокнистых наполнителей с более высоким, чем у цементного камня, модулем упругости приводит к значительному увеличению модуля деформации и прочности композита. При этом повышение содержания наполнителя в исследуемом диапазоне также обеспечивает повышение модуля деформации и прочности. Введение в цементный камень волокнистых наполнителей с меньшим, чем у цементного камня модулем упругости, приводит к уменьшению модуля деформации и незначительному снижению прочности композита. Повышение содержания наполнителя в этом случае обуславливает снижение модуля деформации и незначительное снижение прочности композита. Таким образом, введение волокнистых наполнителей обеспечивает повышение трещиностойкости цементных композитов по различным механизмам:

волокон с модулем упругости большим, чем у цементного камня – за счет повышения прочности на растяжение, а волокон с модулем упругости меньшим, чем у цементного камня – за счет увеличения податливости композита деформациям без разрушения, демпфированию.

Еще одним фактором, определяющим механизм повышения трещиностойкости, является наличие или отсутствие взаимодействия и контактов между продуктами гидратации цемента и поверхностью волокна. На рис. 3 приведены электронные микроснимки полиэфирных (а) и полипропиленовых (б) волокон, экспонированных в цементной вытяжке. Из рис. 3 видно, что на поверхности полиэфирных волокон образуется своеобразная обойма из продуктов гидратации цемента, тогда как на поверхности полипропиленового волокна продукты гидратации практически не отмечаются.

Результаты расчетов модуля деформации и прочности на сжатие цементных композиций с волокнистыми наполнителями

Волокно (наполнитель)	Относительный объем		Плотность, т/м ³			Модуль упругости E, МПа			Прочность композита R				
	Матрицы (цементного камня) V _т	Наполнителя V _{мг}	Матрицы (цементного камня)	Наполнителя	Композита	Матрицы (цементного камня)	Наполнителя	Композита	кгс/см ²	МПа			
Стеклоное	1	0	2,1	2,5	2,10	23000	80000	23000	296,8	29,1			
	0,95	0,05			2,12			25850	374,0	36,7			
	0,9	0,1			2,14			28700	457,6	44,8			
	0,8	0,2			2,18			34400	641,2	62,8			
	0,7	0,3			2,22			40100	843,1	82,6			
Хризотоловое	1	0		2,6	2,10		23000	180000	23000	296,8	29,1		
	0,95	0,05			2,13				30850	547,0	53,6		
	0,9	0,1			2,15				38700	860,5	84,3		
	0,8	0,2			2,20				54400	1 649,4	161,6		
	0,7	0,3			2,25				70100	2 614,7	256,2		
Полиэфирное	1	0		1,4	2,10			23000	7500	23000	296,8	29,1	
	0,95	0,05			2,07					22225	289,0	28,3	
	0,9	0,1			2,03					21450	280,8	27,5	
	0,8	0,2			1,96					19900	263,2	25,8	
	0,7	0,3			1,89					18350	243,7	23,9	
Полипропиленовое	1	0		0,9	2,10				23000	1000	23000	296,8	29,1
	0,95	0,05			2,04						21900	290,0	28,4
	0,9	0,1			1,98						20800	282,3	27,7
	0,8	0,2			1,86						18600	263,8	25,8
	0,7	0,3			1,74						16400	240,4	23,6

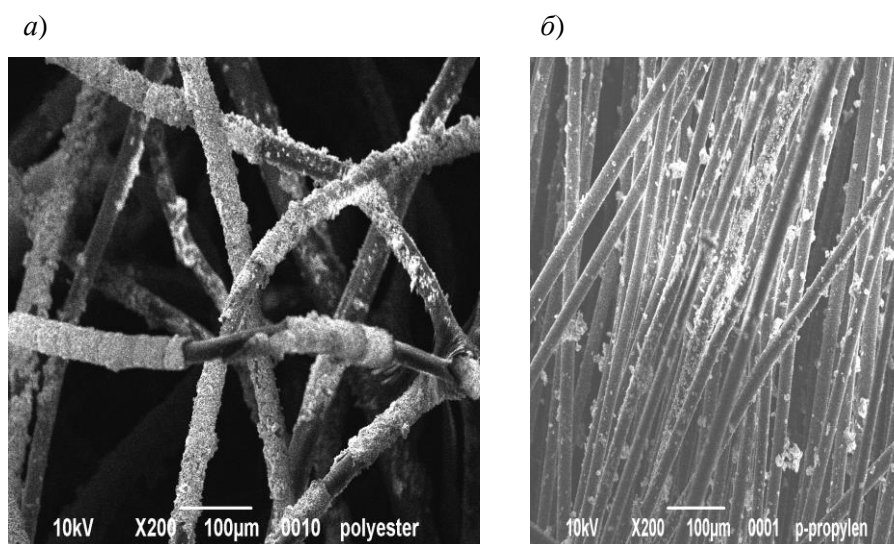


Рис. 3 Электронно-микроскопические снимки волокон, экспонированных в цементной вытяжке 28 суток: а – полиэфирного; б – полипропиленового

Выводы и рекомендации

1. Анализ влияния волокнистых наполнителей на физико-механические свойства цементных композитов показал, что введение в цементный камень волокнистых наполнителей с более высоким, чем у цементного камня, модулем упругости (стеклянных, хризотилowych) приводит к значительному увеличению модуля деформации и прочности композита. Введение в цементный камень волокнистых наполнителей с меньшим, чем у цементного камня модулем упругости (полиэфирных, полипропиленовых), приводит к уменьшению модуля деформации и незначительному снижению прочности композита. Таким образом, введение волокнистых наполнителей обеспечивает повышение трещиностойкости

цементных композитов по различным механизмам: волокон с модулем упругости большим, чем у цементного камня – за счет повышения прочности на растяжение, а волокон с модулем упругости меньшим, чем у цементного камня – за счет увеличения податливости композита деформациям, демпфированию.

2. В результате электронно-микроскопических исследований установлено, что в цементных композициях обеспечивается хороший контакт продуктов гидратации цемента с поверхностью полиэфирного волокна, на которой образуется обойма из продуктов гидратации. На поверхности полипропиленового волокна продукты гидратации практически не отмечаются.

Список использованных источников

1. Арутюнов, В.А. Оценка возможности применения полиэфирной микрофибры в гидроизоляционных составах на основе портландцемента [Текст] / В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк, Д.А. Бондаренко, О.В. Старкова // Современный научный вестник. – Белгород: Руснаучкнига, 2013. – №32(171). – С. 109-116.
2. Плугин, А.А. Возможности применения полиэфирной микрофибры в гидроизоляционных цементных составах [Текст] / А.А. Плугин, В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк, Д.А. Бондаренко // Materialy IX Mezinarodni vedecko-praktika conference «Dny vedy». – Praha: P.H.Education and Science s.r.o., 2013. – Díl.32. – С.79–85.
3. Плугин, А.А. Рулонный композиционный материал для ремонта и гидроизоляции бетонных, железобетонных и каменных конструкций и сооружений [Текст] / А.А. Плугин, В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк, Н.М. Паргала, Ю.А. Суханова // зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип.143. – С. 103–110.
4. Плугин, А.А. Изотропное микроармирование цементного камня продуктами гидратации для повышения физико-механических характеристик гидроизоляционных покрытий [Текст] / А.А. Плугин, М.Г. Салия, Т.А. Костюк // Вісник НТУ «ХП»: зб. наук. пр. Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія». – Харків: НТУ «ХП», 2011. – №50. – С. 97-103.
5. Арутюнов, В.А. Моделирование оптимальных гидроизоляционных составов интегрально-капиллярного действия с повышенным содержанием полимерных волокон [Текст] / В.А. Арутюнов, О.В. Старкова, Д.А. Бондаренко // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2013. – Вип.5(112). – С.83-86.
6. Кагановский, А.С. Высокоэффективные композиционные материалы на основе минеральных и синтетических волокон: Проблемы производства хризотил-цемента [Текст] / А.С. Кагановский, О.В. Градобоев, Ал.А. Плугин // зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 138. – С. 50-55.
7. Плугин, Ал.А. Высокоэффективные композиционные материалы на основе минеральных и синтетических волокон: Физико-химические свойства волокон [Текст] / Ал.А. Плугин, А.С. Кагановский, О.В. Градобоев, А.А. Плугин // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2014. – №2(76). – С.94-102.
8. Гансен, Т.К. Ползучесть и релаксация напряжений в бетоне [Текст] / Т.К. Гансен. – М.: Госстройиздат, 1963. – 124 с.
9. Деформации // Baurum.ru. Строительство и ремонт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://baurum.ru/alldays/?cat=concrete&id=3940>.

10. Кузнецова, Т.В. Физическая химия вяжущих материалов [Текст]: учеб. для вузов / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – М.: Высш.шк., 1989. – 384 с.
11. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон [Текст] / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.И. Писанко; под ред. О.Я. Берга. – М.: Стройиздат, 1971. – 208 с.
12. Нейман, С.М. О безопасности асбестоцементных материалов и изделий [Текст] / С.М. Нейман, А.И. Везенцев, С.В. Кашанский. – М.: РИФ Стройматериалы, 2006. – 64 с.
13. Волокнистые заменители асбеста и материалы на их основе // Асоціація «Українське хризотилоче об'єднання» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ukrchrysotile.com.ua/zameniteli_1.html.
14. Википедия. Свободная энциклопедия: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.

Костюк Тетяна Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів і виробів, Харківський національний університет будівництва і архітектури. Тел. (057) 706 20 73; E-mail: office@kstuca.kharkov.ua; takostuk@ukr.net.

Плугін Олексій Андрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. (057) 730 10 68; E-mail: info@kart.edu.ua; plugin07@rambler.ru.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДАЗТ. Тел. (057) 730 10 63; тел./факс (057) 771 46 91; E-mail: info@kart.edu.ua; plugin_aa@kart.edu.ua

Арутюнов Валерій Ашотович, аспірант кафедри будівельних матеріалів і виробів, ХНУБА; E-mail: office@kstuca.kharkov.ua.

Паргала Наталія Миколаївна, завідувач лабораторії кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДАЗТ. Тел. (057) 730 10 63; E-mail: info@kart.edu.ua; natabim@rambler.ru.

Суханова Юлія Андріївна, провідний інженер, ТОВ «Гідротехпроект». Тел./факс (095) 043 88 38; E-mail: jvine@mail.ru.

Ханс-Бертрам Фішер, доктор-інженер, керівник дослідницької групи будівельного факультету університету Баухаус, Веймар, Німеччина. Тел.: +49 (0) 3643/584712, E-Mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de.

Kostuk Tatiana A., cand. of techn. science, docent of Bbuilding Materials and Ware Department, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture (KNUCEA); tel. (38 057) 706 20 73; E-mail: office@kstuca.kharkov.ua; takostuk@ukr.net.

Plugin Olrksii A., cand. of techn. sciences, docent of Building Materials, Constructions and Buildings Department, Ukrainian State Academy of Railway Transport (UkrSART); tel. (38 057) 730 10 68; E-mail: info@kart.edu.ua; plugin07@rambler.ru.

Plugin Andrii A., doct. of techn. sciences, professor, head of Building Materials, Constructions and Buildings Department of Ukrainian State Academy of Railway Transport (UkrSART); тел. (38 057) 730 10 63; тел./факс (38 057) 771 46 91; E-mail: info@kart.edu.ua; plugin_aa@kart.edu.ua.

Arutiunov Valerii A., postgraduate student, building materials and ware department, KNUCEA; E-mail: office@kstuca.kharkov.ua.

Partala Natalia M., head of learning laboratory of building materials, constructions and buildings, UkrSART; tel. (38 057) 730 10 63; E-mail: info@kart.edu.ua; natabim@rambler.ru.

Sukhanova Yulia A., leading engineer, Design and Research Institute «Hydrotechproject»; tel. (095) 043 88 38; E-mail: jvine@mail.ru.

Hans-Bertram Fischer, Dr.-Ing., Head of Working Group, Faculty of Civil Engineering, Bauhaus-Universität Weimar, Coudraystraße 11B, Raum 105 Tel.: +49 (0) 3643/584712, E-Mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de.

УДК 624.21:691.5

ЦЕМЕНТНІ ТА ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНІ ДРІБНОЗЕРНИСТІ БЕТОНИ ДЛЯ ПРОКЛАДНОГО ШАРУ БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ

Д-р техн. наук А.А. Плугін, кандидати техн. наук С.В. Мірошніченко, О.А. Калінін,
інж. Н.М. Паргала, асп. С.Г. Нестеренко,
інж. В.В. Перестюк, А.В. Никитенко

ЦЕМЕНТНЫЕ И ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ПРОКЛАДНОГО СЛОЯ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

Д-р техн. наук А.А. Плугин, кандидаты техн. наук С.В. Мирошниченко, О.А. Калинин,
инж. Н.Н. Паргала, асп. С.Г. Нестеренко,
инж. В.В. Перестиук, А.В. Никитенко

CEMENT AND POLYMER-CEMENT FINE CONCRETE FOR CUSHIONING LAYER OF BALLASTLESS BRIDGE DECK OF REINFORCED CONCRETE PLATES

Doct. of techn. sciences A.A. Plugin, cand. techn. sci. S.V. Miroshnichenko,
cand. techn. sci. O.A. Kalinin, engineer N.M. Partala, postgraduate S.G. Nesterenko,
engineer V.V. Perestiuk, A.V. Nikitenko

Проведено аналіз придатності сучасних сухих будівельних сумішей промислового виробництва для улаштування прокладного шару безбаластного мостового полотна металевих залізничних мостів. Розроблено склади цементних і полімерцементних розчинів і дрібнозернистих бетонів для прокладного шару.

Ключові слова: залізничний міст, безбаластне мостове полотно, прокладний шар, полімерцементний розчин, розтікання, рання міцність.

Выполнен анализ применимости сухих строительных смесей промышленного производства для устройства прокладного слоя безбалластного мостового полотна металлических железнодорожных мостов. Разработаны составы цементных и полимерцементных растворов и мелкозернистых бетонов для прокладного слоя.

Ключевые слова: железнодорожный мост, безбалластное мостовое полотно, прокладной слой, полимерцементный раствор, растекаемость, ранняя прочность.

The applicability of dry construction mixtures of industrial production for the cushioning layer of ballastless bridge deck of metal railway bridges was performed. The compositions of cement and polymer-cement mortars and fine concrete for cushioning layer have been developed.

Keywords: railway bridge, ballastless bridge deck, cushioning layer, polymer-cement mortar, spreadability, early strength.

Вступ. На залізницях України експлуатується значна кількість металевих мостів з безбаластним мостовим полотном на залізобетонних плитах БМП. Більшість з них укладені на дерев'яно-гумовому прокладному шарі. Це застаріле конструктивно-технологічне рішення обумовлює передчасний вихід плит із

ладу і необхідність заміни дерев'яних елементів кожні 7–10 років. Крім того, за останніми даними УкрДАЗТ і МГУПС переважним є жорсткий спосіб прикріплення плит до балок, який забезпечується прокладним шаром із матеріалів, подібних цементному бетону [1–5].

На початку використання безбаластного мостового полотна саме як такий прокладний шар застосовували цементно-піщаний розчин. При виготовленні такого прокладного шару плити укладали на тимчасові незнімні дерев'яні або фанерні прокладки, встановлені по осі балок під кожною підрейковою площадкою, притискали до прокладок високоміцними шпильками і рух потягів відкривали. Заливання розчину здійснювали без припинення руху поїздів через отвори у плитах в дерев'яну опалубку, попередньо встановлену по краям балок. Експлуатація такого прокладного шару показала, що при його товщині понад 40–50 мм він забезпечував щільний контакт між плитою та балкою, довго зберігався у доброму стані та захищав верхній пояс балки від корозії, а у плитах не утворювались тріщини та інші дефекти. Однак при товщині 20–30 мм прокладний шар швидко руйнувався. Це пояснюється тим, що у 1970-80-х рр. розчин виготовляли без пластифікуючих добавок і для досягнення його необхідної текучості підвищували кількість води, що зменшувало міцність і довговічність прокладного шару. Також часто спостерігалось руйнування прокладного шару через неповне заповнення порожнечі під плитою.

УкрДАЗТ запропонований залівний полімеркомпозиційний прокладний шар, який забезпечує набагато більшу довговічність плит БМП і мостового полотна в цілому [6; 7]. Проте технологія його улаштування залишалась недосконалою, оскільки передбачала використання досить складної опалубки і потребувала збільшення тривалості «вікон» у порівнянні з дерев'яно-гумовим прокладним шаром. Крім того, недоліком всіх полімерних композицій, як за рецептурою УкрДАЗТ, так і промислового виробництва, є висока вартість.

Останні десятиріччя на ринку з'явився широкий діапазон сухих будівельних сумішей промислового виробництва для будівельних розчинів – цементно-піщаних, полімерцементних і т.п. [8–12]. Їх застосування для залівного прокладного шару здається досить привабливим, бо вони можуть дозволити проводити роботи без збільшення тривалості «вікон», підвищити надійність і довговічність конструкції безбаластного мостового полотна.

Метою роботи є розробка складів цементного та полімерцементного дрібнозернистого бетону для прокладного шару під

збірним та збірно-монолітним залізобетонним безбаластним мостовим полотном.

Аналітичний огляд матеріалів, придатних для улаштування прокладного шару. Для прокладного шару можуть бути придатні суміші, що мають високе розтікання. Із наявних на ринку сухих будівельних сумішей єдиними, що призначені для конструкційного ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій і одночасно мають високе розтікання, виявлені суміші торгівельних марок Emao та Sika. Їх придатність для улаштування прокладного шару підтверджується російськими інструктивними документами.

Високе розтікання мають суміші для самовирівнювальних підлог торгівельних марок Ceresit, Knauf, Thomsit, Полипласт, Токан і т.д. Ці суміші виготовляють на основі гіпсу або портландцементу. Суміші на основі гіпсу призначені для застосування всередині приміщень і для прокладного шару непридатні. Застосування для прокладного шару вказаних сумішей на основі цементу вимагає окремого дослідження і обґрунтування. Виконано аналіз складів (рецептур) готових до застосування сухих будівельних сумішей на основі портландцементу, які характеризуються високими показниками розтікання, міцності, швидкості її набору, а деякі марки – і морозостійкості та які застосовують переважно для улаштування самовирівнюючих підлог [8–12]. Результати аналізу наведені у табл. 1, у правому стовпчику якої зроблено висновки про доцільність застосування компонентів у складах для прокладного шару.

Методи досліджень. Склад дрібнозернистого бетону або розчину для прокладного шару попередньо розраховували за методикою УкрДАЗТ із забезпеченням оптимальних величин коефіцієнту розсунення зерен піску $\mu_{\text{опт}}$ і водоцементного відношення $(В/Ц)_{\text{опт}}$:

$$\mu_{\text{опт}} = 2,1 \times (1 + N_{\text{ц}} \times D_{\text{ц}} / D_{\text{п}})^3 - 1,1, \quad (1)$$

де $N_{\text{ц}}$ – кількість рядів часток цементу у прошарках між зернами піску;

$D_{\text{ц}}, D_{\text{п}}$ – середній розмір часток визначної фракції цементу та піску, відповідно, мм.

Будівельні матеріали, конструкції і споруди

Таблиця 1

Склади сухих будівельних сумішей промислового виробництва з високим розтіканням

Компоненти		Вміст компонентів, мас.ч., і добавок, % від маси цементу у складах на основі		Призначення	Недоліки при застосуванні у складі для прокладного шару	Доцільність застосування у складі для прокладного шару
		портланд-цементу	портланд-цементу і глиноземистого цементу			
Мінеральні в'язучі	Портландцемент ПЦ І-500	1	1	Основне в'язуче	Усадка	+
	Глиноземистий цемент	–	0,17–0,62	Прискорення твердіння і запобігання усадки	Можуть знижувати довговічність	–
	Гідратне вапно	–	0,07–0,3			–
	Гіпс або ангідрит	–	0,07–0,35			–
Наповнювачі	Кварцове, вапнякове або доломітове борошно, крейда	0,17-0,25	0,33–1,05	Запобігання усадки	–	+
Активні мінеральні добавки	Зола винесення або метакаолініт	0-0,2	–			
Заповнювач	Кварцовий пісок 0,1–0,63 мм	1-2	0,83–2,23	Заповнювач	–	+
Функціональні добавки	Суперпластифікатор	0,15–2,8		Збільшення розтічності, зниження В/Ц	–	+
	Стабілізуюча, водоутримуюча – ефіри целюлози або крохмалю	0,01–0,06		Запобігання розшарування розтічних сумішей	–	+
	Уповільнювач тужавлення – винна або лимонна кислота	–	0,2–0,3	Уповільнення тужавлення глиноземистого цементу	–	–
	Прискорювачі твердіння та інші добавки-електроліти	0,1–4		Прискорення твердіння	–	+
	Антиспінювач	0,1–0,3		Запобігання утворення бульбашок і «кратерів»	–	–
	Розширювальна	0–4	–	Запобігання усадки	–	–
	Редиспергований полімерний порошок РПП	0,5–8		Збільшення розтічності, прискорення твердіння	Може знижувати довговічність	+
Фібра	Скловолокно, поліамідне або поліпропіленове волокно довжиною 2–3 мм	0–0,1		Збільшення тріщинотійкості у тонких шарах	Знижує розтічність	+

Витрату піску Π , цементу \mathcal{C} і води B , $\text{кг}/\text{м}^3$, у номінальному складі визначили таким чином:

$$\Pi = 1 / (\mu_{\text{опт}} \Pi_{\text{ус}}^{\text{п}} / \rho_{\text{нас}}^{\text{п}} + 1 / \rho_{\text{іст}}^{\text{п}}); \quad (2)$$

$$\mathcal{C} = (1 - \Pi \times (1 / \rho_{\text{іст}}^{\text{п}} + W_{\text{вп}}^{\text{п}} / \rho^{\text{в}})) / [(B / \mathcal{C})_{\text{іст}} / \rho^{\text{в}} + 1 / \rho_{\text{іст}}^{\text{п}}]; \quad (3)$$

$$B = (B / \mathcal{C})_{\text{іст}} \times \Pi W_{\text{вп}}^{\text{п}}, \quad (4)$$

де $\Pi_{\text{ус}}^{\text{п}}$ – пустотність піску;

$\rho_{\text{нас}}^{\text{п}}$, $\rho_{\text{іст}}^{\text{п}}$, $\rho^{\text{в}}$, $\rho_{\text{іст}}^{\text{п}}$ – насипна та істинна густина піску, густина води, істинна густина цементу, відповідно, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$W_{\text{вп}}^{\text{п}}$ – водопотрібність піску;

$(B / \mathcal{C})_{\text{іст}}$ – оптимальна істинна величина водоцементного відношення.

Витрату піску π і води b , $\text{кг}/\text{м}^3$, у виробничому складі (з урахуванням вологості піску $W^{\text{п}}$) визначили таким чином:

$$\pi = \Pi \times (1 + W^{\text{п}}); \quad b = B - \Pi W^{\text{п}}. \quad (5)$$

Кількість добавки суперпластифікатора визначали експериментально, а інших добавок – за табл. 1.

Порядок приготування сумішей і виготовлення зразків такий. В ємкість для приготування розчину вливали потрібну кількість води, в яку вводили хімічні та полімерні добавки і перемішували їх до стану візуально однорідної суспензії. В суспензію при постійному перемішуванні вводили попередньо перемішані до візуальної однорідності цемент, наповнювач та пісок. Всю суміш перемішували до візуальної однорідності протягом не менше 5 хв. Після перемішування визначали розтічність суміші за віскозіметром Сутгарда (рис. 1) і заповнювали нею форми зразків-балочок розміром $160 \times 40 \times 40$ мм. Для досягнення потрібної розтічності суміші не менше 17 см виготовляли нову порцію суміші із збільшеною витратою води. За твердінням зразків спостерігали до часу кінця тужавлення, яке визначали на дотик. Після розпалублення визначали середню міцність зразків, а через 1, 3, 7 і 28 діб твердіння – міцність розчину на згин і стиск. Для прокладного шару визначали придатними склади, що мають розтікання не менше 17 см, а міцність на стиск через 1 добу твердіння – не менше 5 МПа.



Рис. 1. Визначення розтічності суміші за віскозіметром Сутгарда

Результати досліджень. Розроблені склади цементних і полімерцементних розчинів і дрібнозернистих бетонів і результати дослідження їх властивостей наведені у табл. 2.

Найбільш ефективну кількість добавки суперпластифікатора 0,6 % від маси цементу визначили за графіком рис. 2, отриманим в результаті експериментальних досліджень.

Склади цементних і полімерцементних розчинів і дрібнозернистих бетонів
для прокладного шару та їх основні властивості

Компоненти, характеристики властивостей	Од. вимір.	Витрата компоненту, величина характеристики складу №							
		1	1a	2	2a	3	3a	4	4a
Портландцемент ПЦ І-500	мас.ч.	1	1	1	1	1	1	1	1
Наповнювач – вапнякове борошно	«	–	–	0,5	0,5	–	–	–	–
Пісок кварцовий $M_{кр}=1,1$	«	0,549	0,549	0,824	0,824	0,611	0,611	–	–
Пісок кварцовий $M_{кр}=2,1$	«	–	–	–	–	–	–	1,176	1,176
Вода (В/Ц)	«	0,285	0,351	0,427	0,594	0,372	0,422	0,34	0,353
Суперпластифікатор С-3	%	0,6	0,6	0,9	0,9	–	–	–	–
Прискорювач твердіння – хлорид кальцію	«	1	1	1,5	1,5	–	–	–	–
Стабілізатор – крохмаль модифікований	«	0,03	0,03	0,045	0,045	–	–	–	–
Полівінілацетатна емульсія (сухої речовини)	«	1	1	1,5	1,5	–	–	–	–
Багатокомпонентна комплексна хімічна добавка	«	–	–	–	–	5	5	5	5
Розтічність	см	0	17	0	17,5	13,5	22	14,5	17,5
Розшарування		ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні
Кінець тужавлення	год	пон.2	пон.2	пон.4	пон.4	3–4	3–4	0,5–0,67	0,5–0,67
Середня густина	кг/м ³	1890	1860	1930	1840	1910	1840	1930	1880
Міцність на згин через:									
1 добу	МПа	10	8			9	8	8	8
3 доби	«			7	5				
7 діб	«	16	14	9	8	14	13	14	13
28 діб	«	13,5	12,5	16	12				
Міцність на стиск через:									
1 добу	«	16	13			15,3	10,6	9,2	7,4
3 доби	«			8,5	6,8				
7 діб	«	34,2	31	21,2	13,1	25,5	24	25	24,3
28 діб	«	43,8	44,5	30,3	20,6				

Висновки і рекомендації. Розроблено склади цементного і полімерцементного дрібнозернистого бетону для прокладного шару безбаластного мостового полотна, що влаштовуються заливним способом. Полімерцементний склад 1a характеризується розтіканням 17 см і міцністю на стиск через

1 добу твердіння 12 МПа, цементний склад 3a – розтіканням 22 см та міцністю на стиск через 1 добу твердіння 10,6 МПа. Розроблені в УкрДАЗТ склади разом з дослідженими складами промислового виробництва рекомендовані для впровадження на залізницях України [13].

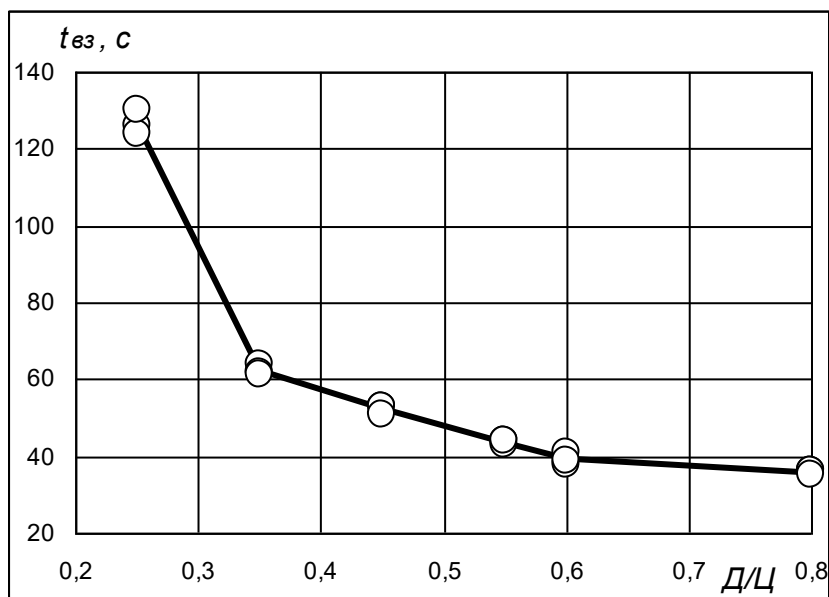


Рис. 2. Графік експериментальної залежності умовної в'язкості цементної суспензії за віскозіметром ВЗ-1 $t_{вз}, c$ від витрати добавки суперпластифікатора С-3 (СП-1) Д/Ц, % від маси цементу

Список використаних джерел

1. Систематизація пошкоджень залізобетонних плит безбалластного мостового полотна залізничних мостів [Текст] / А.А. Пługін, С.В. Мірошніченко, О.А. Забіяка, Г.О. Линник, А.І. Бабенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 120-130.
2. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мірошніченко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип.109. – С. 113-119.
3. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мирощниченко, А.Н. Пługин, А.А. Пługин, И.Г. Корниенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук.праць. – К.: ДП НДІБК, 2009. – Вип. 72. – С. 457-464.
4. Аналіз впливу потенціалів від струмів витоку на утворення тріщин в плитах безбалластного мостового полотна на електрифікованих ділянках залізниць [Текст] / А.А. Пługін, О.А. Забіяка, Г.О. Линник // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. - С. 75-82.
5. Инструкция по применению и проектированию безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах на металлических пролетных строениях железнодорожных мостов [Текст]. – СПб., 2005.
6. ЦП 0137 Инструкция з укладання та експлуатації безбалластного мостового полотна (БМП) на залізобетонних плитах [Текст]. – Харків: УкрДАЗТ, 2006.
7. ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбалластного мостового полотна [Текст]. – Харків: УкрДАЗТ, 2010.
8. Семинар по применению целлюлозных загустителей Vermosoll в строительных смесях, Москва, 18 апреля 2000 г. / Akzo Nobel Surface Chemistry AB, SE-44485, Стенунсгуд, Швеция. – 19 с.
9. Захарченко, П.В. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали [Текст] / П.В. Захарченко, Е.М. Долгий, Ю.О. Галаган, О.М. Гавриш [та ін.]. – К.: КНУБА, 2005. – 512 с.
10. Дворкін, Л.Й. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах [Текст] / Л.Й. Дворкін, Н.В. Лушнікова, Р.Ф. Рунова, В.В. Троян. – К.: КНУБА, 2007. – 216 с.
11. Емельянова, И.А. Современные строительные смеси и оборудование для их приготовления [Текст] / И.А. Емельянова, О.В. Доброходова, А.И. Анищенко. – Харьков: Тимченко, 2010. – 146 с.

12. Мінеральна суміш, що самоущільнюється, для гідроізоляційного покриття [Текст]: патент 93322 UA МПК С04В 41/65, С04В 103/65, С04В 24/00, С04В 14/00, С04В 28/00 / Т.О. Костюк, М.Г. Салія, Д.О. Бондаренко, Ю.М. Ізбаш; заявник Т.О. Костюк, М.Г. Салія, Д.О. Бондаренко, Ю.М. Ізбаш, заявл. 29.01.2009; опубл. 25.01.2011, Бюл. №2.

13. Рекомендації з улаштування полімеркомпозиційного прокладного шару під збірним та збірно-монолітним залізобетонним безбаластним мостовим полотном [Текст] / ЦП УЗ. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – 15 с.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел./факс (057) 771 46 91, E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Мірошніченко Сергій Валерійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд. Тел.: (057) 730-10-64, E-mail: smirosh70@yandex.ru.

Калінін Олег Анатолійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДАЗТ. Тел.: (057) 730-10-68, E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru.

Партала Наталія Миколаївна, інженер, зав. лабораторії кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДАЗТ. Тел.: (057) 771 46 91, E-mail: natabim@mail.ru.

Нестеренко Сергій Григорович, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДАЗТ. Тел.: (097) 905 00 17, E-mail: nesterenko-sg@mail.ru.

Перестюк Володимир Володимирович, інженер, Tines S.A., м. Краків, Польща; Тел.: (067) 192 07 64, E-mail: w.perestiuk@tines.com.ua.

Никитенко Альона Валеріївна, студентка будівельного факультету УкрДАЗТ. Тел.: (095) 476 54 84, E-mail: nikitenko-av@gmail.com.

Plugin Andrii, doct. of techn. sciences, professor, head of building materials, constructions and buildings department, Ukrainian State Academy of Railway Transport (UkrSART); Tel./fax (+38 057) 771 46 91, Tel. (+38 057) 730 10 63, E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Miroshnichenko Sergii, cand. of techn. sciences, docent of building materials, constructions and buildings department, UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 64, E-mail: smirosh70@yandex.ru.

Kalinin Oleg, cand. of techn. sciences, docent of building materials, constructions and buildings department, UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 68, E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru.

Partala Natalia, engeneer, head of laboratory of building materials, constructions and buildings department, UkrSART; Tel. (+38 057) 771 46 91, E-mail: natabim@mail.ru.

Nesterenko Sergii, postgraduate of building materials, constructions and buildings department, UkrSART; Tel. (+38 097) 905 00 17, E-mail: nesterenko-sg@mail.ru.

Perestiuk Volodimir, engeneer, Tines S.A, Krakov, Poland; Tel. (+38 067) 192 07 64, E-mail: w.perestiuk@tines.com.ua.

Nikitenko Aliona, student of building faculty, UkrSART; Tel. (+38 095) 476 54 84, E-mail: nikitenko-av@gmail.com.

УДК 691.32

**ОПТИМАЛЬНА ВЕЛИЧИНА ВОДОЦЕМЕНТНОГО ВІДНОШЕННЯ
ОСОБОШВИДКОТВЕРДНУЧОГО БЕЗПРОПАРЮВАЛЬНОГО БЕТОНУ**

Канд. техн. наук О.В. Романенко

**ОПТИМАЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ВОДОЦЕМЕНТНОГО ОТНОШЕНИЕ
ОСОБОБЫСТРОТВЕРДЕЮЩЕГО БЕЗПРОПАРОЧНОГО БЕТОНА**

Канд. техн. наук А.В. Романенко

**THE OPTIMAL VALUE WATER-CEMENT RATIO VERY FAST HARDENING WITHOUT
STEAMING CONCRETE**

Cand. of techn. sciences O.V. Romanenko

Виконано теоретичне та експериментальне обґрунтування оптимальної величини водоцементного відношення особобистротвердеючого безпропарочного бетону з комплексною добавкою суперпластифікатора і прискорювача твердіння. Встановлено залежність кількості електрогетерогенних контактів в структурі цементного каменю від В / Ц.

Ключові слова: бетон, водо-цементне відношення, електрогетеро-генний контакт, рання міцність.

Выполнено теоретическое и экспериментальное обоснование оптимальной величины водоцементного отношения особобыстротвердеющего безпропарочного бетона с комплексной добавкой суперпластификатора и ускорителя твердения. Установлена зависимость количества электрогетерогенных контактов в структуре цементного камня от В/Ц.

Ключевые слова: бетон, водоцементное отношение, электрогетерогенный контакт, ранняя прочность.

Many scientific studies have been devoted strength of cement and concrete, namely the definition of water-cement ratio at which it is possible to obtain the greatest strength. Therefore, the development of theoretical ideas about the optimal W/C for the formation of the primary frame is relevant.

Theoretical and experimental justification for the optimal values of water-cement ratio concrete quick hardening without steaming complex additive superplasticizer and hardening accelerator. The dependence of the number of contacts in elektrogeterogennyh structure of cement stone from W / C.

Keywords: concrete, water-cement ratio, elektrogetero gene-contact, early strength.

Вступ. Розробка складів бетону з добавками, які дозволяють мінімізувати тепловологісну обробку залізобетонних виробів або навіть відмовитись від неї, залишається надто актуальною. На кафедрі БМКС УкрДАЗТ розроблений особлившвидкотверднучий безпропарювальний бетон оптимального складу з комплексною добавкою суперпластифікатора і прискорювача твердіння для залізобетонних шпал [1]. Проте в цьому складі бетону оптимальна величина водоцементного відношення залишається недостатньо обґрунтованою.

Мета та задачі дослідження. Мета роботи – теоретичне та експериментальне

обґрунтування оптимальної величини водоцементного відношення В/Ц особлившвидкотверднучого безпропарювального бетону.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. В роботах Г. Фере, І.Г. Малюги, а потім Д. Абрамса, М. Боломея, М.М. Беляєва, Б.Г. Скрамтаєва, Ю.М. Баженова та інших дослідників [2] запропоновані різні математичні вирази закону водоцементного відношення – залежності міцності бетону від водоцементного відношення В/Ц. У відповідності з даними експериментальних і теоретичних досліджень [3] міцність цементного каменю $R_{ц}$ має екстремальну залежність від В/Ц з максимумом міцності при В/Ц = 0,23 (рис. 1). На рис. 2 наве-

дена найбільш характерна експериментальна крива залежності міцності бетону R_b від В/Ц [4].

Відповідно до цієї кривої діапазон дії розглянутих законів водоцементного відношення обмежений. Вважається, що характер кривої залежить від наявних засобів ущільнення. Згідно [4], зниження міцності при низькому водоцементному відношенні

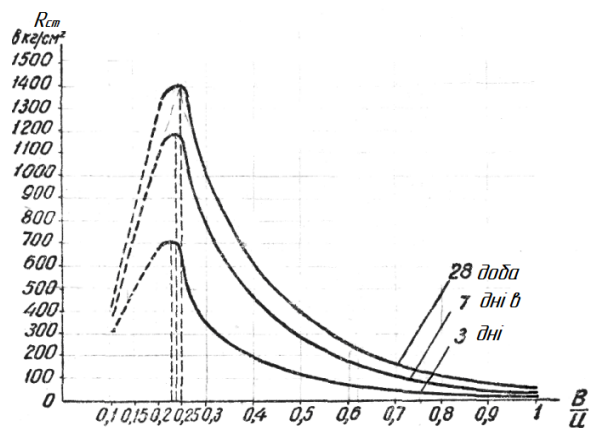


Рис. 1. Залежність міцності цементного каменю від В/Ц [3]

обумовлено усадкою, яка викликає розтріскування цементного каменю або втрату зчеплення останнього з заповнювачем. На наш погляд, зменшення міцності в області малих значень В/Ц при звичайних засобах ущільнення і звичайній температурі твердіння в більшій мірі залежить від ступеня гідратації цементу і мікроструктури цементного каменю.

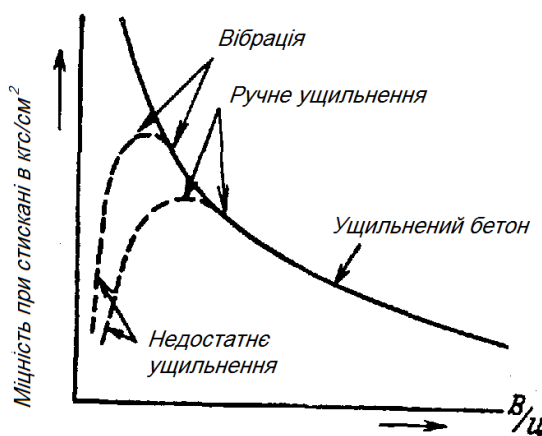


Рис. 2. Залежність міцності бетону від В/Ц [4]

Міцність бетону визначається не тільки величиною В/Ц, а й активністю цементу R_c . Найбільш відомими рівняннями, що відображають цю залежність, є формули М. Болоея, І.О. Риб'єва, Л.А. Кайсера, М.З. Симонова та ін. [4]. Усі їхні формули мають той недолік, що в них входять лише початкові параметри бетонної суміші й у найзагальнішому вигляді. Вони не містять характеристик структури

нових утворень і тих параметрів, які визначають процеси їх створення.

Загальноприйнятою є залежність, отримана статистично за результатами численних експериментів, проведених у середині 50-х років минулого століття під керівництвом Б.Г.Скрамтаєва і Ю.М.Баженова [5]. Графік, що відображає цю залежність, доповнений нами координатної сіткою, поданий на рис. 3.

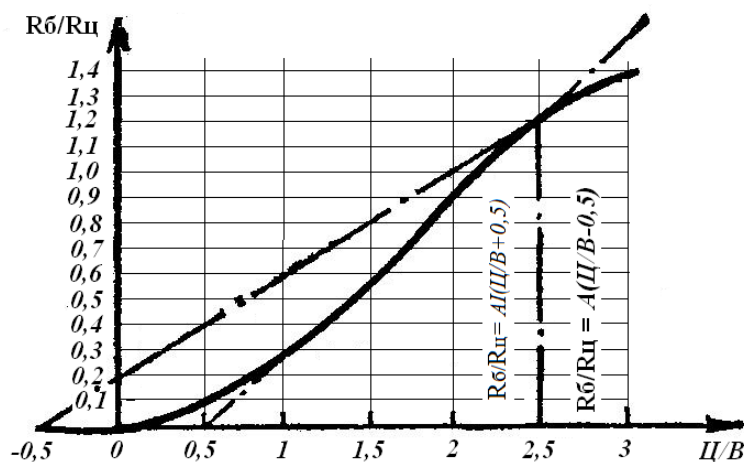


Рис. 3. Експериментальна статистична залежність R_b/R_c від Ц/В

Автори експериментальної залежності $R_6/R_{ц}$ від $Ц/В$, поданої на рис. 3, виразили її двома лінійними рівняннями – в області $Ц/В$ до 2,5 і після 2,5, відносячи їх до бетонів низької і середньої міцності та високоміцних бетонів, відповідно [5]. У рівняннях A і A_1 – коефіцієнти якості заповнювачів або тангенс кута нахилу графіків. Залежно від якості (високоякісні, рядові і зниженої якості) заповнювачів величини A і A_1 приймаються в інтервалах $A = 0,57-0,63$ і $A_1 = 0,37-0,43$.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Таким чином, відомі залежності міцності цементного

каменю і бетону від $В/Ц$ залишаються емпіричними і не враховують впливу $В/Ц$ на формування первинного каркасу продуктів гідратації цементу, а його характеру – на міцність. Поставлена важлива наукова і практична проблема встановлення цієї залежності.

Основна частина дослідження. На відміну від згаданих теоретичних уявлень і емпіричних формул, розроблених різними авторами, в [6; 7] розроблена кількісна фізично обґрунтована теорія міцності цементного каменю і бетону, відповідні рівняння, які дали повний збіг розрахункових та експериментальних величин міцності після 28 діб нормального твердіння для різних $В/Ц$ (рис. 4, 5).

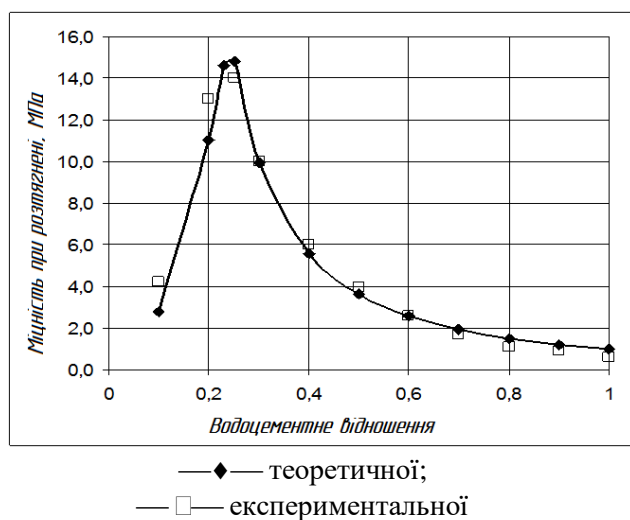


Рис. 4. Залежність величин міцності цементного каменю від $В/Ц$ [8; 9]

Згідно розробленої теорії міцності цементного каменю його міцність визначається концентрацією електрогетерогенних контактів ЕГК між позитивно і негативно зарядженими частинками і залежить екстремально від $В/Ц$ (рис. 6). Оптимальними для бетону є величини $(Ц/В)_{\text{опт.б}} = 2,5$ і $(В/Ц)_{\text{опт.б}} = 0,4$ (рис. 5), що значно перевищує $(Ц/В)_{\text{опт.ц}} = 4$ і $(В/Ц)_{\text{опт.ц}} = 0,25$ (точніше 0,23) для чистого цементного каменю (рис. 6, 7). Це зумовлено збільшенням кількості води в бетоні на змочування заповнювачів. Екстремум теоретичної міцності бетону (недосяжної для звичайних бетонів) при $Ц/В = 4,0$ або $В/Ц = 0,25$ (рис. 8, істинне

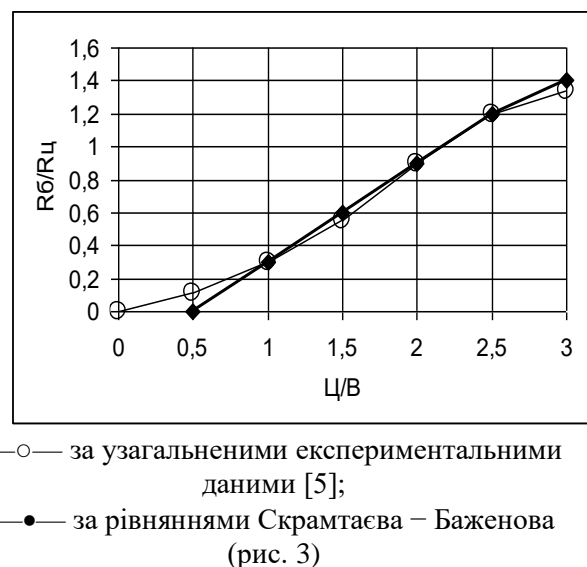


Рис. 5. Залежність $R_6/R_{ц}$ від $Ц/В$

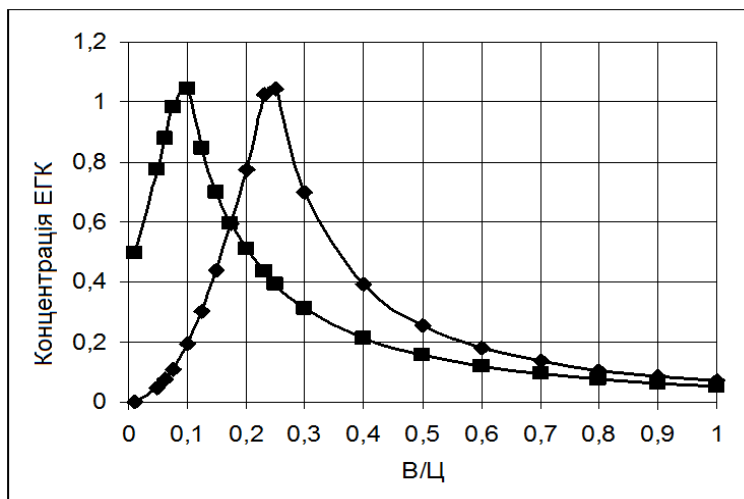
$В/Ц = 0,1$, рис. 6), виходить за межі $Ц/В = 3$ для звичайних бетонів (рис. 3) за методикою НДІЗБ. При зростанні $Ц/В$ від 0,5 до 2,5 (бетони низької і середньої міцності) зростає концентрація електрогетерогенних контактів в цементному камені бетону, відповідно, збільшується міцність бетону згідно закону $Ц/В$ ($В/Ц$).

При подальшому збільшенні $Ц/В$ від 2,5 до 3 (високоміцні бетони) концентрація електрогетерогенних контактів зменшується, тому що кількість продуктів гідратації визначається лише витратою води і не зростає із збільшенням витрати цементу, рис. 8.

Відповідно, нахил кривої, що відображає закон В/Ц, стає більш пологим (рис. 3).

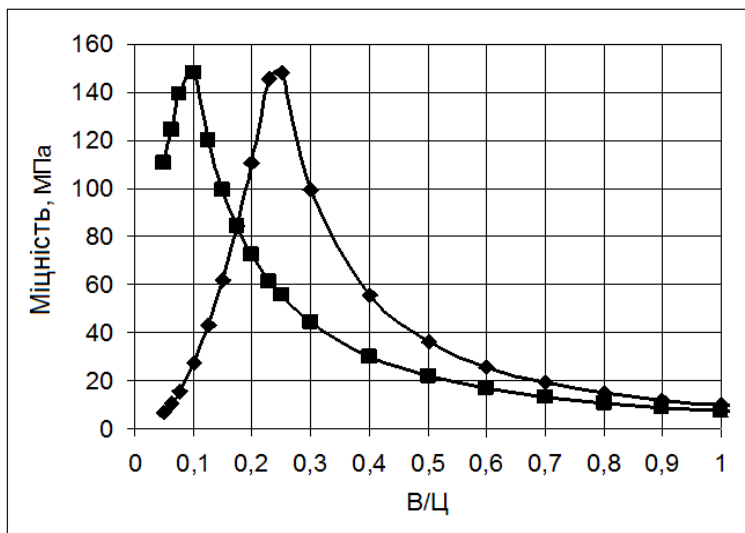
При ще більшому збільшенні (теоретичному) Ц/В (більше 3) концентрація електрогетерогенних контактів повинна спадати ще більше, і при Ц/В = 4 міцність бетону повинна різко зменшуватися.

Оскільки у звичайному важкому бетоні кількість води для гідратації цементу збільшується за рахунок її частки, що витрачається на змочування заповнювачів, В/Ц = 0,23 практично не застосовується (рис. 3).



- ◆— концентрація ЕГК в чистому цементному камені;
- концентрація ЕГК в бетоні при істинному Ц/В (без води на змочування)

Рис. 6. Залежність концентрації електрогетерогенних контактів ЕГК в чистому цементному камені та у бетоні від В/Ц



- ◆— міцність при стиску чистого цементного каменю;
- розрахункова міцність при стиску цементного каменю в бетоні

Рис. 7. Графіки залежності експериментальної і розрахункової міцності чистого цементного каменю і розрахункової міцності цементного каменю в бетоні



Рис. 8. Графіки залежності концентрації електрогетерогенних контактів ЕГК і відношення $R_{\delta}/R_{\text{ц}}$ від Ц/В для бетону

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, встановлено вплив В/Ц на формування первинного каркасу продуктів

гідратації цементу, а його характеру – на міцність. Обґрунтовано оптимальну величину В/Ц бетону за рис. 8 – 0,32, яка відповідає отриманим експериментальним даним.

Список використаних джерел

1. Особливошвидкотверднучий безпропарювальний бетон [Текст]: пат. 99426 UA МПК (2012.01) G01N 33/38 (206.01) C04B 28/00 / УкрДАЗТ; Плугін А.А., Плугін А.М., Романенко О.В., Плугін О.А., Калінін О.А., Плугін Д.А., Мірошніченко С.В. – Заявл.14.12.2011. – Заявка № а 2011 14838. – Опубл. 10.08.2002. – Бюл.№15.
2. Дворкін, Л.Й. Бетони і будівельні розчини [Текст] / Л.Й. Дворкін. – К.: Основа, 2005. – 448 с.
3. Киреєнко, И.А. Расчет состава высокопрочных и обычных бетонов и растворов на стандартных и мелких песках [Текст] / И.А. Киреєнко. – К.: Госстройиздат УССР, 1961. – 80 с.
4. Невилль, А.М. Свойства бетона [Текст] / А.М. Невилль. – М.: Стройиздат, 1972. – 344 с.
5. Уточненне формулы для определения прочности бетона [Текст]: Письмо зам. нач. УНИР Госстроя СССР, проф., д.т.н. Б.Г.Скрамтаева и доц., к.т.н. Ю.М. Баженова.
6. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво [Текст] / Р.Ф. Рунова, В.І. Гоц, І.І. Назаренко [та ін.]. – К.: УВПК «ЕксОб», 2008. – 355 с.
7. Плугін, А.Н. Коллоидно-химические основы прочности, разрушения и долговечности бетона и железобетонных конструкций [Текст] / А.Н. Плугін, А.А. Плугін, О.А. Калинин // Цемент. – 1997. - №2. – С. 28-32.
8. Волянський, О.А. Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій. Т.1. Технологія бетону [Текст] / О.А. Волянський. – К.: Вища школа, 1994. – 271 с.

9. Повышение надежности железобетонных подрельсовых оснований при различных режимах и условиях эксплуатации [Текст]: отчет о НИР / Арк.Н. Плагин, В.Б. Шишов, В.Г. Скрипник, Л.Г. Порошина [и др.]. - № 0183003909. – Харьков: ХИИТ, 1983. – 131 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.А. Плагин

Романенко Олександр Валерійович, асистент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730 10 63E-mail: roma_kharkov83@mail.ru.

Romanenko Alexander V. assistant of Building Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: +38(057) 730 10 63. E-mail: roma_kharkov83@mail.ru.

УДК 666.97.03+004

КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ БЕТОНУ «ПСБ УкрДАЗТ»

Д-р фіз.-мат. наук Н.Д. Сізова,
д-р техн. наук А.А. Плагин,
кандидати техн. наук О.А. Калінін, І.А. Міхєєв, Ант. А. Плагин

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА БЕТОНА «ПСБ УкрГАЗТ»

Д-р физ.-мат. наук Н.Д. Сизова,
д-р техн. наук А.А. Плагин,
кандидаты техн. наук О.А. Калинин, И.А. Михеев, Ант. А. Плагин

COMPUTER PROGRAM FOR THE CONCRETE MIX DESIGN «CMD UkrSAR»

Doct. of phys.-math. sciences N. Sizova,
doct. of techn. sciences A. Plugin,
cand. of techn. sciences O. Kalinin, I. Mikheev, Ant. Plugin

Представлено комп'ютерну програму «ПСБ УкрДАЗТ» для вирішення завдання проектування складу бетону з урахуванням властивостей складових матеріалів по запропонованим методологіям розрахунку. Описано основні елементи інтерфейсу користувача, функціональні можливості і порядок роботи для вирішення поставлених завдань. Наведено приклад розв'язання задачі проектування складу бетону за допомогою комп'ютерної програми.

Ключові слова: технологія бетону, проектування складу бетону, комп'ютерна програма.

Представлена компьютерная программа «ПСБ УкрГАЗТ» для решения задачи проектирования состава бетона с учетом свойств составляющих материалов по заложенным методологиям расчета. Описаны основные элементы интерфейса пользователя, функциональные возможности и порядок работы для решения поставленных задач. Приведен пример решения задачи проектирования состава бетона с помощью компьютерной программы.

Ключевые слова: технология бетона, проектирование состава бетона, компьютерная программа.

Presented PC software «CMD UkrSAR» as part of the project «Creation of a prototype intelligent system control composition and properties of concrete for designs and constructions of railways» by a team of authors of the UkrSAR and KhNUCA. Use of information technology in the process of solving the technological problems of applied expediently and justified. The computer program allows to design heavy cement concrete with specified properties. Basic user interface elements are described for each of the

component materials: cement, aggregates and additives. Example of solving the problem of design of concrete using a computer program is presented. The results of the computer program are presented in the form of a report and a strength diagram and generated automatically. The software can be used as a stand-alone computer program, as well as in the complex automated control systems for the production of concrete mixes, concrete and reinforced concrete products.

Keywords: concrete technology, concrete mix design, computer program.

Вступ. У сучасних умовах актуальними питаннями технології бетону є: досягнення високих якісних характеристик, оптимізація технологічних процесів і операцій на виробництві, застосування сучасних ресурсозберігаючих технологій, зниження всіх видів витрат під час його виготовлення. Вирішення поставлених питань великою мірою пов'язане з використанням у рецептурах бетонів багатокомпонентних мінеральних та хімічних добавок та застосуванням нового виробничого устаткування з елементами автоматизації та інформатизації технологічних процесів.

Широке застосування сучасних інформаційних систем для розв'язання задач технології композиційних матеріалів зумовило появу нового наукового напрямку – комп'ютерного матеріалознавства, що бурхливо розвивається та спрямований на дослідження властивостей матеріалів на основі математичного моделювання із застосуванням комп'ютерної техніки [1-3].

Основний матеріал. В ході виконання комплексного наукового проекту: «Розвиток теоретичних та експериментальних основ визначення складів водонепроникного тріщиностійкого бетону для конструкцій і споруд залізниць» та підтеми комплексного наукового проекту «Створення прототипу інтелектуальної системи управління складом і властивостями бетону для конструкцій і споруд залізниць» колективом авторів Української державної академії залізничного транспорту та Харківського національного університету будівництва та архітектури створено комп'ютерну програму «ПСБ УкрДАЗТ», що дозволяє проектувати склади важких цементних бетонів із заданими властивостями, основне призначення якої – використання у вигляді автономної комп'ютерної програми, а також у складі комплексу автоматизованих систем управління виробництвом бетонних сумішей, бетонних і залізобетонних виробів [3].

Комп'ютерна програма «ПСБ УкрДАЗТ» має декілька функцій, основна з яких визначати

дозування складових матеріалів виходячи з їх характеристик та проектних властивостей бетонної суміші та бетону в певному віці, що істотно спрощує завдання прийняття рішень в нестационарних лабораторних і виробничих умовах [5].

Структура інформаційної системи має блокову структуру [6], що відображено у модульній структурі комп'ютерної програми. Для забезпечення вимоги кросплатформенного інтерфейсу (рис. 1) у якості мови програмування обрано Python із використанням додаткових модулів tkinter, PIL, reportlab. Загальна кількість строк операторів біля 5000.

Інтерфейс користувача розроблено із забезпеченням принципів комфортності використання, високої функціональності та підтримки користувача на всіх етапах використання розв'язання поставленої задачі. Головна форма має вкладки «Вихідні дані», «Результати розрахунків», «Діаграма набору міцності».

Відповідно до алгоритму розв'язання задачі проектування складу бетону першим кроком є вибір методики розрахунку складу бетону [7-9] та основного параметра управління складом з п'яти можливих варіантів у груповому блоці «Розрахунок виходячи з»:

- витрата води;
- водоцементне відношення (В/Ц);
- осадка конуса;
- жорсткість;
- міцність.

При виборі будь-якого з параметрів управління у якості основного всі інші становляться недоступними для нормування, а їх значення розраховуються згідно алгоритму методології.

Наприклад, при виборі витрати води у якості основного параметра управління, решта всіх показників технологічних властивостей бетонної суміші (зручноукладність) і бетону (міцність, морозостійкість, водонепроникність) визначаються по розрахункових формулах.

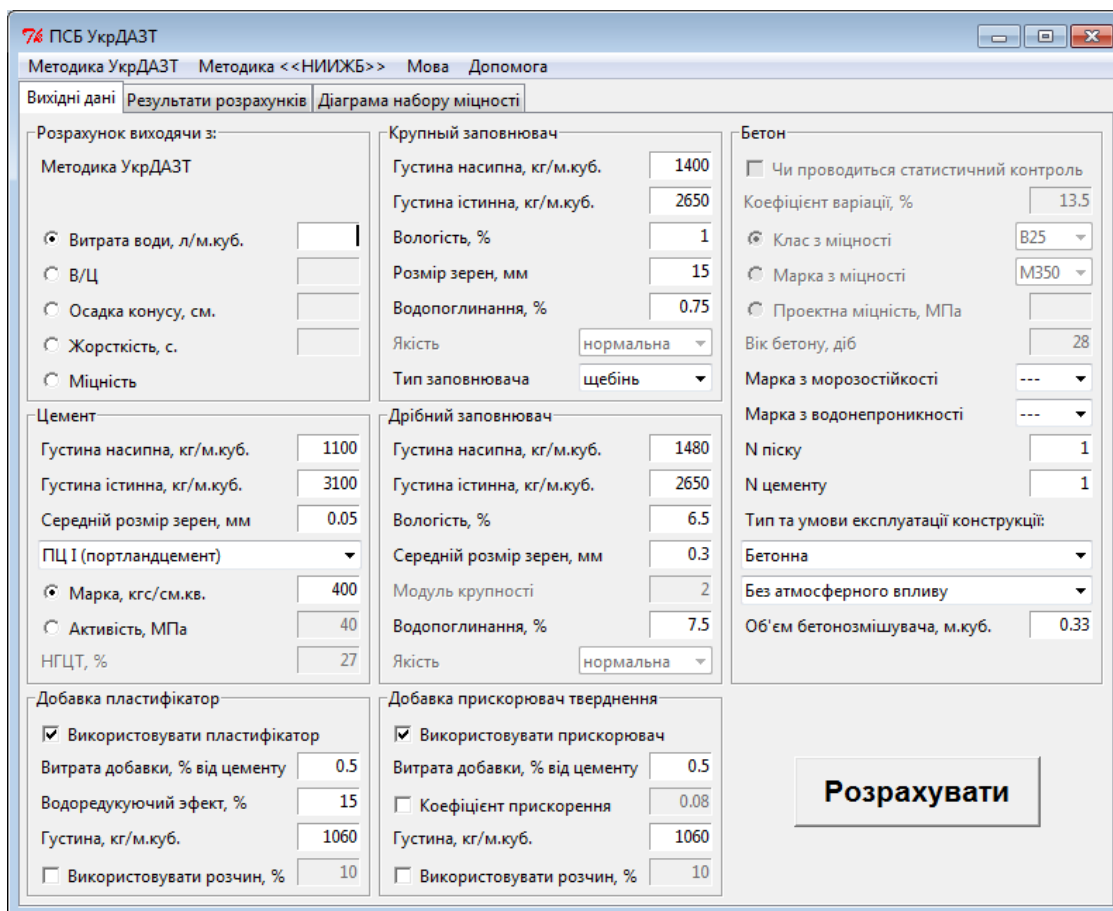


Рис. 1. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми «ПСБ УкрДАЗТ»

Оскільки предметною галуззю розробленого програмного забезпечення є цементні бетони, в'яжучою речовиною яких є цементі різних видів, то характеристики цього матеріалу можуть істотно вплинути на властивості кінцевого продукту. У якості параметрів для цементів обрано (груповий блок «Цемент»):

- густина насипна;
- густина істинна;
- середній розмір зерен;
- вид цементу;
- марка цементу;
- активність цементу;
- нормальна густина цементного тіста (НГЦТ).

Необхідно відзначити, що цементі, які використовуються при виробництві бетону, володіють низкою інших важливих характеристик: хімічний і мінералогічний склади, тонкість помелу тощо. Проте, як правило, значення таких характеристик в

умовах виробничого процесу дуже трудомістко, а іноді й неможливо оперативно визначити. Можлива інформація про подібні характеристики враховується у вигляді емпіричних поправок при експериментальних перевірках достовірності проектних рішень.

Важливою складовою частиною бетону як композиційного матеріалу є заповнювачі, що можуть займати до 80% об'єму бетонної суміші, властивості яких враховані у груповому блоці «Крупний заповнювач».

Формуючи каркас бетону, заповнювачі активно впливають на його властивості, знижуючи усадкову напругу, збільшуючи модуль пружності і зменшуючи повзучість, впливаючи на щільність та ін.

Груповий блок містить поля вводу, що характеризують основні властивості крупних заповнювачів бетону (як правило, це щебінь або гравій):

- густина насипна;
- густина істинна;

- вологість;
- розмір зерен;
- водопоглинання;
- якість крупного заповнювача;
- тип крупного заповнювача.

Необхідно відзначити, що як і у випадку з цементом, для крупного заповнювача відомий ряд характеристик, які також мають вплив на властивості кінцевого продукту, але не закладені в алгоритм методології. Значення цих характеристик повинні перевірятися на відповідність нормам і правилам при проведенні експериментальних досліджень. Для крупного заповнювача це: найбільша крупність, зерновий (гранулометричний) склад, порожнистість, засміченість, форма і шорсткість зерен, морозостійкість, водостійкість, міцність на стиск, міцність при стиранні тощо.

Для заповнення порожнеч між зернами крупного заповнювача з метою отримання щільнішої структури та економії цементу в технології бетону широко застосовуються дрібний заповнювач, як правило, піски.

Груповий блок «Дрібний заповнювач» містить поля вводу, що характеризують основні властивості дрібного заповнювача бетону:

- густина насипна;
- густина істинна;
- вологість;
- середній розмір зерен;
- модуль крупності;
- водопоглинання;
- якість дрібного заповнювача.

Необхідно відзначити, що як і у випадку з цементом і крупним заповнювачем, для дрібного заповнювача відомий ряд характеристик, які також мають вплив на властивості кінцевого продукту, але не закладені в алгоритм методології. Значення цих характеристик повинні перевірятися на відповідність нормам і правилам при проведенні експериментальних досліджень. Для дрібного заповнювача це: вміст домішок, гранулометричний склад та ін.

Введення в бетонну суміш додаткових компонентів (добавок) є найбільш ефективним способом регулювання властивостей бетонної суміші і бетону. До основних видів добавок відносяться пластифікатори (компоненти, що поліпшують технологічні властивості бетонних сумішей: рухливість, зв'язність тощо), а також добавки, що регулюють тверднення бетону (прискорювачі/сповільнювачі тверднення).

Груповий блок «Добавка пластифікатор» у комп'ютерній програмі «ПСБ УкрДАЗТ» відповідає за властивості пластифікаторів, основною з яких є водоредукуючий ефект. Для вводу даних користувачеві доступні:

- перемикач можливості застосування добавки пластифікатора;
- витрата добавки;
- водоредукуючий ефект;
- густина;
- перемикач можливості застосування водного розчину добавки;
- концентрація розчину.

Необхідно відзначити, що більшість добавок мають поліфункціональний характер впливу. Таким чином, пластифікуючи добавки можуть не тільки поліпшити рухливість бетонних сумішей, але і змінити терміни тужавлення, темпи наростання і кінцеві значення характеристик міцності бетонів в проектному віці. Проте повною мірою врахувати вплив всіх видів пластифікуючих добавок не представляється можливим, тому необхідно перевіряти проектні властивості бетонних сумішей і бетонів на відповідність нормам і правилам при проведенні експериментальних досліджень.

Міцність бетону наростає протягом тривалого часу, але найбільш інтенсивне її зростання спостерігається в початковий період тверднення. Проте характер інтенсивності набору міцності бетону різний і залежить від множини керованих, контрольованих і неконтрольованих факторів. У числі цих факторів: вид цементу, його мінералогічний склад, значення водоцементного відношення, наявність і вид хімічних добавок, температурно-вологістні умови тверднення бетону тощо. Для управління інтенсивністю набору міцності, як правило використовуються хімічні добавки: прискорювачі тверднення. Груповий блок «Добавка прискорювач тверднення» у комп'ютерній програмі «ПСБ УкрДАЗТ» відповідає за властивості прискорювачів. Для обліку впливу добавки на процес тверднення бетону в часі запропонована емпірична залежність, що заснована на загальновідомій логарифмічній залежності міцності бетону від тривалості тверднення [10]. У залежності істотне значення має коефіцієнт прискорення тверднення, що приймає значення у діапазоні від 0 до 0,3.

Для вводу користувачеві доступні:

- перемикач можливості застосування добавки прискорювача тверднення;
- витрата добавки;
- коефіцієнт прискорення тверднення;
- щільність добавки;
- перемикач можливості застосування водного розчину добавки;
- концентрація розчину.

Процес вибору/призначення проектних характеристик бетону є найвідповідальнішим у процесі проектування складу бетону і проводиться у груповому блоці «Бетон». Основна нормована властивість бетону – міцність на стиск. Цей параметр є стандартним критерієм при вирішенні більшості завдань проектування складу бетону.

Для вводу користувачеві доступні:

- перемикач можливості обліку статистичного контролю міцності з вказівкою, коефіцієнта варіації;
- список допустимих класів бетону;
- список допустимих марок бетону;
- проектна міцність бетону;
- вік бетону;
- список допустимих марок з морозостійкості;
- список допустимих марок з водонепроникності;
- N піску;
- N цементу;
- тип конструкції;
- умови експлуатації конструкції;
- об'єм бетонозмішувача.

Для вирішення завдання проектування складу бетону за допомогою програмного забезпечення «ПСБ УкрДАЗТ» необхідно:

1) обрати основний параметр для вирішення завдання в груповому блоці «Розрахунок виходячи з», вказати значення обраного параметра;

2) ввести характеристики складових матеріалів (за необхідності змінити значення, що вказані за умовчанням);

3) натиснути кнопку «Розрахувати» на головній формі.

4) перейти на вкладку «Результати розрахунків» і переглянути звіт (виконується автоматично після кожного натиснення на кнопку «Розрахувати»).

5) перейти на вкладку «Діаграма набору міцності» і переглянути графічне зображення залежності міцності бетону на стиск від часу тверднення.

Етапи 1 і 3 є обов'язковими до виконання.

Звіт розв'язання задачі проектування складу бетону має односторінковий формат і складається з декількох частин (рис. 2):

- основні характеристики складових матеріалів;
- проектні характеристики бетонної суміші і бетону;
- номінальний, виробничий склади (абсолютні і відносні значення);
- дозування на один заміс у бетонозмішувачі вказаного об'єму.
- додаткова інформація (дата розрахунку тощо).

Звіт може бути експортований в один з трьох форматів: *.txt; *.csv; *.pdf.

На вкладці «Діаграма набору міцності» після розрахунку складу бетону зображується графік залежності міцності бетону на стиск від часу тверднення з вказівкою кількісної оцінки міцності у віці 3, 7, 14 і 28 діб тверднення (рис. 3). Діаграму набору може бути експортовано у вигляді зображення формату *.jpg.

Для кожного полів вводу, в яке користувач може помилково ввести неприпустимі значення, в кодї програми закладено інтервал/список можливих значень, а модуль виправлення помилок в коректній формі виводить повідомлення із рекомендованими значеннями.

Висновки. Комп'ютерна програма «ПСБ УкрДАЗТ» призначена для широкого кола технологічної спільноти, перш за все робітників будівельних організацій і підприємств, що спеціалізуються на виробництві бетону й виробів з нього, включаючи заводи ЗБВ, виробників товарного бетону, а також наукових співробітників і слухачів ВНЗів. Використання комп'ютерної програми дозволяє підвищити продуктивність праці, культурний рівень прийняття рішень, знизити матеріалоемність виробництва та отримати економічний ефект шляхом проектування та оперативного корегування складів бетону в залежності від змін рецептурно-технологічних параметрів.

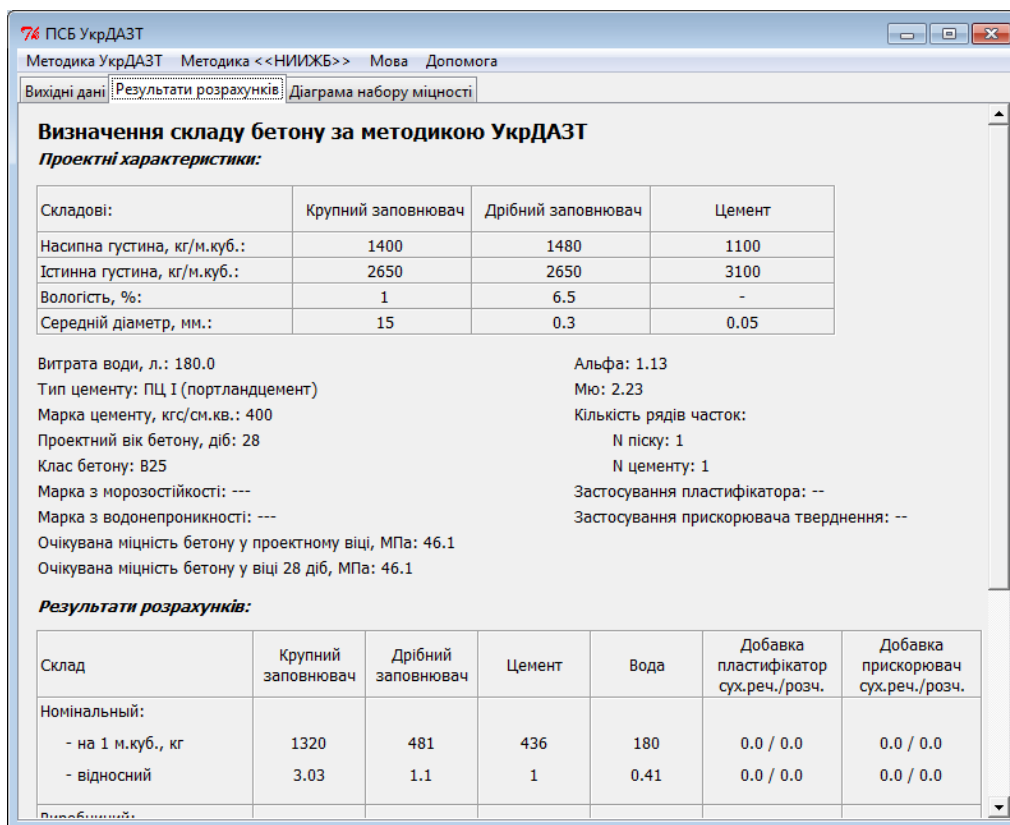


Рис. 2. Звіт - результат розв'язання задачі проектування складу бетону для конкретних параметрів

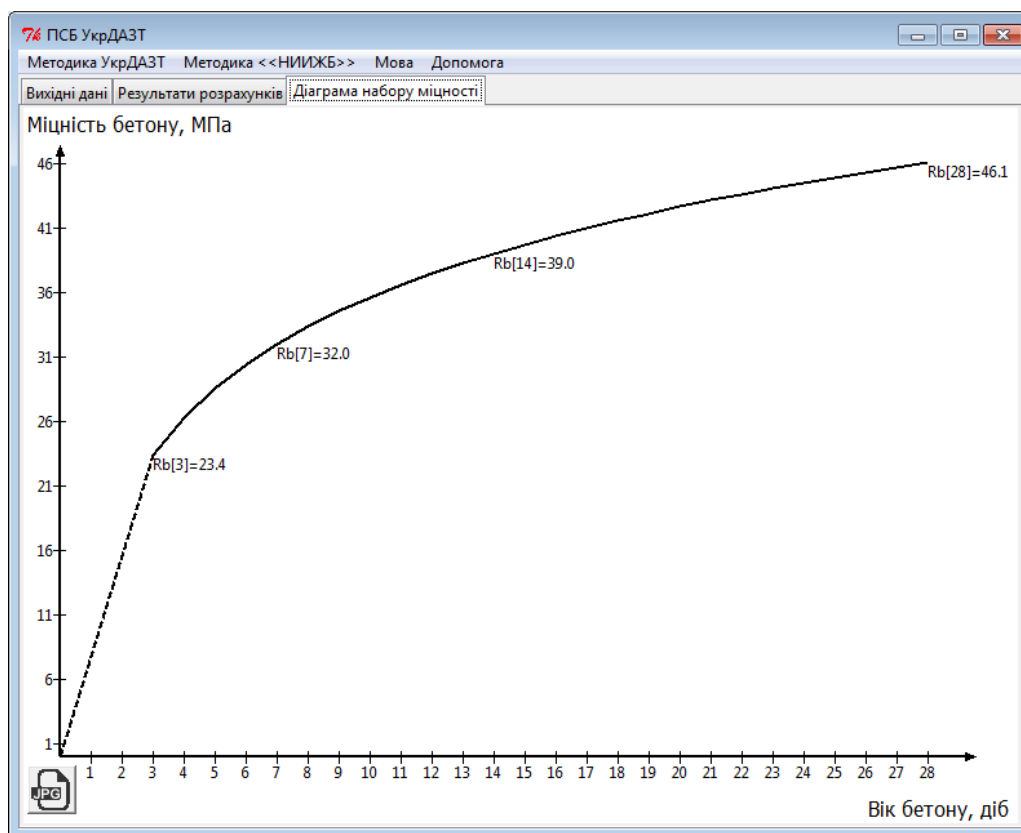


Рис. 3. Діаграма набору міцності бетону проектного складу

Список використаних джерел

1. Вознесенский, В.А. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении [Текст] / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко. – Одесса.: Астропринт, 2006. – 110 с.
2. Плугин, А.Н. Проектирование долговечности конструкций и сооружений из бетона на основе физико-химических моделей [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.С. Борзяк, О.А. Калинин, С.В. Мирошниченко, Д.А. Плугин // Компьютерное материаловедение и обеспечение качества: Матер. к 45-му Междунар. семинару по моделированию и оптимизации композитов МОК'45, Одесса, 28–29 апреля 2006. – Одесса: Астропринт, 2006. – С.10–14.
3. Латорец, Е.В. Анализ применения современных информационных технологий для решения задач производства товарного бетона [Текст] / Е.В. Латорец, И.А. Михеев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №2/6 (50). – С. 32–34.
4. Сизова, Н.Д. Физическое и математическое моделирование в задаче проектирования состава бетона [Текст] / Н.Д. Сизова, А.А. Плугин, О.А. Калинин, И.А. Михеев // Моделирование и оптимизация композитов: Материалы к международному семинару, посвященному 80-летию В.А. Вознесенскому (Одесса, 22–23 апр. 2014). – Одесса: Астропринт, 2014. – С. 90–94
5. Плугин, А.А. Программное обеспечение системы проектирования состава бетона для конструкций и сооружений железных дорог [Текст] / А.А. Плугин, О.А. Калинин, Н.Д. Сизова, И.А. Михеев // Технологический аудит. – 2013. – № 6/1(14) – С. 38–40.
6. Сизова, Н.Д. Особенности создания программного обеспечения для проектирования состава бетона [Текст] / Н.Д. Сизова, И.А. Михеев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 6/2(66) – С. 27–31
7. Руководство по подбору составов тяжелого бетона [Текст] // НИИЖБ. – М: Стройиздат, 1979. – 102 с.
8. Плугин, А.А. Физико-химическая модель долговечности бетона и железобетона [Текст] / А.А. Плугин // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 77. – С. 104–119.
9. Спосіб визначення складу високоміцного, тріщиностійкого і водонепроникного бетону [Текст]: пат. 62613 UA. МПК 7C04B28/12 / А.М. Плугін, О.А. Калінін, С.В. Мірошніченко, А.А. Плугін та ін. – Заявл.15.04.2003. – №2003043396. – Опубл. 15.06.2005. – Бюл. №6.
10. Сизова, Н.Д. Оценка изменения прочности бетона во времени [Текст] / Н.Д. Сизова, И.А. Михеев // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ, 2013. – №74. – С. 190–195.

Сизова Наталія Дмитрівна, д-р фіз.-мат. наук, професор, кафедра економічної кібернетики та інформаційних технологій, Харківський національний університет будівництва та архітектури. Тел.: (057) 706-20-49. E-mail: sizova@ukr.net.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, кафедра будівельних матеріалів, конструкцій і споруд, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-63. E-mail: plugin-aa@rambler.ru.

Калінін Олег Анатолійович, канд. техн. наук, доцент, кафедра будівельних матеріалів, конструкцій і споруд, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-68.

Міхеев Іван Андрійович, канд. техн. наук, кафедра економічної кібернетики та інформаційних технологій, Харківський національний університет будівництва та архітектури. Тел.: (057) 706-20-49. E-mail: i.a.mikheev@gmail.com.

Плугін Антон Андрійович, Харківський національний університет радіоелектроніки. Тел.: (057) 730-10-63.

Sizova Nataliya, doct. of phys.-math. sciences, professor, department of economic cybernetics and information technologies, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 706-20-49. E-mail: sizova@ukr.net.

Plugin Andrei, doct. of techn. sciences, professor, department of building materials, structures and facilities, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-63. E-mail: plugin-aa@rambler.ru.

Kalinin Oleg, cand. of techn. sciences, docent, department of building materials, structures and facilities, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-68.

Mikheev Ivan, cand. of techn. sciences, department of economic cybernetics and information technologies, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 706-20-49. E-mail: i.a.mikheev@gmail.com.

Plugin Anton, Kharkiv National University of Radio Electronics. Tel.: (057) 730-10-63.

УДК 624.131

ЗАСТОСУВАННЯ АКТИВНОГО МУЛУ СТАНЦІЙ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ҐРУНТІВ

Канд. техн. наук Л.В. Трикоз, інж. В.Ю. Савчук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНОГО ИЛА СТАНЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТОВ

Канд. техн. наук Л.В. Трикоз, инж. В.Ю. Савчук

USING OF ACTIVATED SLUDGE OF BIOLOGICAL TREATMENT PLANT FOR SOIL STABILIZATION

Cand. of techn. sciences L.V. Trykoz, eng. V.U. Savchuc

У статті розглянуто можливість застосування активного мулу станцій біологічного очищення для стабілізації нестійких ґрунтів в основах будівель та споруд. Активний мул накопичується на полях навколо міст на великій площі, погіршуючи екологічне середовище. У результаті проведених досліджень встановлено, що уведення в ґрунтовий матеріал 50 % активного мулу призводить до збільшення міцності зразків і вирішує проблему його утилізації.

Ключові слова: активний мул, ґрунт, міцність, зв'язуюче.

В статье рассмотрена возможность применения активного ила станций биологической очистки для стабилизации неустойчивых грунтов в основаниях зданий и сооружений. Активный ил накапливается на полях вокруг городов на большой площади, ухудшая экологическую среду. В результате проведенных исследований установлено, что введение в грунтовый материал 50 % активного ила приводит к увеличению прочности образцов и решает проблему его утилизации.

Ключевые слова: активный ил, грунт, прочность, связующее.

The possibility of using activated sludge of biological treatment plants for stabilization of unstable soils in the grounds of structures and buildings is discussed. Activated sludge accumulates on the fields around the cities on a large area. It leads to worsening ecological environment. As a result of the research the strength-quantity relation is got as a function of activated sludge's quantity. It is found that the introduction of 50% of the activated sludge in soil material leads to increase the strength. Also this way solves the problem of its disposal. Low strength of samples at a deviation amount of activated sludge from 50% can be explained in terms of the optimal structure of dispersive system. The formation of the optimal structure means that the distance between the larger particles must be equal to diameter of smaller particles. The interaction between particles of different sizes is provided by attraction of oppositely charged ions on the surface.

Keywords: activated sludge, soil, strength, binder.

Вступ. У теперішній час у світовій практиці накопичено певний досвід поліпшення властивостей ґрунтів для їх подальшого використання шляхом уведення неорганічних або органічних закріплюючих компонентів. Виходячи з економічних міркувань найбільше застосування в будівельній практиці матимуть композиційні матеріали на основі ґрунтів, у яких дефіцитні і відносно дорогі в'язучі та добавки до них використовуються в мінімальних обсягах, а

основну частину складають ті чи інші відходи і побічні продукти промислових підприємств. Одним з таких відходів є активний мул станцій біологічного очищення, проблема утилізації якого є досить актуальною для великих міст.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Стабілізація ґрунта – це фізичне і хімічне змінення ґрунту для покращення його фізичних властивостей. Стабілізація й укріплення

збільшує міцність ґрунта, тим самим покращує несучу здатність ґрунтового матеріалу. У залежності від технології обробки ґрунтів розрізняють два напрямки:

1) ін'єкційне хімічне закріплення, під час якого реагенти у вигляді розчинів або газів уводяться в ґрунти в умовах їх природного залягання і без порушення їх структури, нагнітанням під тиском;

2) бурозмішувальне закріплення ґрунтів, яке здійснюється з порушенням їх природної структури механічним перемішуванням ґрунтів з в'язучими або іншими реагентами і добавками, із застосуванням спеціальних механізмів.

Використання відомих розчинів на цементній основі в поєднанні з традиційними хімічними і мінеральними добавками не забезпечує в ряді випадків високу якість робіт при закріпленні ґрунтів. Актуальним є можливість при такій обробці використовувати нетрадиційні матеріали, в т.ч. побічні продукти і відходи різних галузей промисловості, і заміна до 90% цементу високої собівартості. Широко використовуються відходи коксохімічних виробництв для просочення поверхні ґрунтів, для знепилування, запобігання сповзання або росту рослинності, попереднього ущільнення. На залізницях, за матеріалами [1], застосовують розпорошення бітумної емульсії, каніфольного сульфатного мила, талової олії, жирового гудрону, стеарину, асидол-милонафта, соапстоку, полімерів каніфольно-екстракційного виробництва, госиполової смоли (бавовняний гудрон), сульфатно-спиртової барди, деревної смоли, лужних витравок, газойльового контакту, сланцевої газогенераторної смоли, сирих важких нафт. Штучне закріплення ґрунтів шляхом обробки їх синтетичними смолами знаходить все більш широке застосування в різних видах будівництва [2]. Значного інтересу для залізничного транспорту набуває хімічне закріплення ґрунтів при проведенні робіт з оздоровлення земляного полотна на обдимальних ділянках, так як дозволяє відмовитися від цілого ряду складних, трудомістких і дорогих робіт, що вимагають тривалих перерв у русі поїздів або його обмеження. З технологічної точки зору введення розчинів хімічних реагентів може бути виконано шляхом перемішування, поливу або нагнітання [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи попередні дослідження із стабілізації ґрунтів і вибору реагентів чи добавок можна зробити висновки, що існуючі методи поки ще є недостатньо ефективними, головним чином через складність визначення кількості реагенту чи добавки, способу їх дозування, обробки ґрунта та складність протікання процесів на поверхні глинистих частинок ґрунту [4]. Основний вплив на результат стабілізації ґрунта має відносна вологість, число пластичності, коефіцієнт фільтрації, пористість, ступінь подрібненості [5, 6, 7]. У залежності від цих показників визначається реагент чи добавка та їх оптимальна кількість. Так, згідно з [8], супіски важкі пилуваті, суглинки легкі і легкі пилуваті з числом пластичності до 12 допускається зміцнювати без внесення гранулометричних добавок органічними в'язучими (крім карбамідоформальдегідних смол) з добавкою вапна або інших активних і поверхнево-активних речовин. Глинисті ґрунти з числом пластичності більше 12 до введення в ґрунт в'язучих матеріалів необхідно подрібнити до необхідного ступеня роздрібнення. Відносна вологість глинистих ґрунтів при цьому повинна складати від 0,3 до 0,4 вологості на межі текучості. Для зміцнення бітумними емульсіями придатні суглинки важкі і важкі пилуваті з числом пластичності не більше 15. Суглинки з числом пластичності більше 15 слід зміцнювати бітумними емульсіями після введення в ґрунт гранулометричних добавок (пісків гравелистих, великих, середньої крупності або відходів каменедробіння) і вапна. Кількість цих добавок призначають в межах від 25 до 50 % маси ґрунту [8].

Для підвищення міцнісних характеристик ґрунта, легкості дозування, обробки та вирішення проблеми утилізації активного мулу слід розглянути можливість його застосування замість хімічних та синтетичних реагентів та добавок. Активний мул – це продукт біологічного очищення промислових стічних вод і є коллоїдно-дисперсною системою, яка складається з комплексу мікроорганізмів з адсорбованими на них органічними і неорганічними речовинами [9]. На відміну від хімічних та синтетичних реагентів до хімічного складу активного мулу входить від 30 до 50 % білку, що дозволяє застосувати його як

зв'язуюче ґрунтових матеріалів з метою підвищення їх міцності. Білки містять функціональні групи $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, які взаємодіють з гідроксильними групами, розташованими на поверхні глинистих частинок з утворенням просторової структури [7]. Відмінною рисою стабілізації ґрунта активним мулом у порівнянні з іншими речовинами є використання органічного матеріалу, принцип дії якого на ґрунт полягає в заміщенні іонів в гідратній оболонці на поверхні глинистих частинок ґрунту. У звичайному стані частинки ґрунту утримуються силами електричної взаємодії, за рахунок яких на поверхні частинок утворюються шари з негативно заряджених іонів, які визначають їх здатність до змочування [5]. Після заміни аніонів OH^- на поверхні частинок ґрунту молекулами стабілізатора шар стабілізованого ґрунту набуває підвищену щільність, додаткову міцність, що робить можливим поліпшення

несучої здатності ґрунтових матеріалів. Вказані процеси і реакції перетворюють ґрунт, у результаті чого виникає ґрунтовий матеріал з новими будівельними властивостями.

Метою досліджень було визначення оптимальної кількості активного мулу, яку можна додати в ґрунт для його стабілізації і підвищення міцносних характеристик. Крім того, застосування активного мулу вирішує проблему його утилізації замість накопичування на мулових полях фільтрації навколо міст.

Основний матеріал експериментальних досліджень. Для досягнення мети було досліджено залежність міцності ґрунтових матеріалів від вмісту в них активного мулу, який змінювався від 5 до 50 %. Із суміші глини, води й активного мулу були виготовлені зразки розмірами $4 \times 4 \times 4$ см, які, після витримання в нормальних умовах протягом 7 днів, було випробувано на міцність при стиску (рис. 1).

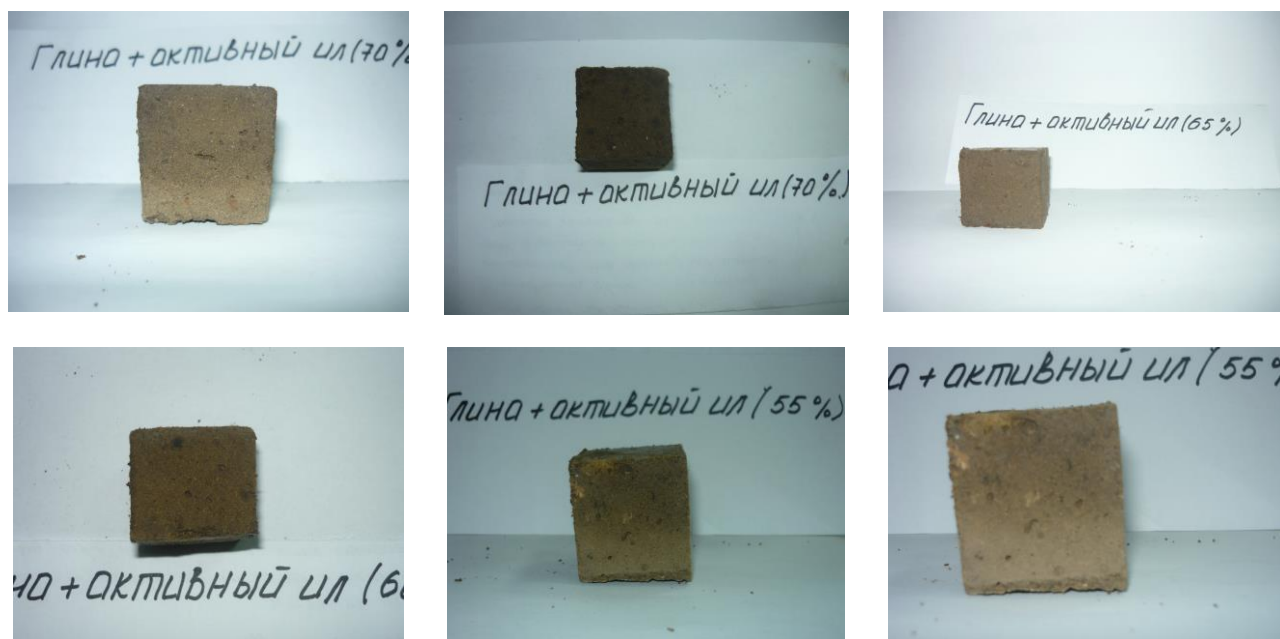


Рис. 1. Зразки ґрунтового матеріалу для випробувань на міцність

У результаті випробувань встановлено, що найбільшу величину міцності (3,45 МПа) мають зразки із вмістом активного мулу 50 % (рис. 2). Отримані попередні результати дають

підґрунтя припустити добру зв'язуючу здатність білкової складової активного мулу та його перспективну утилізацію як стабілізатора ґрунту.

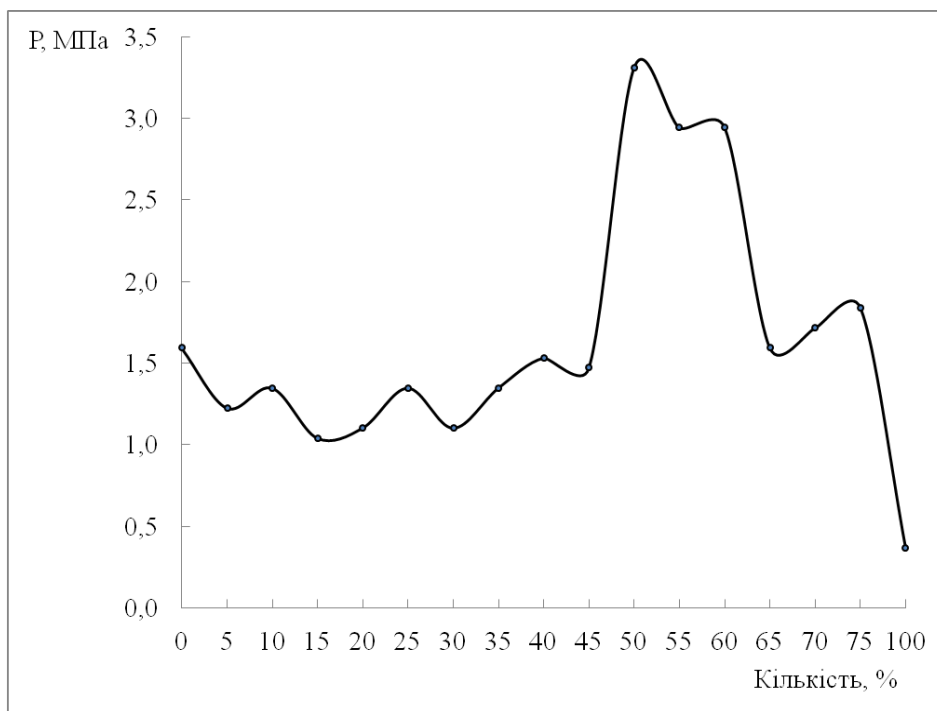


Рис. 2. Залежність міцності зразків від кількості активного мулу

Низька міцність зразків при відхиленні кількості активного мулу від оптимальної у 50 % може бути пояснена з точки зору забезпечення оптимальної структури тверднучих систем [10]. Грунт і активний мул є дисперсними системами, розмір частинок яких коливається в межах від 1 мкм до 1 мм. У випадку утворення оптимальної структури відстань між більш крупними частинками повинна дорівнювати діаметру менш крупних частинок. При цьому контакти між частинками різних розмірів забезпечуються притяганням протилежно заряджених іонів на поверхні. Підтвердження висунутої гіпотези вимагає проведення подальших експериментів.

Висновки з даних досліджень та перспективи подальших досліджень. У результаті проведенних випробувань визначено оптимальну кількість активного мулу, що дозволяє збільшити міцнісні характеристики ґрунтів. Отримані результати вказують на достатню зв'язуючу здатність білкової складової активного мулу та його перспективну утилізацію як стабілізатор ґрунту. Планується впровадження отриманих результатів для підвищення несучої здатності ґрунтів в основі низької пасажирської платформи, а також дослідження можливих проблем, що виникнуть при відпрацюванні нової технології закріплення ґрунтів.

Список використаних джерел

1. Рекомендации по закреплению подвижных песков на железных дорогах вяжущими веществами и механической защитой из сборных элементов [Текст]: утв. ЦП МПС 13.04.1984. – М.: Транспорт, 1985. – 30 с.
2. Крюков, Б.Г. Расчеты радиуса распространения растворов синтетических смол при закреплении ґрунтов основной площадки железнодорожного земляного полотна [Текст] / Б.Г. Крюков // Закрепление и уплотнение ґрунтов в строительстве: тез. докл. на VII Всесоюз. научно-техн. совещ. – М.: Стройиздат, 1971. – С. 299-301.
3. Бойко, М.Д. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие для вузов / М.Д. Бойко. – Л.: Стройиздат, 1986. – 256 с.
4. Ржаницын, Б.А. Химическое закрепление ґрунтов в строительстве [Текст] / Б.А. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 370 с.

5. Ржаницын, Б.А. Руководство по технологии физико-химического укрепления грунтов [Текст] / Б.А. Ржаницын, Л.И. Курденков. – М.: Стройиздат. 1977. – 64 с.
6. Караулова, А.М. Механика грунтов [Текст] / А.М. Караулова. – М.: Стройиздат, 2007. – 286 с.
7. Makusa, G.P. Soil stabilization methods and materials in engineering practice [Электронный ресурс] / G.P. Makusa. – Режим доступа: http://pure.ltu.se/portal/files/42050076/Soil_stabilization_methods_and_materials.pdf. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 05.06.2014).
8. Ржаницын, Б.А. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве [Текст] / Б.А. Ржаницын, Л.И. Курденков. – М.: Стройиздат, 1986. – 96 с.
9. Яковлев, С.В. Очистка производственных сточных вод [Текст] / С.В. Яковлев, Л.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. – М.: Стройиздат, 1979. – 319 с.
10. Трикоз, Л.В. Исследование зависимости прочности цементно-водных составов для герметизации тоннелей от количества наполнителей [Текст] / Л.В. Трикоз, А.В. Никитинский, В.А. Лютый, С.Н. Стоян // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 94. – С. 35-43.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.А. Плуґін

Трикоз Людмила Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net.
Савчук Валентина Юрьевна, здобувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: lov-75@mail.ru.

Trykoz Liudmyla, cand. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net.
Savchuc Valentyna, aspirant Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: lov-75@mail.ru.

УДК 624.012.4: 624.042.7

ВЛИЯНИЕ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОСНОВАНИЯ С МАЛОЭТАЖНЫМИ ЗДАНИЯМИ

Асп. Раджабзадег Могсен (Иран),
канд. техн. наук О.В. Кичаева

ВПЛИВ ҐРУНТОВИХ УМОВ НА ВЗАЄМОДІЮ ОСНОВИ З МАЛОПОВЕРХОВИМИ БУДІВЛЯМИ

Асп. Раджабзадег Могсен (Иран),
канд. техн. наук О.В. Кічаєва

THE EFFECT OF GROUND CONDITIONS ON THE INTERACTION OF LOW-RISE BUILDINGS WITH BASE

Ph.D. Student Rajabzadeh Mohsen (Iran),
cand. of techn. sciences O.V. Kichaeva

В данной статье исследуется влияние грунтовых условий на взаимодействие основания с 5-этажными каркасными зданиями. Исследование было проведено с помощью программы ABAQUS; принята упругопластическая модель грунта. Полученные результаты анализа периодов зданий с учетом и без учета взаимодействия системы «основание – сооружение» показывают, что эффект учета этого взаимодействия достаточно значителен.

Ключевые слова: грунтовые условия, взаимодействие сооружения и основания, упругопластическая модель грунта.

У даній статті досліджується вплив ґрунтових умов на взаємодію основи з 5-поверховими каркасними будинками. Дослідження було проведено за допомогою програми ABAQUS; прийнята пружньопластична модель ґрунту. Отримані результати аналізу періодів будівель з урахуванням і без урахування взаємодії системи «основа - споруда» показують, що ефект обліку цієї взаємодії досить значний.

Ключові слова: ґрунтові умови, взаємодія споруди і підстави, пружньопластична модель ґрунту.

For the most realistic assessment of the dynamic behavior of structures must consider most of the factors that have a significant effect on this behavior: the velocity of propagation of longitudinal and transverse waves in the soil, seismic stiffness soil conditions influence joint vibrations of buildings and grounds, character bearing structures on the ground and many other factors. One of the most important parameters to assess the real dynamic behavior of the building and the whole system "foundation - foundation - structure" is the account of the subgrade. Also one of the main issues in the analysis of interaction phenomena of the "grounds - foundation - structure" is the choice of an appropriate model of the system.

One way is to create a model of the " grounds - foundation - structure " using the finite element method. With this method it is possible to take into account most of the major factors affecting the dynamic operation of the system.

In the present study modeled low-rise buildings with a base, specify the elastoplastic model, and with good reason. After the simulation was carried out modal analysis, providing definition of forms and periods of free oscillations. Were considered different types of soils with different velocities of transverse waves, and then were analyzed values were periods of free oscillations of buildings with and without foundation in the form of the ratio of $T_{(i)'} / T$.

It was found that when the subgrade in a uniform design scheme "grounds - foundation - structure", increases the period of free oscillations of the building; weaker foundation soils increase the oscillation period of the building. Also found that the smaller the rate of passage of the transverse waves have a founding primers, the greater the ratio of the periods. Joint consideration of the " grounds - foundation - structure" becomes more pronounced for higher modes of vibration.

Key words: soil conditions, interaction buildings and grounds, elastoplastic model of a ground.

Введение. При анализе последствий землетрясений просматривается четкая связь между ґрунтовыми условиями площадки и уровнем повреждения зданий, т.к. ґрунтовые напластования влияют на динамическое поведение здания (сооружения).

На изменение сейсмической активности различных типов ґрунтов существенное влияние оказывают: скорости распространения продольных и поперечных волн в ґрунтах, сейсмическая жесткость ґрунтов и её соотношение в слоях ґрунта, резонансные свойства ґрунта, влияние условий совместного колебания здания и основания, соотношение особенностей спектра сейсмических колебаний ґрунта и динамических свойств сооружения, характер опирания сооружения на ґрунт и многие другие факторы.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Таким образом, в силу сложности и адекватного описания

(численного или аналитического), учет всех факторов затруднен. Однако для наиболее реалистической оценки динамического поведения здания (сооружения) необходимо, по возможности, учитывать большинство факторов, в значительной степени влияющих на это поведение. Важнейшим факторов для оценки реального динамического поведения здания и в целом системы «основание – фундамент – сооружение», является учет ґрунтового основания.

Одним из основных вопросов при анализе взаимодействия системы «основание – фундамент – сооружение», является выбор соответствующей модели данной системы. Хорошо зарекомендовавшим себя способом является создание модели системы с помощью метода конечных элементов (МКЭ) [1]. С помощью МКЭ возможно учесть большинство основных факторов, влияющих на динамическую работу системы.

Анализ последних исследований и публикаций. Работы, исследующие данную проблематику, выполнялись Ghanad, Bargi и Kramer; в них, с разной точностью и сложностью, были предложены различные методы, которые аналитически описывают такие модели [2, 3, 4]. Влияние грунтовых условий на сооружения рассматривалось С.В. Медведевым, S. Okamoto, Ю.И. Немчиновым [5], Н.Г. Марьенковым, М.А. Клячко, С.В. Поляковым и многими другими учеными.

Определение цели и задачи исследования

1. Создание соответствующей численной модели для изучения взаимодействия системы «основание – фундамент – сооружение».
2. Оценка взаимодействия основания и сооружения при задании упругопластической модели для грунта.
3. Анализ учета грунтового основания, обладающего различными динамическими характеристиками, в единой расчетной схеме «основание – фундамент – сооружение» и его влияние на работу здания.

Для достижения поставленной цели выполнено четыре модели 5-этажных зданий с основанием и без основания; конечные элементы заданы с учетом нелинейности. После моделирования выполнялся модальный анализ, предусматривающий определение форм и периодов свободных колебаний. Были рассмотрены различные виды грунтов с разными скоростями поперечных волн, после чего анализировались значения периодов свободных колебаний зданий с учетом и без учета основания в виде соотношения $T_{(i)}/T$.

Основная часть исследования. Характеристики моделируемого здания: 5-этажное железобетонное здание, форма в плане симметричная, высота этажа 3,2 м, общая высота - 16 метров (рис. 1). Конструктивная система здания – каркасная в обоих направлениях. Перекрытие выполнено в виде второстепенных балок, плит и пенопластовых блоков. Внешние стены толщиной 25 см, внутренние – толщиной 15 см из керамических блоков. Проект здания, а также все нагрузки и воздействия заданы в соответствии с нормативными документами Ирана [6].

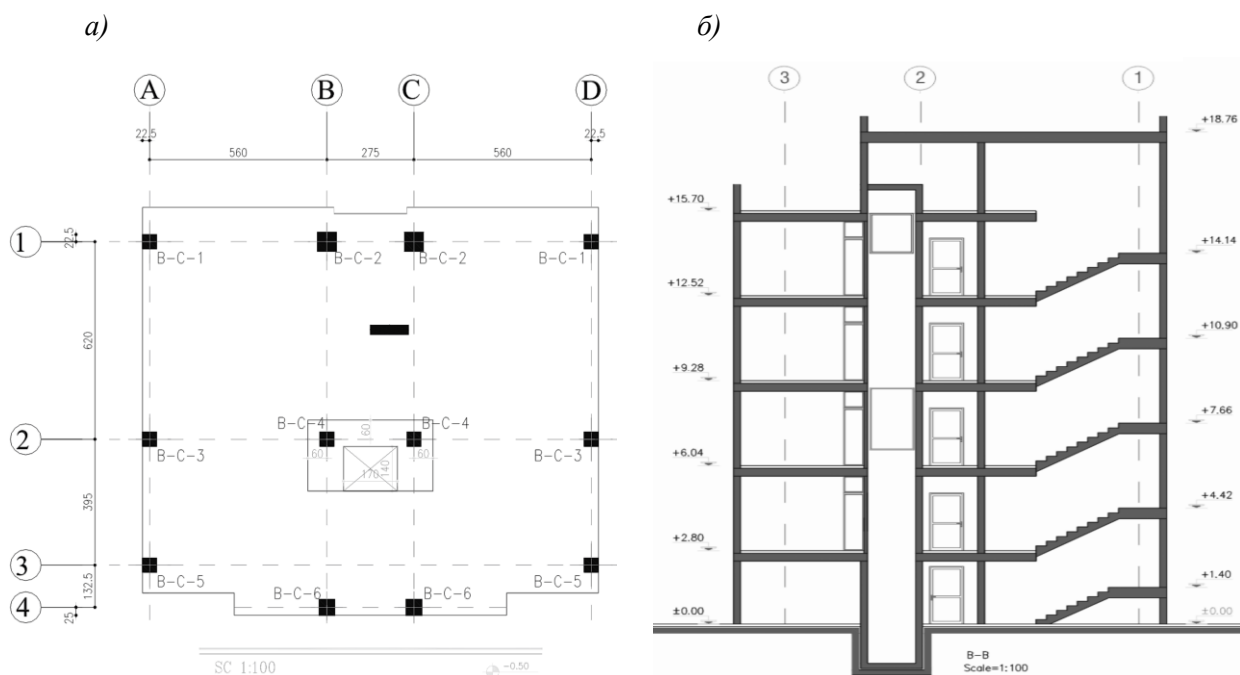


Рис. 1. Конструктивная схема здания:
а – схема расположения колонн; б – поперечный разрез здания

Грунт представлен в виде модели упругого полупространства в соответствии теорией прочности Кулона — Мора, массив

грунта разделен на ближнюю и дальние области, мощность массива составляет 30 м (рис. 2). Предполагается, что массив грунта

подстиается скальным основанием. Ближняя область грунтового массива длиной 60 м включает в себя зоны грунта, располагающегося непосредственно под фундаментными конструкциями, дальняя зона представляет собой полубесконечную пластину. Грунтовой массив, прилегающий к

зданию, моделируется объемными конечными элементами, каждый узел имеет три степени свободы. На стыке конечных элементов фундамента и грунта вводятся коэффициенты, учитывающие фактор трения на контакте фундамент - грунт.

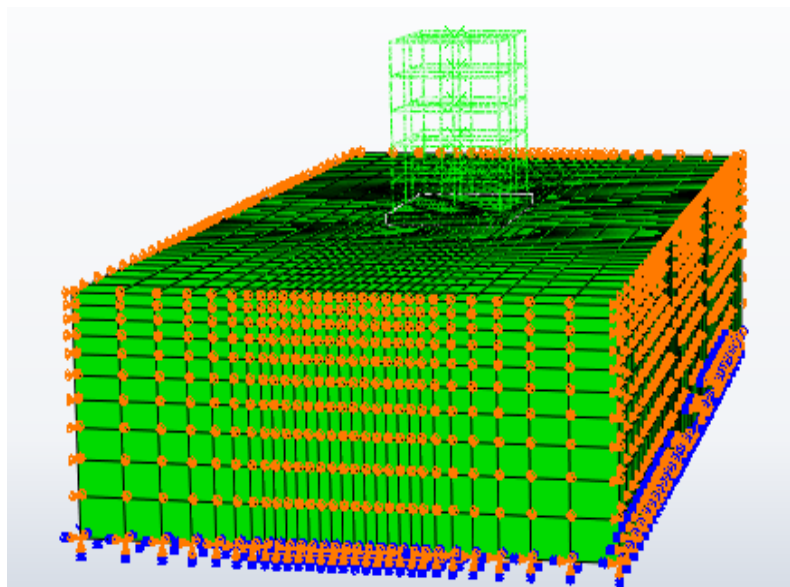


Рис. 2. Конечно-элементная модель здания и полубесконечного основания

Классификация грунтов, а также их сейсмические свойства приняты в соответствии с нормами 2800 [6] и NEHRP [7]. Критерием классификации грунтов в этих нормативных

документах является скорость распространения поперечных волн в грунтах. Другие свойства грунтов приведены в табл. 1 [8].

Таблица 1

Характеристики грунтов

Категория грунта по нормам 2800	Описание	Скорость распространения поперечных волн V_s , м/сек	Удельный вес грунта γ (кН/м ³)	Коэффициент Пуассона	Модуль сдвига G (Н/м ²)
I	Скальные грунты	650	19	0,30	845×10^6
II	Скальные грунты выветрелые и сильно выветрелые	430	18	0,35	$669,8 \times 10^6$
III	Пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные	310	18	0,40	$192,2 \times 10^6$
IV	Глинистые грунты	150	17	0,40	45×10^6

В связи с небольшой толщиной грунтов (30 м), а также для моделирования реального поведения грунта, были использованы два слоя грунтов с различными свойствами. Характеристики верхнего песчаного слоя представлены в табл. 2 [9]. Для моделирования дальней зоны как полубесконечной пластины, по границе грунта используются элементы,

пружины и амортизаторы, которые присоединяются к узлам элементов в направлении землетрясения (горизонтальное направление). Влияние работы пружин в вертикальном и вращательных направлениях предполагается незначительным. Закрепление основания на платформы вдоль UY и UX и UZ выполнено шарнирным.

Таблица 2

Характеристики песчаного грунта

Наименование грунта	Толщина слоя грунта	Скорость распространения поперечных волн V_s , м/сек	Удельный вес грунта γ (кН/м ³)	Коэффициент Пуассона	Модуль сдвига G (Н/м ²)	Модуль деформации E (Н/м ²)
Рыхлый песок	3 м	150	18	0,3	7,7 x 10 ⁶	20,0 x 10 ⁶

Чтобы рассчитать жесткость пружин и коэффициент демпфирования амортизаторы в направлении горизонтальных осей и угла поворота, используются соотношения, предложенные Баркан и Горбуновым-Посадовым [10, 11].

$$K_x = \frac{G\beta_z\sqrt{BL}}{1-\nu}, \quad (1)$$

$$K_y = 2(1+\nu)G\beta_x\sqrt{BL}, \quad (2)$$

$$K_\theta = \frac{G\beta_\phi BL^2}{1-\nu}, \quad (3)$$

где ν – коэффициент Пуассона,
 G – модуль сдвига грунтов,
 L, B – длина и ширина прямоугольного фундамента,
 $\beta_x, \beta_z, \beta_\phi$ – коэффициенты, зависящие от глубины заложения фундамента.
 Значения вычисленных коэффициентов для узлов конечно-элементной сетки показаны в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты жесткости и демпфирования, принятые в расчете

Типы грунтов	Коэффициент жесткости средних узлов, Н/м	Коэффициент жесткости конечных узлов, Н/м	Коэффициенты демпфирования средних узлов, Н·сек/м	Коэффициенты демпфирования конечных узлов, Н·сек/м
I	1517025.5909×10 ⁵	106763.9405×10 ⁵	8007734.160	3988060.31
II	91695.25979×10 ⁵	64533.20254×10 ⁵	6225711.027	3100566.35
III	21293.67097×10 ⁵	14985.87603×10 ⁵	3000118.557	1494137.23
IV	5983.345561×10 ⁵	4210.907313×10 ⁵	1590322.453	792022.029
Рыхлый песок	1117.33810 ×10 ⁵	786.350570×10 ⁵	342261.0856	576529.124

После моделирования системы «основание – фундамент – сооружение» с учетом и без учета основания, выполнялся

модальный анализ и определялись формы и периоды свободных колебаний сооружения (рис. 3).

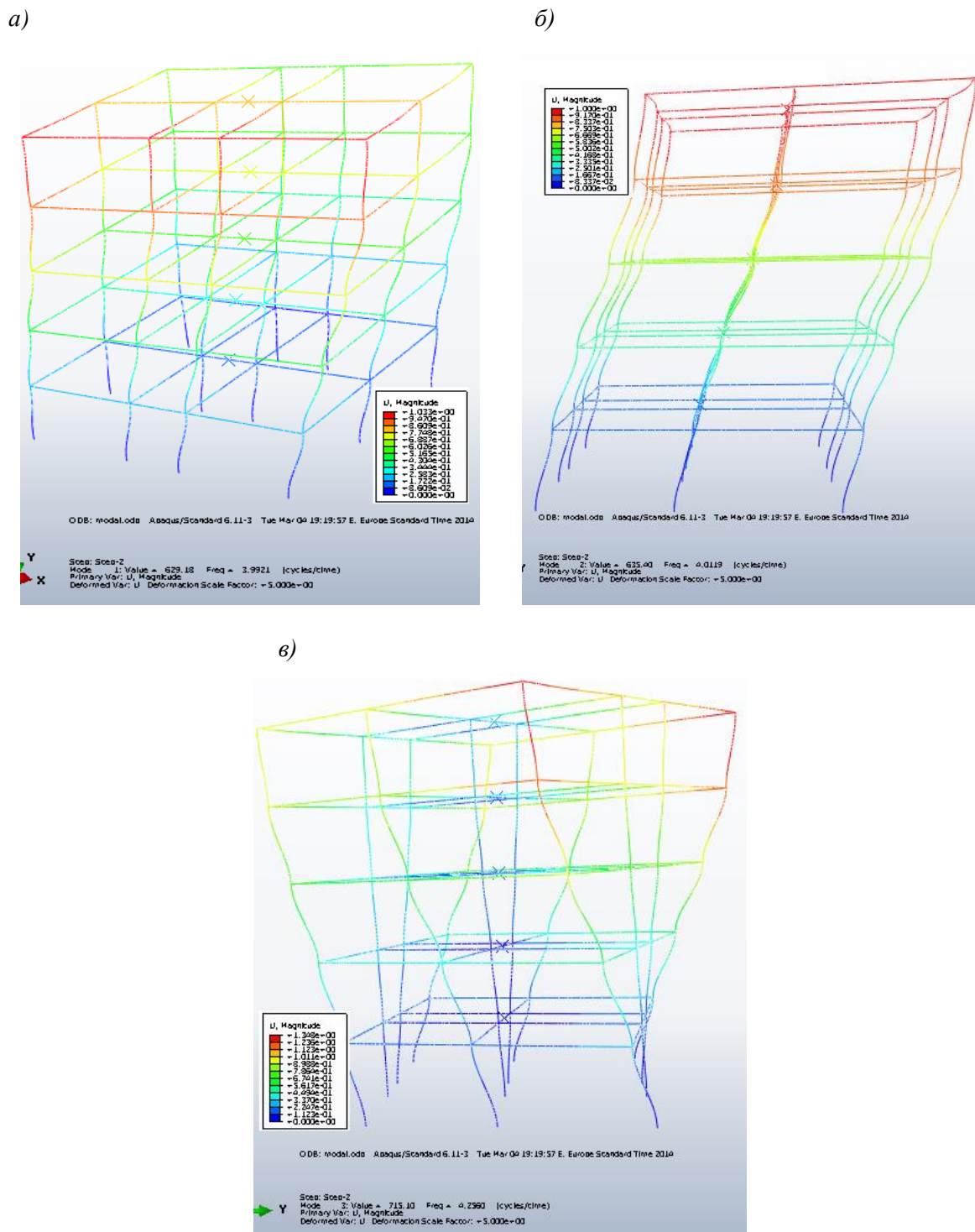


Рис. 3. Первые три формы колебаний здания: а – 1-я; б – 2-я; в – 3-я форма

Анализ влияния основания и сооружение на период здания заключался в сравнении периодов свободных колебаний первых 12 форм моделей 5-ти этажных зданий, рассчитанных с учетом основания - $T_{(i)}$ и без

учёта основания - T , и в определении соотношения периодов свободных колебаний $T_{(i)}/T$, где i – тип грунтов в соответствии с табл. 1 (табл. 4, рис. 4).

Таблица 4

Значения периодов форм колебаний моделей 5-ти этажных зданий, рассчитанных с учетом основания $T_{(i)}'$ и без учёта основания T , и соотношение периодов $T_{(i)}'/T$ для двухслойного грунта

№	T, c	$T_{(I)}', c$	$T_{(II)}', c$	$T_{(III)}', c$	$T_{(IV)}', c$	$T_{(I)}'/T$	$T_{(II)}'/T$	$T_{(III)}'/T$	$T_{(IV)}'/T$
1	1.420	1.433	1.474	1.709	2.010	1.00907	1.0379	1.20358	1.41156
2	1.260	1.271	1.3077	1.5665	1.778	1.01017	1.03767	1.19811	1.51851
3	1.092	1.103	1.1331	1.3083	1.6582	1.00536	1.0439	1.20031	1.63484
4	0.428	0.430	0.446	0.5152	0.749	1.00552	1.04299	1.20388	1.75209
5	0.410	0.413	0.428	0.554	1.007	1.00676	1.04479	1.35203	2.4572
6	0.358	0.360	0.376	0.598	1.133	1.0061	1.05199	1.6712	3.16508
7	0.210	0.211	0.221	0.351	0.664	1.0061	1.05199	1.6712	3.16508
8	0.209	0.210	0.223	0.423	0.802	1.00665	1.06616	2.02553	3.83633
9	0.188	0.189	0.205	0.425	0.804	1.00664	1.0917	2.26201	4.27759
10	0.171	0.172	0.194	0.413	0.781	1.00697	1.13271	2.41715	4.56812
11	0.166	0.167	0.201	0.433	0.818	1.00743	1.21405	2.60993	4.93006
12	0.135	0.136	0.179	0.386	0.729	1.00786	1.32682	2.85801	5.39658

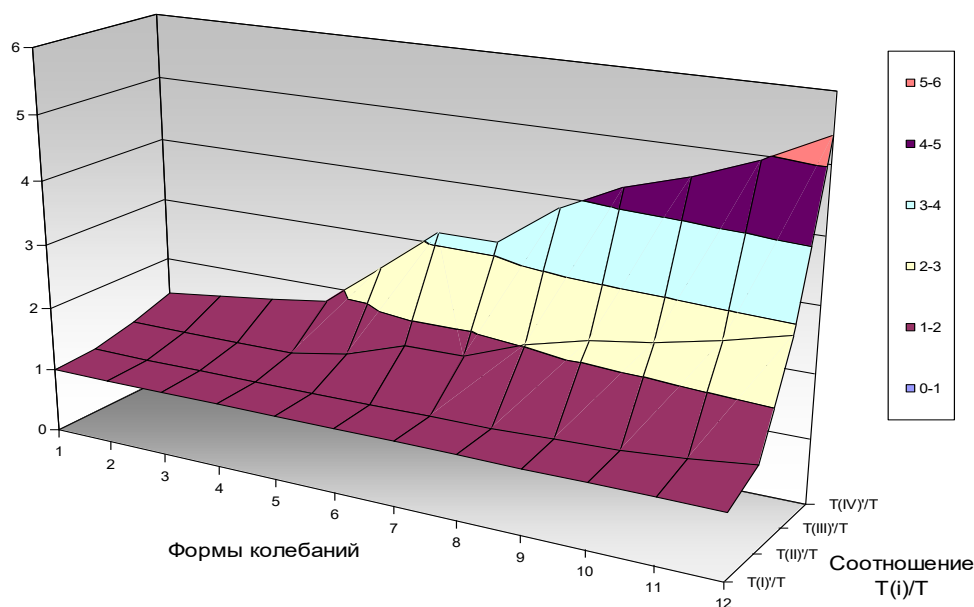


Рис. 4. Изменение соотношения $T_{(i)}'/T$ по первым 12 формам колебаний

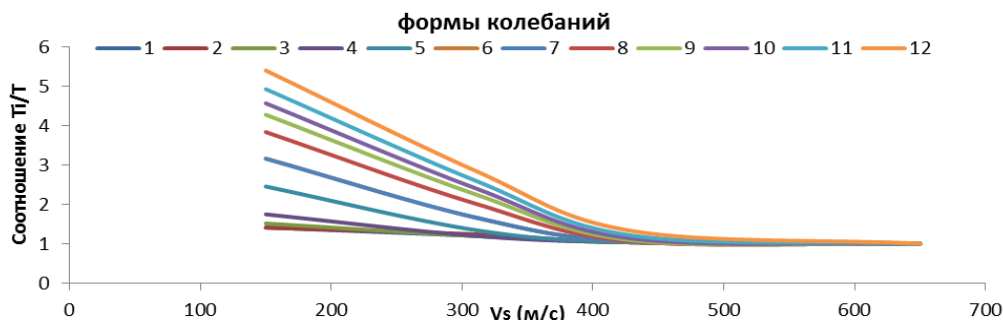


Рис. 5. Зависимость безразмерных соотношений периодов колебаний $T_{(i)}'/T$ от скорости поперечной волны V_S для различных видов грунтов

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении:

1. При учете грунтового основания в единой расчетной схеме «основание – фундамент – сооружение», увеличивается период свободных колебаний здания.

2. Чем более слабыми являются грунты основания, тем больше период колебаний здания.

3. Чем меньшей скоростью прохождения поперечных волн обладают грунты основания, тем больше соотношение периодов $T_{(i)'} / T$.

4. Совместный учет системы «основание – фундамент – сооружение» становится более заметным для высших форм колебаний.

Список использованных источников

1. Ghanad, M. A. Effect of Soil-Structure Interaction on Design of Buildings in terms of Earthquake [Текст] / M.A. Ghanad // Journal of earthquakes. – 2000. - №8 – С. 14-20.
2. Bargi, Kh. Fundamentals of Earthquake Engineering [Текст] / Kh. Bargi // Institute of Tehran University Publications, Third Edition. - 2000.
3. Kramer, Steven. L. Geotechnical earthquake engineering [Текст] / Steven. L. Kramer // Prentice Hall. – 1996. – 653 с.
4. Wolf, John.P. Spring-Dashpot-Mass Models for Foundation Vibrations [Текст] / John.P. Wolf // Earthquake Engineering and Structural Dynamics. – 1997. - Vol. 26. - С. 931-949.
5. Немчинов, Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений [Текст] / Ю.И. Немчинов. – К.: Киев, 2008. – 480 с.
6. Iranian buildings codes and standards. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings. Standard No. 2800, 3rd Edition // Building and Housing Research Center. – 2003. - 83 с.
7. Building Seismic Safety Council (BSSC) [Текст] / “NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings”. – 1994. – 233 с.
8. Soil Mechanics Laboratory [Текст] // Geotechnical reports. Ministry of Roads and Urban Development, Iran. – 2009. – 30 с.
9. Braja, M. Das. Principles of Soil Dynamics, Second Edition [Текст] / M. Das Braja, G.V. Ramana. – 2011. - printed in U.S.A. - 563 с.
10. Whitman, R.V., Design procedures for dynamically loaded foundations [Текст] / R.V. Whitman, F.E. Richart // ASCE Journal of Soil Mechanics. – 1967. – С. 169-192.
11. Горбунов-Посадов, М.И. Расчет конструкций на упругом основании [Текст] / М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 679 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.В. Фурсов

Кічаєва Оксана Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри геотехніки і підземних споруд Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (057) 706-18-99.

E-mail: o_kichaeva@mail.ru.

Раджабзадег Могсен, аспірант геотехніки і підземних споруд Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (057) 706-18-99; E-mail: mohsen5435@yahoo.com.

Kichaeva Oksana V, cand. of techn. sciences, associate professor Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel. (057) 706-18-99; E-mail: o_kichaeva@mail.ru.

Rajabzadeh Mohsen, postgraduate student, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel. (057) 706-18-99; E-mail: mohsen5435@yahoo.com.

УДК 624.159:624.128.

О ГЕОТЕХНОЛОГИЯХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЗДАНИЙ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕЙ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Канд. техн. наук Р.В. Самченко, д-р техн. наук И.Д. Павлов,
асп. А.И. Юхименко, В.С. Шокарев, И.В. Степура, инж. А.В. Шокарев

ПРО ГЕОТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕФОРМОВАНИХ БУДІВЕЛЬ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ПОДАЛЬШОЇ НОРМАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Канд. техн. наук Р.В. Самченко, д-р техн. наук І.Д. Павлов,
асп. А.І. Юхименко, В.С. Шокарев, І.В. Степура, інж. А.В. Шокарев

ON THE TECHNOLOGIES OF RESTORATION OF THE DEFORMED BUILDINGS AND MAINTENANCE OF THEIR FURTHER NORMAL OPERATION

Cand. of techn. sciences R.V. Samchenko, doct. of techn. sciences I.D.Pavlov,
the post-graduate student A.I. Yukhymenko, V.S. Shokarev, I.V. Stepura, eng. A.V. Shokarev

Выравнивание накренившихся строительных объектов предлагается осуществлять путем бурения в слое основания под фундаментами горизонтальных скважин переменных параметров. Обеспечение дальнейшей надежной эксплуатации восстановленных строительных объектов достигается усилением оснований укреплением грунтов путем горизонтального армирования буромесительной технологией.

Ключевые слова: крены зданий, выравнивание, укрепление грунтов, усиление оснований горизонтальным армированием, мониторинг.

Вирівнювання нахилених будівельних об'єктів пропонується виконувати шляхом буріння у шарі основи під фундаментами горизонтальних свердловин змінних параметрів. Забезпечення подальшої надійної експлуатації відновлених будівельних об'єктів досягається підсиленням основ укріпленням ґрунтів шляхом горизонтального армування бурозмішувальною технологією.

Ключові слова: крени будівель, вирівнювання, укріплення ґрунтів, підсилення основ горизонтальним армуванням, моніторинг.

It is offered the alignment of the tilted building objects by boring of horizontal boreholes of variable parameters in base layer under foundations. Maintenance of the further reliable operation of the restored building objects is reached by strengthening of bases with help of soil reinforcement by horizontal reinforcing using deep soil mixing.

Keywords: tilts of building, alignment, soil reinforcement, strengthening of the bases by horizontal reinforcing, monitoring

Введение. Постановка проблемы.

Строительство и эксплуатация зданий, сооружений на территориях, сложенных слабыми и структурно-неустойчивыми грунтами, а также в горнодобывающих регионах затруднено тем, что вследствие негативного техногенного воздействия на основания фундаментов возникает большое количество поврежденных строительных объектов. Чаще всего повреждения зданий и сооружений происходят из-за неравномерных деформаций оснований и, как следствие,

неравномерных осадок фундаментов. При этом возникают различного вида деформации зданий, сооружений – выгибы, прогибы, относительное смещение конструкций и др., но наиболее сложные деформации – крены.

Особенно тяжелыми последствиями деформаций являются наклоны зданий и сооружений, когда они или их части (блок-секции) блокируются между собой по различным схемам через деформационные швы. Тенденция наклоненных зданий заключается в том, что наклоны увеличиваются

вследствие появления эксцентриситета центра тяжести и перераспределения давления фундаментов на основание с увеличением его в сторону крена. При встречных кренах величина деформационных швов уменьшается. Увеличение встречных кренов во времени приводит к замыканию зазоров между смежными строениями и, как следствие, возникновению взаимных давлений. Взаимные давления увеличиваются во времени, что приводит к деформациям конструкций и возникновению аварийного состояния зданий (рис. 1).



Рис. 1. Аварийное состояние блок-секции вследствие сталкивания смежных строений из-за встречных кренов по ул. Воронежской, ба в г. Запорожье

Вторая проблема, связанная с восстановлением деформированных зданий, заключается в следующем. Исследования и практика обследований поврежденных зданий показывают, что основными причинами повреждений являются неравномерные деформации оснований, которые вызывают неравномерные осадки фундаментов вследствие техногенных влияний на грунты оснований. Поэтому при восстановлении деформируемых зданий для обеспечения дальнейшей надежной эксплуатации зачастую возникает необходимость в усилении оснований. Усиление оснований следует выполнять сразу же после устранения деформированного состояния зданий.

Крены опасны не только при взаимных наклонах смежных строений, но и в случаях отдельно стоящих зданий. При возникновении эксцентриситета центра тяжести строения возникают изгибные моменты которые приводят к существенным деформациям разного вида, увеличивающиеся во времени до возникновения аварийных ситуаций. Поэтому для предупреждения таких явлений необходимо своевременно устранять крены зданий, сооружений.

Целью данной статьи является информирование о разработанных нами эффективных технологий и способов восстановления деформированных зданий, которые обеспечивают дальнейшую надежную их эксплуатацию.

Изложение основного материала. *А - выравнивание наклонных зданий, сооружений.* Наиболее исследованным и внедренным методом устранения кренов зданий является применение домкратных систем [1]. Но этот метод имеет существенный недостаток – влияние значительных сосредоточенных усилий на конструкции зданий, которые вызывают ряд сложностей при его применении. Например, возникает

необходимость существенного усиления фундаментно-цокольной части, необходимость разъединения здания на фундаментную и надфундаментную части их разрезкой и др.

Запорожским отделением государственного предприятия научно-исследовательского института строительных конструкций (ЗВ ГП НИИСК) разработан метод выравнивания зданий, сооружений регулируемым изменением жесткости основания путем частичного удаления избыточного объема грунта из-под части фундамента, который меньше осел в процессе эксплуатации.

Удаление грунта из-под менее осевшей части фундамента предложено выполнять регулируемым бурением горизонтальных параллельных скважин переменных расчетных параметров. При проектировании и в процессе работ по выравниванию необходимо соблюдать два условия. Во-первых, объем вынутого грунта должен равняться объему пространственной эпюры осадок фундаментов здания; во-вторых, для предупреждения увеличения деформаций строительных конструкций эпюра задаваемых зданию неравномерных осадок должна быть линейной.

Нами разработаны технологии выравнивания зданий, накренившихся в продольном, поперечном и сложном

Для бурения горизонтальных скважин под фундаментом расчетным путем определяют количество рядов скважин по высоте, то есть определяют толщину слоя основания, в котором необходимо выполнить его перфорацию. Расчетами определяют необходимость устройства подпорной стенки фундаментов для обеспечения их устойчивости и укрепления будущего откоса котлована и перед его изготовлением, в случае необходимости, выполняют их вертикальным армированием буросмесительной технологией. Котлован откапывают со стороны менее осевшей части здания, на дне котлована монтируют разработанные нами уровне изобретения [3] малогабаритные станки горизонтального бурения и выполняют ослабление слоя основания бурением горизонтальных скважин переменного сечения. Под давлением здания целики грунта между скважинами и в их сводах разрушаются, перфорированный слой основания неравномерно сжимается.

Технологическая схема выравнивания зданий, наклонных в поперечном направлении, показана на рис. 2. Поскольку диаметры скважин постепенно уменьшаются в направлении от менее осевшей к более осевшей части здания по расчетным параметрам, то и деформации сжатия слоя основания в соответствующем направлении уменьшаются и, следовательно, осадка здания происходит по расчетной эпюре. направлениях [2].

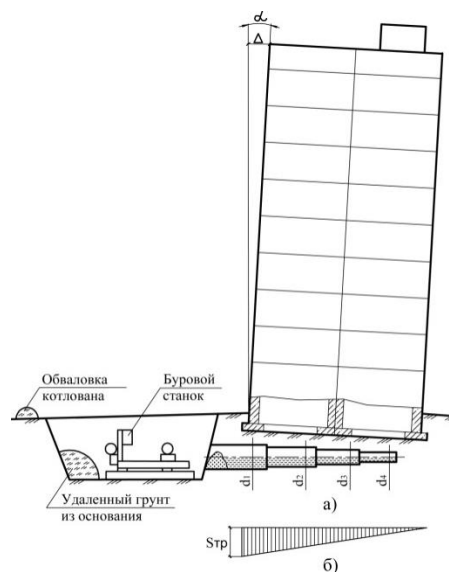


Рис. 2. Технологическая схема устранения поперечного крена:

а – параметры поперечного крена и скважины переменных параметров; б – эпюра осадок фундаментов

Для устранения продольного крена здания (рис. 3) котлован отрывают в зависимости от возможностей. Более рациональным является откопка вдоль одного из фасадов, более удобно со стороны главного фасада. Фронт бурения разбивают на участки, количество которых соответствует наличию буровых станков. Бурение скважин начинают одновременно на всех участках в соответствующей очередности таким образом чтобы избежать деформаций выгиба или прогиба фундамента.

Выравнивание здания по треугольной эпюре достигается бурением скважин постоянного диаметра по ширине здания в поперечном направлении с переменными расчетными диаметрами и шагами по фронту

бурения. При этом диаметры скважин уменьшаются в направлении от менее осевшего до более осевшего торца здания, т.е. $d_1 > d_2 > d_n$, а шаги – наоборот увеличиваются: $t_1 < t_2 < t_n$.

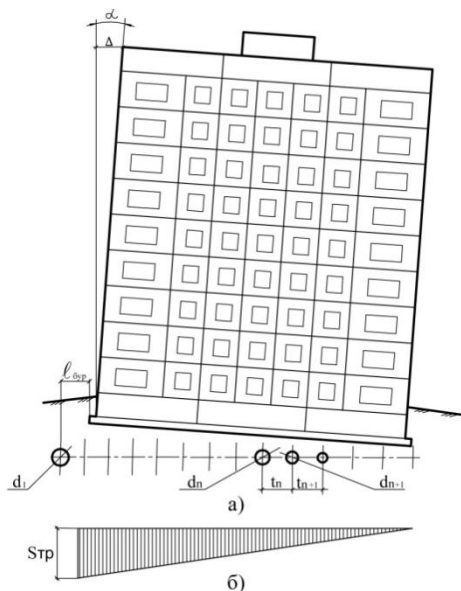


Рис. 3. Технологическая схема устранения продольного крена:
а – параметры продольного крена; б – эпюра осадок фундаментов; α – угол наклона; Δ – отклонения от вертикали; $S_{стр}$ – необходимые осадки здания

Для выравнивания зданий, имеющих сложные крены (крены по диагонали), котлован откапывают с любой возможной стороны. Более желательно – вдоль менее осевшей стороны фундамента. Задание технологических деформаций сжатия основания, необходимых для получения неравномерных осадок по эпюре, которая при устранении сложных кренов будет иметь форму трапеции, выполняют путем ослабления слоя основания одним или несколькими рядами (ярусами) скважин. Комбинируя горизонтальные ступенчатые и с постоянным диаметром скважины со сменными расчетными параметрами бурения – шагом, диаметром, длиной, достигают неравномерных осадок фундаментов одновременно в двух направлениях.

После бурения проектного объема скважин приступают к не менее ответственному этапу выравнивания наклонных объектов – регулированию осадок

фундаментов и управлению пространственным положением зданий и сооружений, которое выполняется на основании данных мониторинга и по разработанным технологиям [4].

Нами разработана методика расчетов технологических параметров выравнивания [5], которая успешно проверена на практике выравнивания 56 наклонных объектов, поэтому с высокой ответственностью можно утверждать в ее достоверности. Выравнивание этих объектов прошло без единой остановки их эксплуатации, без увеличения деформированного состояния, и главное – без отселения жителей, что свидетельствует о надежности и эффективности разработанных технологий.

Б - усиление оснований фундаментов зданий. Учитывая, что повреждение зданий в основном происходят вследствие деформации оснований из-за негативного влияния техногенных факторов, возникает объективная необходимость усиления оснований. Наиболее целесообразным способом усиления оснований является укрепление грунтов армированием. При этом, для существующих зданий при необходимости усиления оснований фундаментов укреплением грунтов под всей их площадью, особенно при условиях сохранения целостности конструкций в помещениях, целостности отделки и без отселения жителей, наиболее целесообразным является горизонтальное армирование грунтов. В этой ситуации эффективным способом укрепления грунтов является бурсмесительный способ (БСТ), суть которого заключается в том, что разрушенный грунт в толще смешивают с вяжущим раствором. Перемешанный измельченный грунт с вяжущим раствором схватывается, со временем твердеет и превращается в грунтоцементный армирующий элемент (ГЦАЕ) высокой прочности и жесткости. В качестве вяжущего раствора наиболее эффективным является водцементный, который обеспечивает наибольшую прочность и жесткость образованного материала вследствие его смешивания с разрушенным грунтом.

Эффективность бурсмесительного способа укрепления грунтов обуславливается следующим: сравнительно низкими стоимостью и материалоемкостью, ведь для образования грунтоцементных армирующих элементов применяют до 75-85 % тот же грунт, что укрепляется и только 15-25% – цемент,

также невысокие энерго-, материало- и машиноёмкость.

Условие, указанное выше при усилении оснований действующих зданий, сооружений, обеспечивается тем, что укрепление грунтов

горизонтальным армированием выполняется снаружи здания разработанным нами способом на уровне изобретения [6] следующим образом. Технологическая схема горизонтального армирования показана на рис. 4.

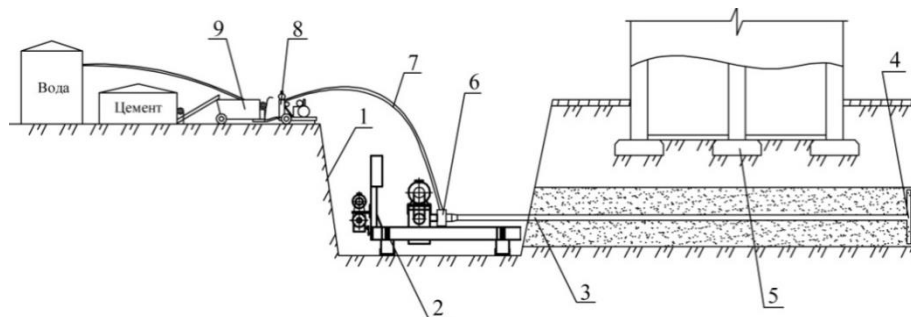


Рис. 4. Горизонтальное армирование грунтов:

- 1 – котлован; 2 – станок горизонтального бурения; 3 – полая буровая штанга; 4 – буросмеситель; 5 – фундамент; 6 – вертлюг; 7 – шланг; 8 – растворонасос; 9 – растворомешалка

При необходимости, если армирующие элементы должны оказывать высокое сопротивление на изгиб, грунтоцементные армоэлементы можно усиливать жесткими конструкциями следующим образом. По окончании извлечения буровой штанги и буросмесителя в текучепластическую грунтоцементную смесь погружают посекционно конструктивные жесткие элементы, например металлические трубы.

Выравниванием наклонных объектов устраняются лишь последствия деформации. Для обеспечения надежной дальнейшей эксплуатации необходимо укрепить грунты для усиления оснований горизонтальным армированием по буросмесительной технологии.

Усиление основания следует выполнять сразу же после выравнивания здания. При этом укрепление грунтов горизонтальным армированием выполняют из того же котлована, из которого производилось бурение горизонтальных скважин и теми же станками горизонтального бурения.

Как было сказано выше, при откопке котлована, при необходимости выполняют устройство подпорной стенки и укрепление будущих откосов котлована вертикальными ГЦЭ. Устройство вертикальных ГЦЭ выполняется по буросмесительной технологии аналогичной устройству горизонтальных

армоэлементов и тем же оборудованием. Разница заключается лишь в применении бурового станка. Для вертикального армирования разработанный нами на уровне изобретения [7] и изготовлен малогабаритный станок вертикального и наклонного бурения. Мобильность малогабаритного станка позволяет устанавливать его непосредственно у стен и устраивать подпорную стенку фундаментов у самых их обрезов.

Мониторинг. На протяжении всего технологического процесса восстановительных работ осуществляют постоянный мониторинг - геодезические наблюдения за осадками фундаментов нивелированием, контроль за изменением наклона здания теодолитными измерениями. По результатам геодезических наблюдений ежедневно строятся эпюры осадок по всему контуру здания, сооружения, анализируют и следят, чтобы изменение осадок происходило по линейной закономерности. При отклонении от такой закономерности, выясняют причину и вносят соответствующие коррективы в технологический процесс для исправления порядка осадок. Кроме эпюры осадок строят графики изменения осадок во времени, т.е. динамику осадок, которые также дают представление о ходе процесса выравнивания и помогают управлять этим процессом. Геодезические методы контроля

имеют дискретный характер надзора за процессом выравнивания объектов.

Постоянный контроль процесса выравнивания в реальном времени рекомендуется выполнять с помощью автоматизированной измерительно-информационной системы «Мониторинг», разработанной в ЗО ГП НИИСК [8].

Выводы:

1. На территориях, сложенных слабыми и структурно-неустойчивыми грунтами, в горнодобывающих регионах вследствие вредного техногенного влияния на основания существует большое количество деформированных зданий, нуждающихся в восстановлении и обеспечении дальнейшей нормальной эксплуатации.

2. Из разных видов деформаций зданий, сооружений наиболее проблемными деформациями являются крены, особенно при взаимных встречных кренах смежных зданий, которые могут приводить к их столкновению и при несвоевременном принятии мер по их разъединению могут возникать аварийные ситуации.

3. Для восстановления накренившихся зданий в проектное положение разработан эффективный метод их выравнивания регулируемым управлением жесткостью основания путем бурения под фундаментами

горизонтальных скважин переменных параметров, которым успешно выполнено выравнивание 56 накренившихся объектов без усугубления деформированного состояния, без прекращения эксплуатации и без отселения жителей.

4. Поскольку деформации зданий в основном возникают через негативное влияние техногенных факторов на грунты оснований, приводящих к их деформациям, для обеспечения дальнейшей надежной эксплуатации строительных объектов необходимо укреплять грунты оснований сразу же после ликвидации деформированного состояния строительных объектов.

5. Разработан эффективный метод усиления оснований горизонтальным армированием грунтов по бурсмесительной технологии. Для реализации предложенных методов устранения кренов и усиления оснований разработаны малогабаритные буровые станки горизонтального, вертикального и наклонного бурения.

6. На протяжении всего технологического процесса восстановительных работ необходимо вести мониторинг геодезическими методами и с помощью разработанной автоматизированной измерительно-информационной системы "Мониторинг".

Список использованных источников

1. Трегуб, А.С. Вирівнювання будинків домкратами [Текст] / А.С. Трегуб, І.Н. Москаліна, В.П. Науменко, В.П. Мілявський // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2008. – Вип. 71. – Кн. 2. – С.93-102.

2. Спосіб вирівнювання будівель, споруд [Текст]: патент України №65455А, Е 02Д 35/00 / Степура І.В., Шокарев В.С., Павлов А.В., Трегуб А.С., Самченко Р.В. (Україна). - №2003109485; Заява 21.10.2003; Опубл. 15.03.2004, Бюл. №3. – 2004. – 12 с.

3. Установка для проходки в грунтах [Текст]: патент України №42283, Е21В3/00 /Степура І.В., Шокарев В.С., Павлов А.В., Самченко Р.В., А.С. Трегуб, Степура С.І. (Україна). - №u200901349; заява 18.02.2009, Бюл. №12. – 2009. – 6 с.

4. Спосіб вирівнювання будівель, споруд [Текст]: патент 40931 України Е02Д35/00 ДНДІБК, Степура І.В., Шокарев В.С., Павлов А.В., Трегуб А.С., Самченко Р.В., Степура С.І. (Україна); Заява 17.12.2008; Опубл. 27.04.2009; Бюл. №8. – 2009. – 4 с.

5. Самченко, Р.В. Удосконалення технології вирівнювання нахилених будівель горизонтальним вибуруванням ґрунту із основи [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук. – Дніпропетровськ, 2010. – 19 с.

6. Спосіб закріплення ґрунтів [Текст]: патент України №39173, Е02Д3/12 / Степура І.В., Шокарев В.С., Павлов А.В., Трегуб А.С., Самченко Р.В., Степура С.І. (Україна). - № u200810750; заява 29.08.2008, Бюл. №3. – 2009. – 6 с.

7. Буровий верстат [Текст]: патент України №73991,Е21В3/00 / Самченко Р.В., Степура І.В., Шокарев В.С., Павленко В.П., Павлов А.В., Юхименко А.І., Мунь А.А. (Україна). - №201204614; Заява 12.04.2012; Опубл. 10.10.2012, Бюл. №19. – 2012. – 4 с.

8. Шокарев, В.С. Автоматизированная измерительно-информационная система для мониторинга строительных объектов [Текст] / В.С. Шокарев, В.И. Чаплыгин, С.В. Хилько, А.В. Пограничный // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2004. – Вип. 61. – С. 496-501.

Самченко Роман Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Запорізька державна інженерна академія. Тел.: (050) 454-81-65, (0612) 42-95-58 E-mail: sektor3@ukr.net.

Павлов Иван Дмитриевич, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва, Запорізька державна інженерна академія. Тел.: (095) 397-54-41.

Юхименко Артем Ігорович, аспірант, асистент кафедри промислового та цивільного будівництва, Запорізька державна інженерна академія. Тел.: (095) 447-13-65, (0612) 42-95-58. E-mail: winner.wcar@gmail.com.

Шокарев Віктор Семенович, канд. техн. наук, старш. наук. співроб., директор запорізького відділення державного підприємства "Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій" (ЗО ГП НИИСК). zoniisk@mail.ru.

Степура Иван Васильович, канд. техн. наук, старш. наук. співроб., запорізьке відділення державного підприємства "Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій" (ЗО ГП НИИСК).

winner.wcar@gmail.com.

Шокарев Андрій Вікторович, інженер, запорізьке відділення державного підприємства "Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій" (ЗО ГП НИИСК). zoniisk@mail.ru.

Samchenko Roman Vasilyevich, Cand. Sc., associate professor of department of industrial and civil construction, faculty of water resources and construction, Zaporozhye State Engineering Academy. Tel.: (050) 454-81-65, (0612) 42-95-58. E-mail: sektor3@ukr.net.

Pavlov Ivan Dmitrievich, Dr. Eng. Sc., Prof., head chairman of department of industrial and civil construction, faculty of water resources and construction, Zaporozhye State Engineering Academy. Tel.: (095) 397-54-41.

Yukhymenko Artem Igorevich, the post-graduate student, assistant of department of industrial and civil construction, faculty of water resources and construction, Zaporozhye State Engineering Academy. Tel.: (095) 447-13-65, (0612) 42-95-58. E-mail: winner.wcar@gmail.com.

Shokarev Victor Semenovich, Cand. Sc., senior researcher, director of zaporozhye branch of public enterprise "State Scientific-Research Institute of Building Constructions".

Stepura Ivan Vasilyevich, Cand. Sc., senior researcher, Zaporozhye branch of public enterprise "State Scientific-Research Institute of Building Constructions".

Shokarev Andrei Victorovich, engineer, Zaporozhye branch of public enterprise "State Scientific-Research Institute of Building Constructions".

УДК 624.159.2

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ УСУНЕННЯ КРЕНІВ ДИМОВИХ ТРУБ РЕГУЛЮВАННЯМ ЖОРСТКІСТЮ ОСНОВ

Канд. техн. наук Р.В. Самченко

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ УСТРАНЕНИЯ КРЕНОВ ДЫМОВЫХ ТРУБ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЖЕСТКОСТЬЮ ОСНОВ

Канд. техн. наук Р.В. Самченко

FEATURES OF TECHNOLOGY OF SMOKE STACK TILT CORRECTION THROUGH SOIL STIFFNESS REGULATION

Cand. of techn. sciences R.V. Samchenko

При вирівнюванні нахилених труб з підземними димоходами способом горизонтального буріння свердловин через висушування та часткове випалення ґрунтів відходячими газами при температурі 300...400°C ускладнюється процес осідань фундаментів через міцність випаленого ґрунту в ціліках між свердловинами. Для забезпечення їх руйнування від тиску фундаменту зменшують переріз ціликів розбурюванням свердловин спеціальним пристроєм без виносу ґрунту на поверхню.

При вирівнюванні димових труб з надземним розташуванням димоходів без зупинки їх експлуатації регулярно слідкують та своєчасно влаштовують можливі зазори та тріщини між стовбуром труби та димоходами для попередження порушення тяги в теплових агрегатах.

Ключові слова: нахил труб, вирівнювання, горизонтальні свердловин, димоходи надземні – підземні, цілики ґрунту, руйнування, регулювання осідань фундаментів.

При выравнивании наклоненных труб с подземными дымоходами способом горизонтального бурения скважин из-за высушивания и частичного обжига грунтов отходящими газами при температуре 300...400°C усложняется процесс осадок фундаментов из-за прочности обожженного грунта в целиках между скважинами. Для обеспечения их разрушения от давления фундамента уменьшают сечение целиков разбуриванием скважин специальным устройством без выноса грунта на поверхность.

При выравнивании дымовых труб с надземным расположением дымоходов без остановки их эксплуатации регулярно следят и своевременно устраивают возможные зазоры и трещины между стволом трубы и дымоходами для предупреждения нарушения тяги в тепловых агрегатах.

Ключевые слова: наклон труб, выравнивание, горизонтальные скважин, дымоходы надземные - подземные, целики грунта, разрушения, регулирования осадок фундаментов.

Waste gases from smoke stacks with underground flues have a temperature of 300... 400 °C. These gases dry foundation soil and during long-term operation may partially burn soils in funnel uptake area. It complicates the process of soil settlement during construction tilt correction through horizontal soil drilling-out. Improvement of soil settlement regulation is performed by reduction of pillar section through partial destruction. For this purpose bores are drilled with special device without removal of soil to the surface.

In the process of alignment of smoke stack with above-ground flues without its shutdown monitoring of potential joint gaps and breaches between chimney shaft and flues is organized to prevent pull troubles in thermal generating unit.

Keywords: smoke stack tilt, alignment, horizontal bores, above-ground/underground flues, pillar, destruction, regulation of soil settlement subsidence of foundations.

Вступ. Постановка проблеми. Димові труби відносяться до сфери особливо відповідальних та дорогих інженерних споруд, які експлуатуються в складних умовах, у тому числі високотемпературних умовах відходячих газів, які досягають у штатному режимі роботи теплових агрегатів 300...400°C. Але на жаль, надійність систем автоматизованого регулювання знаходиться не завжди на високому рівні, тому часто мають випадки перегріву відходячих газів до 600°C [1].

Складнощі в експлуатації визивають також ґрунтові умови, в яких знаходяться фундаменти димових труб, наприклад, вид і якість підготовки основ, рівень підземних вод та ін.

Вище наведені та інші чинники обумовлюють стани димових труб, від яких залежить їх експлуатаційна надійність та, які в свою чергу обумовлюють безперебійну роботу промислових та енергетичних об'єктів. Досить часто виникають крени димових труб, при яких зміщується центр ваги від вертикальної вісі, що визиває згинальний момент стовбура труби,

який може призводити до тяжких наслідків. Згинальний момент призводить до перерозподілу тиску на основу по підшві фундаменту зі збільшенням його в напрямі виникнення крену, внаслідок чого збільшується його величина. Така цепна реакція зміни крену призводить до перевищення допустимих норм та до виникнення інших видів деформацій, тому виникає необхідність в невідкладному прийнятті мір по усуненню крену димових труб. При цьому слід зазначити, чим раніше будуть прийняті рішення по вирівнюванні нахилених труб, тим менші наслідки від їх деформацій, у т.ч. менші затрати на відновлення просторового положення.

Огляд джерел досліджень і публікацій.

Існують різні технології вирівнювання нахилених димових труб. В Донецькому інституті „ПромбудНДПроект” розроблений спосіб усунення кренів димових труб піддомкращуванням [2]. Для цього в цокольній частині утворюють два охоплюючі залізобетонні пояси на відстані 600 мм друг від друга, між якими пробивають в стовбурі труби

ніші під домкрати, підсилюють їх металевими плитами, розділяють кладку труби по горизонтальному шву між поясами шляхом буріння шпурів і заповнення їх сумішшю НРС, яка руйнує і розділяє кладку. Усунення крену відбувається підняттям із поворотом відсіченої частини труби за допомогою домкратів. В зв'язку із достатньо великою трудомісткістю та недостатньою безпекою (на що самі автори вказують) метод не набув широкого впровадження.

Другий спосіб вирівнювання нахилу стовбура димової труби викладений в роботі [3], який полягає в підрубці стовбура в рівні злому вертикальної вісі і за допомогою силової дії відновлюється проектне просторове положення. Недоліком такого способу усунення крену є недостатня керованість та надійність.

Найбільш дослідженим та впровадженим в практику є розроблений нами на рівні винаходу спосіб вирівнювання нахилених будівельних об'єктів за рахунок зміни жорсткості основи фундаменту шляхом буріння під фундаментами горизонтальних свердловин змінних параметрів [4]. Даним способом успішно вирівнюють нахилені висотні споруди в різних ґрунтових умовах [5].

Постановка завдання. В роботі [5] показаний позитивний досвід усунення кренів димових труб, але нічого не сказано про складнощі, які можуть виникати в процесі їх вирівнювання, що пов'язані із особливостями конструкцій таких споруд.

Мега даної статті – висвітлення деяких особливостей димових труб, які ускладнюють процес усунення їх нахилів, та технологічні рішення по їх подоланню. Окрім того слід відмітити деякі нюанси технології вирівнювання нахилених димових труб.

Виклад основного матеріалу. Технологія вирівнювання нахилених будівель, споруд детально висвітлена в роботі [6] і полягає в наступному. Зі сторони менш осілої частини фундаментів відкопують котлован уздовж будівлі, на дні якого встановлюють розроблені та виготовлені нами малогабаритні станки горизонтального буріння [7], якими бурять горизонтальні свердловини змінних розрахункових параметрів (діаметрів, кроків, довжин, кількості ярусів). Під дією ваги будівлі, споруди ґрунт в ціліках між свердловинами руйнується, заповнюючи порожнини деформованих свердловин.

Внаслідок цього перфорований шар основи нерівномірно стискується відповідно розрахунковій зміні параметрів пробурених свердловин. Відповідно відбуваються нерівномірні осідання фундаментів, внаслідок яких будівля, споруда займає потрібне просторове положення.

Особливості димових труб полягають в наступному: димоходи (лежаки) в конструктивному відношенні бувають надземними і підземними; момент інерції завжди однаковий відносно обої вісі, яка проходить через центр; напрями крену можуть бути в межах $0...360^\circ$ і його спрямованість характеризують по частинах світу, наприклад «Південний», «Південно-східний», а величина крену характеризується складовими також уздовж частин світу і їх підсумовуванням; висока інерційність руху; порівняно низька стійкість в зв'язку з чим баштові споруди мають істотну глибину закладання і величину діаметра фундаменту.

Перераховані особливості споруд круглої форми обумовлюють особливий підхід до ліквідації їх крену.

Робота димових труб з підземними лежаками характеризується тим, що на протязі довгого терміну практично безперервної експлуатації з відходом димових газів при температурі, як відзначалось раніше, $300...400^\circ\text{C}$, а інколи до 600°C , що призводить до суттєвого висихання ґрунту в навіть до часткового їх випалу в „п'ятні” основи під лежаком. З протилежної сторони „п'ятна” лежака ґрунт в основі знаходиться в стані підвищеної вологості, в кращому випадку – природної вологості, що обумовлює різницю в осіданнях фундаменту і, як наслідок, нахил димової труби. Такі випадки мали місце при вирівнюванні димових труб висотою 60 м на заводах „АвтоЗАЗ-Деу”, „Запоріжтрансформатор” (рис. 1), на Полтавському хлібокомбінаті (висотою 40 м). Інша ситуація складалася при вирівнюванні димової труби висотою 60 м на Львівському склозаводі (рис. 2), де в основі під однією частиною фундаменту залягав природний мергелестий ґрунт, а під іншою – насипний ґрунт, який був наслідком зворотної засипки котловану при влаштуванні фундаментів цеху варіння скла. Внаслідок замочування ґрунтів основи в процесі експлуатації труби з різними фізико-механічними характеристиками відбувалися

нерівномірні осідання фундаментів і відповідно крени споруди. Враховуючи, що висушений та частково випалений ґрунт, а також мергелестий ґрунт мають достатньо високу міцність на

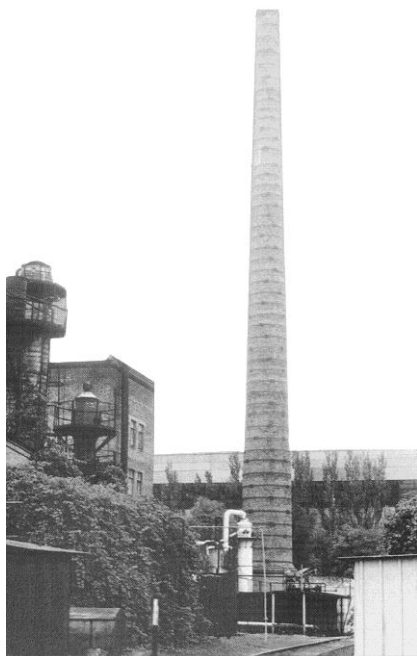


Рис. 1. Димова труба Н=60м котельні заводу "Запоріжтрансформатор"

Виникла проблема в реалізації розрахункових проектних осідань при поверненні фундаментів і відповідно споруд в проектне положення. Не дало бажаного результату зволоження ґрунтів навколо пробурених свердловин – такі ґрунти досить повільно розмокають. Вихід може бути лише один – зменшити поперечний переріз проміжок (цілики) ґрунту між свердловинами з метою збільшення напруг від тиску споруди і прискорити руйнування ціликів. Зменшувати переріз за рахунок розбурювання свердловин зі збільшенням при цьому їх діаметрів з виносом ґрунту на поверхню не можна, оскільки потрібні нерівномірні осідання фундаментів розраховані при відповідному сумарному об'ємі вибитого усіма свердловинами ґрунту. Тому розбурювання свердловин традиційним способом приведе до збільшення об'єму вибитого з-під фундаментів ґрунту і відповідно до перебору потрібних осідань.

стиск, виникли значні проблеми при задаванні примусових технологічних нерівномірних осідань фундаментів в процесі вирівнювання.



Рис. 2. Димова труба Н=60 м Львівського скляного заводу

Потрібно було знайти рішення по розбурюванню свердловин без виносу ґрунту. Таке рішення знайшлося у вигляді розбурювання свердловин без виносу ґрунту на поверхню по спеціальній технології. Сутність такого розбурювання полягає в тому, що спеціальним пристроєм (рис. 3), забезпеченим розсувними ножами при зміні напрямку обертання бурової штанги, руйнують ґрунт в стінках свердловин поза межами їх діаметрів без виносу зруйнованого ґрунту на поверхню.

Поетапним частковим руйнуванням ціликів ґрунту при додатковому зволоженні свердловин осідання фундаментів активізувались. При постійному геодезичному нагляді та автоматизованому моніторингу [8] за осіданням фундаментів при контрольованому частковому руйнуванні ціликів ґрунту димові труби відновленні в проектне просторове положення.



Рис. 3. Пристрій для руйнування міцних ціликів ґрунту між свердловинами

Не менш проблемним питанням було вирівнювання нахиленої димової труби висотою 100 м (рис. 4) центральної котельні Орджонікідзевського району в м. Запоріжжі. Димоходи даної котельні були надземними, план відносного розположення труби, димоходів від кожного теплового агрегату та котловану для буріння свердловин показані на рис. 5.



Рис. 4. Димова труба Н=100 м центральної котельні у м. Запоріжжі

Ситуація ускладнювалась тим, що поперше, труба нахилилася у напрямі конструкції системи лежаків, обслуговуючих 4 котли. Через тиск труби утворилися здвигові деформації

будівельних конструкцій лежаків з істотним розкриттям тріщин, що призводило до порушення тяги і режиму горіння в котлах. Виникла загроза зупинки котельної, яка обслуговує цілий район міста Запоріжжя, по-друге, оскільки бюджетне фінансування по вирівнюванню димової труби затягнулося і роботи почалися в листопаді 2006 р., коли мороз доходив до -10°C , зупинка котельні в опалювальний сезон. І в той же час ризикованим було входити в зиму з креном труби, яка могла б зруйнувати лежак своєю масою, лежак мав істотні зсувні деформації в конструкціях (рис. 6). Вирівнювання димової труби виконувалось горизонтальним бурінням свердловин під фундаментами в зимовий період без зупинки роботи котельної наступним чином.

Під дією тиску ваги димової труби при достатній вологості ґрунтів перфорованого шару основи цілики ґрунту між свердловинами руйнувалися, заповнюючи порожнини деформованих свердловин. Зруйнований вологий ґрунт самоущільнювався під дією тиску фундаменту.

Оскільки перфорація шару основи відбулася по розрахунковій методиці, деформація нерівномірного стиску цього шару забезпечила осідання фундаменту по потрібній розрахунковій епюрі, що обумовило повернення стовбура димової труби в проектне положення.

В процесі вирівнювання труби дотримувалась налагоджений зв'язок із спеціалістами котельної по забезпеченню теплового режиму котлів і при відповідних сумісних діях підтримувалась потрібна тяга димової труби. По закінченню успішного вирівнювання виконався капітальний ремонт димоходів.

Висновки:

1. При підземному розташуванні димоходів відходячі гази при штатному режимі горіння в теплових агрегатах з температурою $300\text{...}400^{\circ}\text{C}$, а при відхиленні від штатного режиму – до 600°C висушують, навіть випалюють ґрунт основи фундаменту в "п'ятні" димоходу, тоді як з протилежної сторони ґрунт має підвищену вологість, внаслідок чого відбувається різниця в осіданнях фундаменту і відповідно нахил.

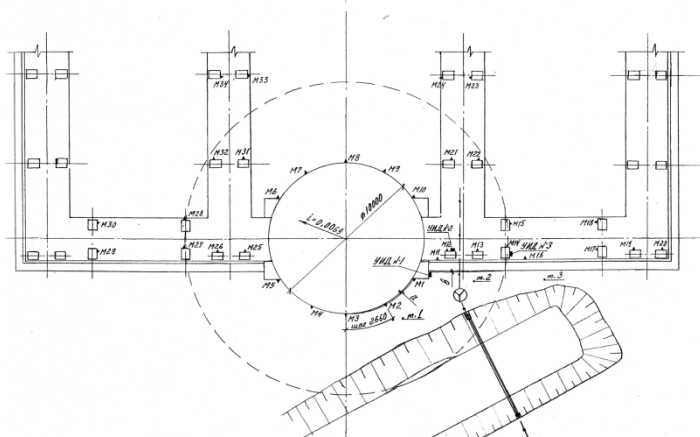


Рис. 5. План розташування димової труби, надземних лежаків і технологічного котловану



Рис. 6. Деформації в конструкціях лежаків

2. При вирівнюванні нахилених димових труб із підземними димоходами, горизонтальним вибурюванням ґрунту із-під фундаменту, де виник частковий випал ґрунту в "п'ятні" димоходу, ускладнюється процес осідання фундаментів через достатньо великий опір ціликів ґрунту між свердловинами. Для регулювання осідань фундаментів частково руйнують цілики ґрунтів між свердловинами для зменшення їх поперечного перерізу.

3. При надземному розташуванні димоходів нахил труб своєю вагою може частково руйнувати їх огорожуючі конструкції. При вирівнюванні димових труб без зупинки їх експлуатації необхідно регулярно наглядати та своєчасно влаштовувати виникаючі внаслідок переміщення стовбура труби зазори, тріщини між трубою та димоходом, або в конструкціях димоходів.

Список використаних джерел

1. Гордеев, В.Н. Опыт эксплуатации дымовых труб при высоких температурах [Текст] / В.Н. Гордеев, Ж.С. Страшко, И.В. Пономарева // Будівельні конструкції: Вісник ДонГАСА. – 2003. – Вип. 2(39). – С. 3-6.
2. Мавроди, Ф.И. Способ устранения крена дымовой трубы [Текст] / Ф.И. Мавроди, В.Г. Саенко // Современные проблемы строительства: Науч.-техн. сб. – Донецк: ООО "Лебедь", 1997. – С. 53-53
3. Вараница, А.В. О кренах кирпичных дымовых труб [Текст] / А.В. Вараница // Будівельні конструкції: Вісник ДонГАСА. – 2001. – Вип. 5(30). – С. 101-102.
4. Спосіб вирівнювання будівель, споруд [Текст]: патент України №65455А, Е 02Д 35/00 / Степура І.В., Шокарев В.С., Павлов А.В., Трегуб А.С., Самченко Р.В. (Україна). - №2003109485; Заява 21.10.2003; Опубл. 15.03.2004, Бюл. №3. – 2004. – 12 с.
5. Степура, І.В. Устранения кренов высотных сооружений [Текст] / И.В. Степура, А.В. Павлов, Р.В. Самченко // Світ геотехніки. – 2008. – №2. – С. 17-21.
6. Самченко, Р.В. Опыт устранения крена водонапорной башни [Текст] / Р.В. Самченко // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2004. – Вип. 61, т.2. – С. 122-125.
7. Установка для проходки в грунтах [Текст]: патент України №42283, Е21В3/00 / Степура І.В., Шокарев В.С., Павлов А.В., Самченко Р.В., А.С. Трегуб, Степура С.І. (Україна). - №u200901349; заява 18.02.2009, Бюл. №12. – 2009. – 6 с.

8. Електромагнітна вимірювально-інформаційна система неруйнівного контролю параметрів напружено-деформованого стану конструкцій і споруд [Текст]: патент 75876 Україна, МПК G01N27/90, G01M19/00 / Шокарев В.С., Чаплигін В.І., Мальцева Я.В. - Заява 23.09.2002 р.; Опубл. 15.06.2006 р. Бюл. №6. – 2006. – 20 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.А. Банах

Самченко Роман Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Запорізька державна інженерна академія. Тел.: (050) 454-81-65, (0612) 42-95-58 E-mail: sektor3@ukr.net.

Samchenko Roman Vasilyevich, Cand. Sc., associate professor of department of industrial and civil construction, faculty of water resources and construction, Zaporozhye State Engineering Academy Tel.: (050) 454-81-65, (0612) 42-95-58. E-mail: sektor3@ukr.net.

УДК 624.15

ГОРИЗОНТАЛЬНЕ АРМУВАННЯ ГРУНТІВ – ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПІДСИЛЕННЯ ОСНОВ

Асп. А.І. Юхименко

ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ АРМИРОВАНИЕ ГРУНТОВ – ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ

Асп. А.И. Юхименко

HORIZONTAL SOIL REINFORCEMENT - EFFECTIVE METHOD OF BASE STRENGTHENING

The post-graduate student A.I. Yukhymenko

Розроблена технологія укріплення слабких ґрунтів в горизонтальному напрямку бурозмішувальним способом, яка ефективно використовується для підсилення основ фундаментів при реконструкціях та при захисті пошкоджених будівель від подальших деформацій. Для реалізації даної технології розроблене відповідне устаткування та технологічне оснащення. Дані розробки впроваджені для різних цілей на 12 об'єктах.

Ключові слова: слабкий ґрунт, деформація, укріплення ґрунтів, підсилення основ, горизонтальне армування, моніторинг.

Разработана технология укрепления слабых грунтов в горизонтальном направлении буромесительным способом, которая эффективно используется для усиления оснований фундаментов при реконструкциях и при защите поврежденных зданий от дальнейших деформаций. Для реализации данной технологии разработано соответствующее оборудование и технологическая оснастка. Данные разработки внедрены для разных целей на 12 объектах.

Ключевые слова: слабый грунт, деформация, укрепление грунтов, усиление оснований, горизонтальное армирование, мониторинг.

The author developed the technology of stabilization of soft soil by horizontal reinforcement through boring and mixing method that is effectively used to reinforce foundations in the process of reconstruction and protection of damaged buildings against further deformation. Backbone of technology is subsurface mixing of destroyed soil with cement mortar. Crushed soil mixed with cement mortar fastens, then sets and turns into soil-cement reinforcing element with high strength and stiffness. To implement this technology relevant small-sized equipment and technique have been developed. These developments are implemented on 12 objects on different purposes.

Keywords: *soft soil, deformation, soil stabilization, foundation reinforcement, horizontal reinforcement, monitoring.*

Вступ. Постановка проблеми.

Укріплення ґрунтів завжди зажадане при будівництві та експлуатації будівель і споруд, особливо при влаштуванні штучних основ. Штучна основа з армуванням ґрунтів – гідна альтернатива пальовим фундаментам. Ефект такого армування полягає в тому, що в певний масив слабого або структурно-нестійкого ґрунту вводиться жорсткий матеріал з досить великим модулем деформації.

Закріплення ґрунтів армуванням застосовується в капітальному будівництві для підготовки основ, при реконструкції будівельних об'єктів, для підсилення основ деформованих будівель, для стабілізації зсувів і т.д. В капітальному будівництві з метою підготовки основи фундаментів армування ґрунтів здійснюється з використанням сучасної високопродуктивної техніки. Набагато складніше справа з армуванням ґрунтів виникає у процесі реконструкції існуючих об'єктів, а також при захисті пошкоджених будівель, споруд від подальших деформацій, де роботи виконуються частіше в обмежених умовах, в т.ч. в підвальних приміщеннях. В таких умовах застосування великогабаритної, високопродуктивної техніки вельми складно. До того ж така техніка орієнтована на вертикальне армування, тоді як при підсиленні основ існуючих будівель виникає необхідність в горизонтальному армуванні. Горизонтальне армування ґрунтів забезпечує можливість підсилення основ без зупинки експлуатації, без відселення мешканців, без руйнування вбудованих чи прибудованих приміщень.

Аналіз досліджень і публікацій.

Горизонтальне армування основ може виконуватися різними способами. Спільним технологічним елементом для всіх способів горизонтального армування є влаштування котлованів із яких виконують горизонтальні армуючі елементи в ґрунті основи під фундаментами.

Одним із таких рішень є занурення в ґрунтову товщу під фундаментами в горизонтальному напрямку сталевих труб, які потім заповнюють бетоном [1]. Технологія такого армування базується на наступному. В котловані на рейкових напрямних монтують

силовий механізм (прес), за допомогою якого в ґрунтову товщу під фундаментами задавлюють трубу, спрямовану в горизонтальному напрямку. Потім цим же механізмом порціями в труби запресовують бетон. Система паралельних горизонтальних трубчатих конструкцій під фундаментами утворює шпальний розподільувач, який сприймає навантаження від будівлі та розподіляє його на ґрунт основи. При вдавлюванні трубчатої конструкції в ґрунт він видавлюється за межі зовнішньої поверхні труби і ущільнюється. Вдавлювання трубчатих конструкцій в ґрунт може виконуватися в декілька рядів по глибині. Таким чином за рахунок зміцнення шару ґрунту ущільненням і міцності та жорсткості металеві труби утворюються армуючі елементи високої несучої здатності. Різновидами такого армування в горизонтальному напрямку є вдавлювання замість труб різних конструктивних елементів, наприклад залізобетонних, прокатного профілю та ін.

Такий спосіб армування в горизонтальному напрямку ефективний для сприймання достатньо великих навантажень, але він має декілька недоліків: по-перше, потрібно мати велику потужність силової установки для статичного вдавлювання елементів армування на всю довжину (ширину) фундаментів будівель; по-друге, достатньо великі трудоемність, матеріаломісткість і вартість.

Відомі способи горизонтального армування ґрунтів з використанням пневмопробійників [2], за допомогою яких із котлованів утворюють горизонтальну порожнину. При ударно-поступальному проходженні під дією стисненого повітря снаряд пневмопробійника ґрунт витісняється на периферію і ущільнюється. Після утворення горизонтальної порожнини можливі два варіанти її заповнення. Перший – заповнення свердловини під тиском цементним або другим розчином в'язучого чи почерговою запресовкою за допомогою того ж пневмопробійника жорстких матеріалів. Другий – забивка конструкцій [3]. При цьому, для спрощення технології армування за допомогою пневмопробійників розроблені різні

способи та пристрої [4]. Ці технології горизонтального армування докладно розроблені і перевірені в інституті гірничої справи Сибірського відділення А.Н. бувшого ССРСР, але через значні трудомісткість, матеріалоємність, вартість та недостатню технологічність не знайшли широкого впровадження для підсилення основ при реконструкції та захисті деформованих будівель та споруд.

Мета даної праці – розробка ефективної технології горизонтального армування слабких та структурно-нестійких ґрунтів.

Виклад основної частини розробки. Найбільш ефективним способом укріплення ґрунтів армуванням є бурозмішувальна технологія, суть якої полягає у тому, що зруйнований ґрунт у товщі змішують із в'язучим розчином. Перемішаний подрібнений ґрунт із в'язучим розчином тужавіє, з часом твердіє і перетворюється в ґрунтоцемент високої міцності та жорсткості. У якості в'язучого розчину можуть бути різні в'язучі речовини, наприклад, водовапняний, але

найбільш ефективним є водоцементний, який забезпечує найбільшу міцність та жорсткість утвореного матеріалу внаслідок його змішування із зруйнованим ґрунтом.

Ефективність бурозмішувального способу укріплення ґрунтів обумовлюється наступним: порівняно низькими вартістю та матеріалоємністю, адже для утворення ґрунтоцементних армуючих елементів застосовують до 80-85% той же ґрунт, що укріплюється і тільки до 15-20% - цементу, невисокі також енерго-, матеріало- та машиноємність.

Оскільки ми орієнтуємося в основному на реконструкцію об'єктів та на захист існуючих будівель від деформацій, які, як правило, виконуються в стиснених умовах, для підсилення основ, складених слабкими ґрунтами, нами розроблені на рівні винаходів малогабаритні бурові станки горизонтального [5], вертикального та похилого буріння [6]. Конструкція горизонтального бурового станка показана на рис. 1.

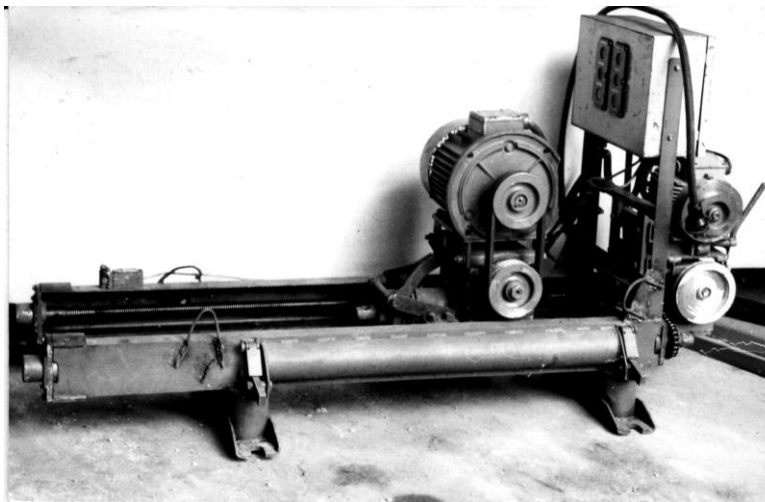


Рис. 1. Горизонтальний верстат УГЗ-300

Також нами розроблена на рівні винаходу бурозмішувальна технологія (БЗТ) укріплення ґрунтів основ армуванням в горизонтальному напрямку [7], яка полягає в наступному. Технологічна схема показана на рис. 2. Відкопують котлован 1 і на його дні установлюють малогабаритний станок горизонтального буріння 2, який обертає та переміщує в горизонтальному напрямку

порожнисту бурову штангу 3, на кінці якої закріплений робочий орган – бурозмішувач 4. При обертанні бурозмішувач руйнує ґрунт і одночасно в зону руйнування через вертлюг 6, яким оснащений буровий станок, по гнучкому рукаву 7 подається розчинонасосом 8 під тиском водоцементний розчин. Цей розчин замішується у розчиномішалці 9, в яку подають воду та цемент відповідно із ємностей 11 і 10. В

процесі одночасного руйнування ґрунту і подачі в зруйновану зону ґрунту водоцементного розчину, при обертанні бурозмішувача суміш ґрунту і розчину ретельно перемішується і при відповідному водоцементному відношенні (В/Ц) перетворюється в текучопластичну консистенцію. При одночасному осьовому переміщенні обертаючогося бурозмішувача текучопластична ґрунтоцементна суміш 12 утворюється на всій потрібній відстані. Після досягнення проектної відмітки бурові штанги і бурозмішувач витягають із одночасним обертанням для кращого перемішування суміші.

Ґрунтоцементна суміш із часом тужавіє та твердіє і перетворюється в армуючий ґрунтоцементний елемент (ГЦЕ) високої міцності та жорсткості.

При необхідності, наприклад для збільшення опору ґрунтоцементних елементів (ГЦЕ) на згин їх можна підсилювати жорсткими конструкціями [8], які буровими станками занурюються посекційно в середовище текучопластичної ґрунтоцементної суміші відразу після виймання бурової штанги із бурозмішувачем.

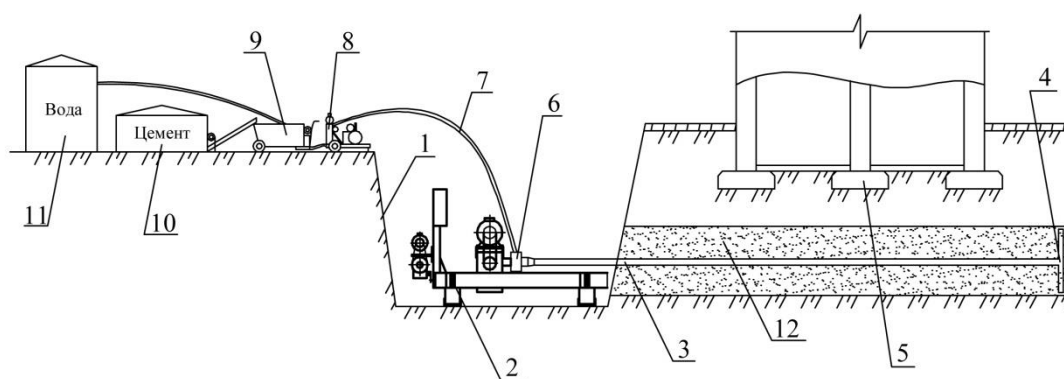


Рис. 2. Технологічна схема горизонтального армування ґрунтів:

- 1 – котлован; 2 – станок горизонтального буріння; 3 – порожниста бурова штанга; 4 – бурозмішувач; 5 – фундамент; 6 – вертлюг; 7 – рукав; 8 – розчиномішувач; 9 – розчиномішалка; 10 – цементна ємність; 11 – цистерна з водою; 12 – ґрунтоцементна суміш

Міцність та жорсткість ГЦЕ залежить від багатьох чинників – числа пластичності укріплюючого ґрунту, початкової вологості ґрунту, щільності скелету ґрунту та ін., але в найбільшій мірі – від процентного відношення ґрунт-цемент і може змінюватися в широких межах. Наприклад, при вмісті цементу в межах 15...20 % модуль деформації E може змінюватися в межах $E = 400...550$ МПа, а призматична міцність $R_n = 2,5...3,2$ МПа. Підвищення механічних характеристик ґрунтоцементу в залежності від вмісту цементу уповільнюється з досяганням величини у 20 %, тобто цей вміст цементу слід вважати оптимальним при використанні ґрунтоцементу для армування ґрунту [9].

Розроблена технологія горизонтального армування впроваджена на 12 об'єктах для різних цілей, із них: 4 об'єкти – реконструкція; 5 об'єктів – підсилення основ фундаментів

деформованих будівель; 3 об'єкти – капітальне будівництво. Оскільки БЗТ армування ґрунтів частково включає мокрий процес, при підсиленні основ діючих будівель виконують моніторинг за можливими осіданнями фундаментів за допомогою геодезичного нівелювання та автоматизованої системи "Моніторинг" [10].

Висновки:

1. Підсилення основ пошкоджених будівель, споруд для захисту їх від подальшої деформації, а також при реконструкції об'єктів для компенсації дефіциту несучої здатності основи при додаванні навантаження найбільш раціонально виконувати горизонтальним армуванням ґрунтів по бурозмішувальній технології укріплення ґрунтів.

2. Розроблена технологія укріплення ґрунтів основ армуванням бурозмішувальним способом в горизонтальному напрямку.

3. Для реалізації технології горизонтального армування ґрунтів основ розроблені та виготовлені відповідно малогабаритні станки горизонтального буріння ґрунтів, які досить добре використовуються в стиснених умовах у т.ч. в підвальних приміщеннях.

4. Розроблені технологія, устаткування та технологічне оснащення по горизонтальному армуванню ґрунтів впроваджені на 12 об'єктах

для різних цілей: підсилення основ при реконструкції – для захисту будівель від подальших деформацій, в капітальному будівництві – для підготовки основ фундаментів. Все це відбувалося без пошкодження будівельних конструкцій, без зупинки діючих виробництв та без відселення людей.

Список використаних джерел

1. Саурин, А.Н. Основания фундаментов – шпальный распределитель [Текст] / А.Н. Саурин, Ю.А. Багдасаров // Труды международного семинара по механике грунтов, фундаментостроению и транспортным сооружениям. – М., 2000. – С. 80-83.

2. Янковский, Л.В. Разработка метода закрепления оснований ленточных фундаментов при реконструкции [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук / Л.В. Янковский. – Пермь, 1991. – 19 с.

3. Бартоломей, А.А. Технология усиления оснований фундаментов с помощью управляемых пневмопробойников [Текст] / А.А. Бартоломей, Л.В. Янковский // Устройство и усиление фундаментов с улучшением строительных свойств грунтов оснований. – Пенза: ПДЭНТЗ, 1991. – 132 с.

4. Белоногов, Л.Б. Применение пневмопробойников для усиления фундаментов [Текст] / Л.Б. Белоногов, Л.В. Янковский // Расчет и проектирование свай и свайных фундаментов. Труды II Всесоюзной конференции «Современные проблемы фундаментостроения в СССР». – Пермь: Пермский политехнический институт, 1990. – 138 с.

5. Установка для горизонтальной проходки в грунтах [Текст]: патент України №73030,Е21В3/00 / Самченко Р.В., Павлов І.Д., Степура І.В., Юхименко А.І. (Україна). - №201201857; Заява 20.02.2012; Опубл. 10.09.2012, Бюл. №17. – 2012. – 4 с.

6. Буровой верстат [Текст]: патент України №73991,Е21В3/00 / Самченко Р.В., Степура І.В., Шокарев В.С., Павленко В.П., Павлов А.В., Юхименко А.І., Мунь А.А. (Україна). - №201204614; Заява 12.04.2012; Опубл. 10.10.2012, Бюл. №19. – 2012. – 4 с.

7. Спосіб горизонтального армування ґрунтів [Текст]: патент України №73103,Е02Д3/12 / Самченко Р.В., Шокарев В.С., Павлов І.Д., Юхименко А.І., Степура І.В. (Україна). - №201202618; Заява 05.03.2012; Опубл. 10.09.2012, Бюл. №17. – 2012. – 4 с.

8. Установка для проходки в грунтах [Текст]: патент України №84177, Е21В3/00 / Юхименко А.І., Павлов І.Д., Самченко Р.В., Степура І.В. (Україна). - u2013 05182; Заява 22.04.2013; Опубл. 10.10.2013, Бюл. №19. – 2013. – 3 с.

9. Експериментальні дослідження, будівельні властивості ґрунтів [Текст] / Н.Л. Зоценко, Ю.Л. Винигов, І.І. Ларцева [та ін.] // Світ геотехніки. – 2008. – №2. – С. 14-18.

10. Шокарев, В.С. Автоматизированная измерительно-информационная система для мониторинга строительных объектов [Текст] / В.С. Шокарев, В.И. Чаплыгин, С.В. Хилько, А.В. Пограничный // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2004. – Вип. 61. – С. 496-501.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.А. Банах

Юхименко Артем Ігоревич, аспірант, асистент кафедри промислового та цивільного будівництва, Запорізька державна інженерна академія. Тел.: (095) 447-13-65, (0612) 42-95-58. E-mail: winner.wcar@gmail.com.

Yukhymenko Artem Igorevich, the post-graduate student, assistant of department of industrial and civil construction, faculty of water resources and construction, Zaporozhye State Engineering Academy Tel.: (095) 447-13-65, (0612) 42-95-58. E-mail: winner.wcar@gmail.com.

УДК 626:691.5

**АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ И СПОСОБОВ РЕМОНТА ПОДВОДНЫХ ЧАСТЕЙ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

Вед. инж. Ю.А. Суханова,
асп. В.В. Касьянов

**АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ І СПОСОБІВ РЕМОНТУ ПІДВОДНИХ ЧАСТИН
ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД**

Пров. інж. Ю.А. Суханова,
асп. В.В. Касьянов

**REASONS OF THE UNDERWATER PART'S DAMAGE OF HYDRO TECHNICAL
STRUCTURES AND WAYS OF THEIR REHABILITATION**

Leading eng. J. Sukhanova,
postgraduate student V. Kasyanov

В статье на примере результатов обследования состояния Лопанской плотины (Украина, Харьков) рассмотрена актуальность разработки материала для подводного ремонта напорных граней бетонных плотин.

Разработка подобного состава станет альтернативой монтированию дорогостоящей опалубки, отсыпки перемычек при реконструкции грани действующих гидроузлов. В результате чего стоимость реконструкции снизится.

Ключевые слова: реконструкция плотин, подводное бетонирование, пенетрирующие материалы

У статті, на прикладі результатів обстеження стану Лопанської греблі (Україна, Харків), розглядається актуальність розробки матеріалу для підводного ремонту напірних граней бетонних гребель.

Розробка подібної суміші стане альтернативою монтуванню кошторисної опалубки, влаштуванню перемичок при проведенні реконструкції грани діючого гідровузлу. У разі чого кошторис реконструкції знизиться.

Ключові слова: реконструкція греблі, підводне бетонування, пенетруючі суміші

Based on Lopanska's dam (Ukraine, Kharkov) inspect the necessity of performing material for the concrete dam's headwall rehabilitation without dewatering was shown in this paper.

Performing the material can be alternative to installing temporary bulkheads or decking during dam's underwater rehabilitation and will make its price lower.

Keyword: concrete dam rehabilitation, penetration materials

Введение. Срок эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС) определяется по классу их капитальности и для бетонных плотин первого класса составляет не менее 100 лет. В связи с этим действующие нормативы предусматривают проектирование сооружений с большими коэффициентами запаса. Это позволяет их конструкциям воспринимать прикладываемые к ним нагрузки

и выдерживать возрастающие со временем напряжения в течение всего срока эксплуатации. Однако, как показал опыт эксплуатации и обследований бетонных плотин, во многих случаях преимущественно в их подводных частях или в переменном уровне образуются повреждения (рис. 1), обуславливающие досрочное проведение капитальных ремонтов.

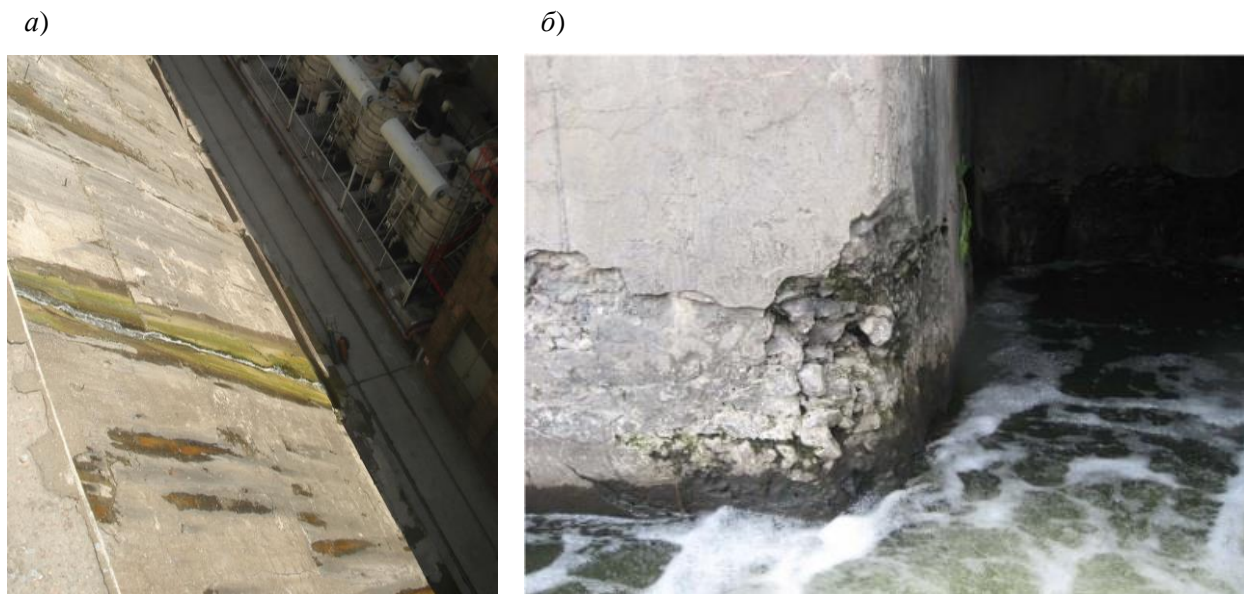


Рис. 1. Характерные повреждения напорных граней бетонных плотин: *a* – разрушение деформационного шва на напорной грани аванкамеры ДнепроГЭС (2012); *б* – разрушение поверхностного слоя бетона в зоне переменного уровня на быке левобережного устья Лопанской плотины (2013)

Причины преждевременного разрушения конструкций плотин можно свести к двум группам: недостаткам проектирования, включая назначение материалов и составов бетона и нарушениям технологии выполнения строительных и ремонтных работ. В обоих случаях имеет место несоответствие материала конструкции условиям эксплуатации. Исходя из этого разработка материалов для ремонта подводных частей гидротехнических сооружений, обладающих стойкостью в данных условиях эксплуатации, является актуальной задачей.

Цель работы – обоснование свойств материалов для ремонта подводных частей гидротехнических сооружений.

Анализ условий эксплуатации и причин повреждений подводных частей гидротехнических сооружений на примере Лопанской плотины в г. Харькове, обследованной в 2013 г. Гидроузел (ГУ) построен в 1931–1932 гг. на участке р. Лопань, примыкающем к городскому населенному пункту «Основа». ГУ расположен между Гончаровской и Жихарской плотинами. Как видно из рис. 2, плотина запроектирована по системе «Поаре» и представляет собой металлоразборную конструкцию с фермами «Поаре» из уголков (24 шт.), на которые опираются деревянные щиты «Буле»,

предназначенные для регулирования пропускной способности и поддержания напора ($H = 3,0$ м). Правобережный и левобережный устои и фундаментная плита плотины выполнены из гидротехнического бетона.

Обследование было выполнено в составе визуального осмотра и инструментальных измерений, в т.ч. подводных частей с помощью водолазов. На снимках рис. 3, 4 отчетливо видно разрушение верхнего слоя бетона до обнажения крупного заполнителя на гранях устоев и в зоне переменного уровня воды. Глубина разрушения местами достигает 400 мм. При выбуривании и исследовании кернов (рис. 5) отмечено расслоение бетона, а также его более интенсивное разрушение в зонах холодных швов, через которые фильтровала вода. Физико-механические свойства бетона приведены в табл. 1, из которой видно, что водонепроницаемость бетона составляет значительно менее W2 при нормативном не менее W4.

При водолазном обследовании подводной части конструкций была обнаружена поперечная трещина фундаментной плиты. Глубина трещины и причина возникновения на данном этапе обследования не были установлены. Ее схематическое местоположение показано на рис. 6.

а)



б)

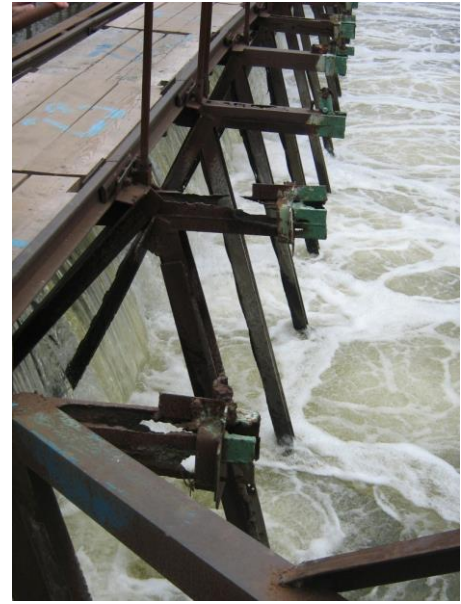


Рис. 2. Лопанский гидроузел: а – вид на плотину с нижнего бьефа ГУ; б – перелив воды через деревянные щиты «Буле», опертые на металлические фермы «Поаре»



Рис. 3. Левобережный устой Лопанской плотины (вид с нижнего бьефа)



Рис. 4. Правобережный устой Лопанской плотины (вид с нижнего бьефа)



Рис. 5. Отобранные из тела устоев плотины керны

Таблица 1

Свойства бетона тела устоев плотины

Участок	Прочность на сжатие, МПа	Водонепроницаемость, класс	Поверхностная прочность бетона, МПа	Средняя скорость ультразвука в бетоне, м/с	Средняя величина упругого отскока, ед.
УК-1	12,6	менее W2	0,42	4718	30,0
УК-2	19,9	-	0,35	4931	34,0
УК-3	17,8	-	0,28	3469	19,6
УК-4	9,9	менее W2	0,18	3585	29,6
УК-5	5,2	менее W2	0,04	3342	23,3
УК-6	19,7	менее W2	0,28	3396	29,4

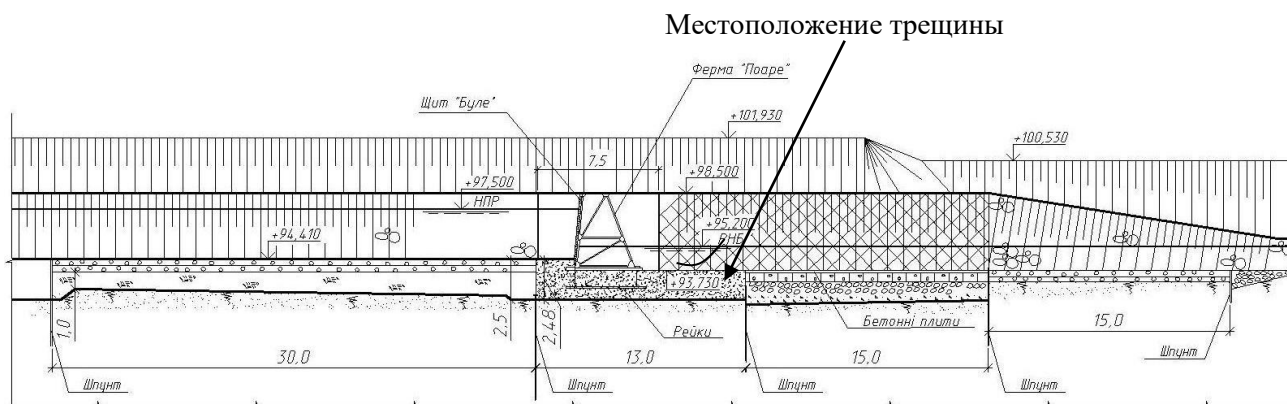


Рис. 6. Поперечный разрез Лопанской плотины

Анализ способов ремонта подводных частей гидротехнических сооружений. Для ремонта гидротехнических сооружений на рынке предлагается широкий диапазон материалов и технологий, среди которых нагнетание, пенетрирование, заделка расширяющимися составами. Эти способы обеспечивают заполнение пустот и макротрещин материалами, а тонких трещин, пор и капилляров – кристаллогидратами, повышающими марку по водонепроницаемости до W12 (практически непроницаемого состояния).

Примером такого ремонта является комплекс работ, выполненных при ремонте граней подводного канала Киевской ГАЭС (рис. 7):

- нанесение на подготовленную поверхность конструкции пенетрирующих

материалов «Ксайпекс концентрат» и «Ксайпекс модифайт»;

- выравнивание поверхности бетона «мокрым» торкретированием цементным раствором марки 400 с комплексной добавкой Adi-Con-CSF(R);

- нанесение защитного слоя гидроизоляционного раствора марки 300 на основе портландцемента марки 400 с комплексной добавкой Spray Con WS ST;

- грунтование полученной поверхности полимерной грунтовкой Праймер 300 и нанесение полимерного защитного покрытия Tuff Flex.

Ремонт проводился при сработке уровня воды до УМО +167.00 м, т.е. насухо.

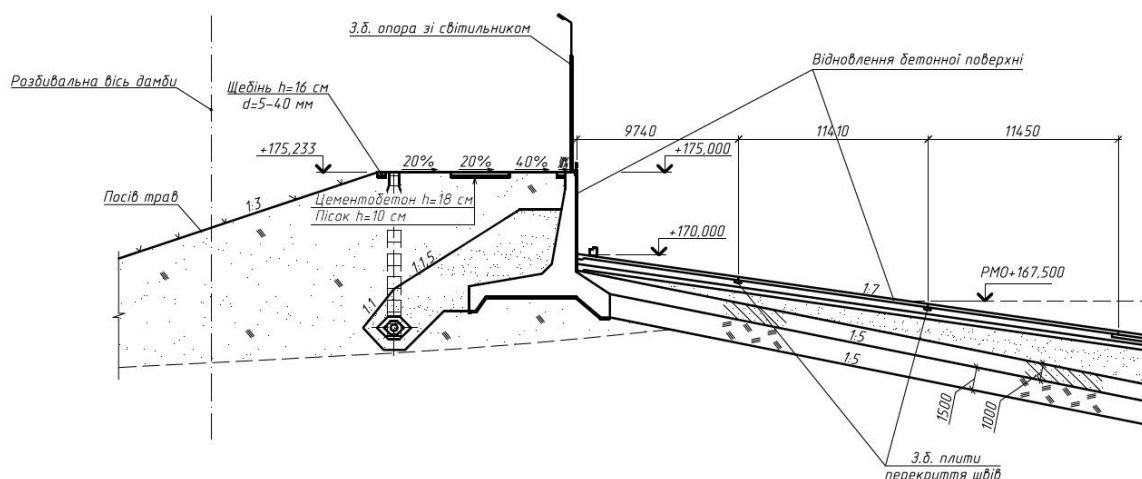


Рис. 7. Ремонт бетонной поверхности канала Киевской ГАЭС в зоне переменного уровня

Такой комплекс работ и материалов применим и для ремонта надводной части Лопанской плотины. Однако заделка таким образом обнаруженных в подводной части плотины вывалов и трещин трудноосуществима в связи со сложностью ее осушения. Спуск воды из верхнего бьефа невозможен, поскольку плотина создает напор для технического водоснабжения ТЭЦ-3. Строительство перемычки, обводного канала или перенос створа плотины существенно удорожат капитальный ремонт объекта.

Исходя из изложенного, ремонт подводных частей плотин должен заключаться

в заделке трещин и наращивании поврежденной поверхности до проектного профиля. При этом работы должны выполняться способами подводного бетонирования без применения опалубки и водоотлива с минимальной продолжительностью водолазных работ, а ремонтные материалы должны обеспечивать прочную связь между отремонтированным участком и основной конструкцией.

Выводы и рекомендации. Материалы для ремонта подводных частей гидротехнических сооружений должны быть пригодны для производства работ в подводных

условиях и характеризоваться высокими сцеплением с ремонтируемой поверхностью и водонепроницаемостью. Таким критериям могут соответствовать материалы на основе

глиноземистого цемента, характеризующиеся быстрыми схватыванием и твердением, способностью к расширению и практически полной водонепроницаемостью.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.А. Плагин

Суханова Юлія Андріївна, провідний інженер ТОВ «Гідротехпроект». Тел (095) 0438838. E-mail: jvine@mail.ru.
Касьянов Володимир Володимирович, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. (050) 183 89 88; E-mail: kasyanov_vladimir@gmail.com.

Juli Sukhanova, leading eng. from Ltd. «Hydrotechnoproject». Tel (095) 0438838. E-mail: jvine@mail.ru.
Vladimir Kasyanov, Kharkov State Academy of Railway Transport, faculty of building materials and constructions, postgraduate. Tel. (050) 183 89 88; E-mail: kasyanov_vladimir@gmail.com.

УДК 625.1:691.328

ДОСВІД ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ З ПРУЖНИМИ РЕЙКОВИМИ СКРІПЛЕННЯМИ, РОЗРОБЛЕНИМИ В УкрДАЗТ

Д-р хім. наук А.М. Плагин, д-р техн. наук А.А. Плагин,
інж. Ю.Л. Тулей, кандидати техн. наук С.В. Мірошніченко, О.А. Калінін, В.А.Лютий

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ С УПРУГИМИ РЕЛЬСОВЫМИ СКРЕПЛЕНИЯМИ, РАЗРАБОТАННЫМИ В УкрГАЗТ

Д-р хим. наук А.Н. Плагин, д-р техн. наук А.А. Плагин,
инж. Ю.Л. Тулей, кандидаты техн. наук С.В. Мирошниченко, О.А. Калинин, В.А.Лютый

OPERATING EXPERIENCE REINFORCED CONCRETE SLEEPERS WITH ELASTIC RAIL FASTENING DEVELOPED IN THE UkrSART

Doct. of chem. sciences A.M. Plugin, doct. of techn. sciences A.A. Plugin,
engineer Yu.L. Tulei, candidates of techn. sciences S.V. Miroshnichenko, O.A. Kalinin, V.A. Liytyi

Наведено результати аналізу конструкції найбільш розповсюджених рейкових скріплень на залізобетонних шпалах, їх недоліків, розробки оригінальної конструкції пружного рейкового скріплення і технології виготовлення залізобетонних шпал для них, а також 12-річного досвіду дослідної експлуатації шпал і скріплень.

Ключові слова: залізобетонна шпала, залізнична колія, пружне рейкове скріплення, технологія виготовлення, досвід експлуатації

Приведены результаты анализа конструкции наиболее распространенных рельсовых скреплений на железобетонных шпалах, их недостатков, разработки оригинальной конструкции упругого рельсового скрепления и технологии изготовления железобетонных шпал для них, а также 12-летнего опыта опытной эксплуатации шпал и скреплений.

Ключевые слова: железобетонная шпала, железнодорожный путь, упругое рельсовое скрепление, технология изготовления, опыт эксплуатации

The results of structural analysis of the most common rail fastenings on concrete sleepers, their weaknesses, development of the original intercept-struction of elastic rail fastening and manufacturing of concrete sleepers for them, as well as 12 years of experience in trial operation sleepers and fastenings.

Keywords: concrete sleepers, railway track, resilient rail fastenings, manufacturing technology, operating experience

Вступ. На залізницях світу останніми десятиріччями у зв'язку із зростанням швидкостей руху поїздів і нагальною потребою у зниженні витрат на утримання колії триває удосконалення вузла прикріплення рейок до залізобетонних шпал, зокрема, широко впроваджуються пружні рейкові скріплення. В УкрДАЗТ ще наприкінці 1990-х рр. на замовлення Укрзалізниці також були розроблені й у дослідному порядку впроваджені декілька конструкцій пружних рейкових скріплень.

Мета роботи – узагальнення досвіду експлуатації залізобетонних шпал з пружними рейковими скріпленнями, розробленими в

УкрДАЗТ, і розробка рекомендацій з використання цього досвіду при подальшому удосконаленні пружних рейкових скріплень.

Аналіз конструкції найбільш розповсюджених рейкових скріплень на залізобетонних шпалах. Найбільш масовою підрейковою основою залізниць України є попередньо напружені залізобетонні шпали, армовані високоміцним дротом. Аналіз номенклатури шпал, що виробляються і застосовуються в Україні [1], показує, що особливості виготовлення та експлуатації шпал найбільшою мірою визначаються типом застосованих проміжних рейкових скріплень (рис. 1, 2).

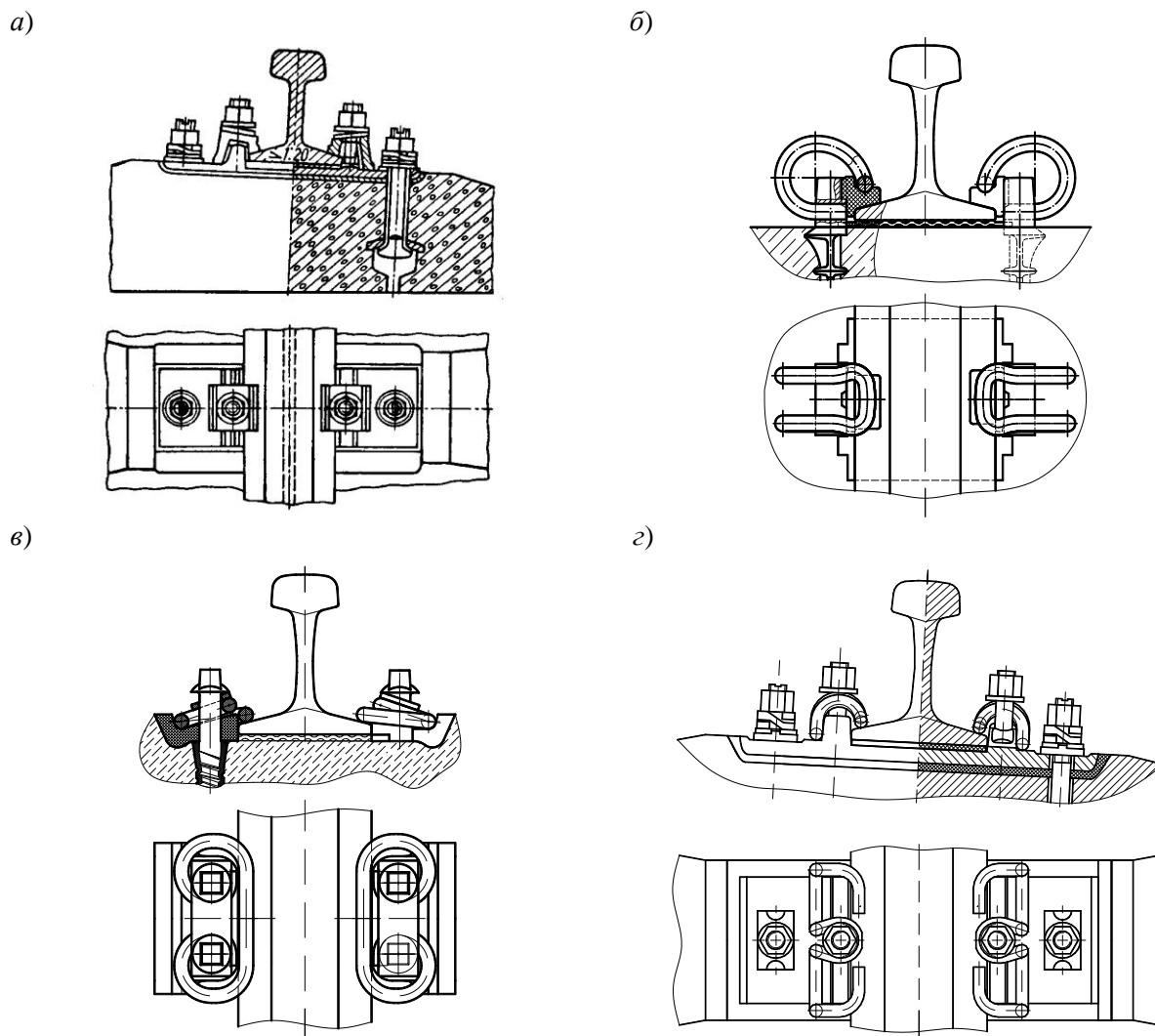


Рис. 1. Проміжні рейкові скріплення: а – КБ; б – КПП-5 (КПП-1, СБ-3, Vossloh SB-4 – аналогічні); в – КПП-7; з – КПП-12

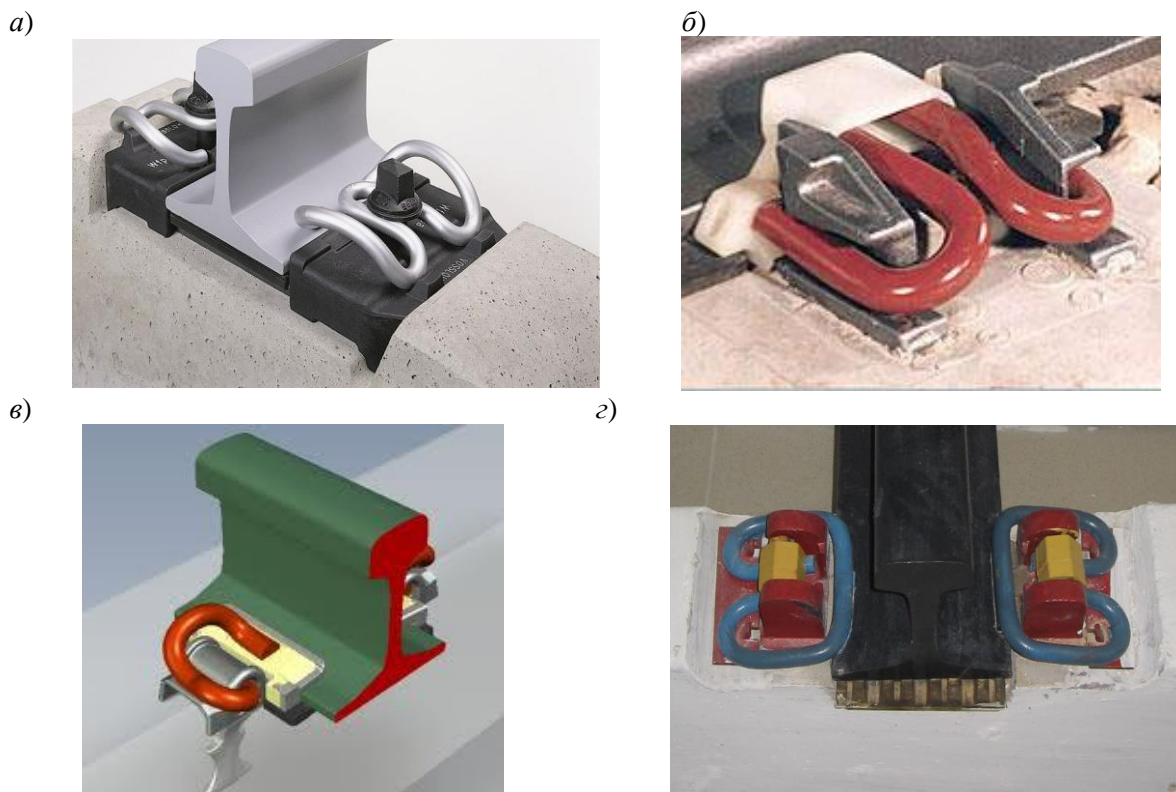


Рис. 2. Проміжні рейкові скріплення: а – Vossloh W 14 (Німеччина); б – Pandrol Fastclip (В.Британія); в – Pandrol e-Clip (В.Британія, IMET аналогічний); з – APC-4 (Росія)

Проміжні рейкові скріплення розділяють на типи:

1) за наявністю підкладки і способу кріплення рейки до шпали:

- роздільні – з металевою підкладкою між подошвою рейки і шпалою, яка спільно з двома амортизуючими прокладками – підрейковою і нашпальною забезпечує перерозподіл навантаження на більшу площу поверхні шпали та в яких рейка прикріплюється до підкладки, а підкладка до шпали роздільно за допомогою окремих кріпильних деталей – болтів, шурупів, клем тощо (КБ, КПП-12);

- нероздільні – з металевою підкладкою між подошвою рейки і шпалою, яка спільно з двома амортизуючими прокладками – підрейковою і нашпальною забезпечує перерозподіл навантаження на більшу площу поверхні шпали та в яких рейка прикріплюється безпосередньо до шпали;

- безпідкладкові, в яких навантаження від подошви рейки на поверхню шпали передається тільки через амортизуючу прокладку, не перерозподіляючись на більшу площу (КПП-1,

КПП-5, СБ-3, Vossloh SB-4, КПП-7, APC-4, Vossloh W 14, Pandrol Fastclip, Pandrol e-Clip);

2) за видом деталей кріплення рейки до шпали:

- клемно-болтові – притиск рейки здійснюється клемою, кріплення до шпали – знімним закладним болтом, установлюваним у отвір (КБ, КПП-12);

- шурупно-дюбельні – притиск рейки здійснюється клемою, кріплення до шпали здійснюється шурупом, вкручуванням в полімерний дюбель, замуrowаний у шпалу (КПП-7, Vossloh W 14);

- анкерні – притиск рейки здійснюється клемою, кріплення до шпали – через металевий анкер, замуrowаний в бетон шпали (КПП-1, КПП-5, APC-4, Pandrol Fastclip, Pandrol e-Clip);

3) за жорсткістю клеми:

- жорсткі – з жорсткою клемою (КБ);

- пружні – з пружною клемою (КПП-1, КПП-5, КПП-7, КПП-12, APC-4, IMET, Vossloh W 14, Pandrol Fastclip, Pandrol e-Clip).

Найбільш масовими типами скріплень на залізобетонних шпалах в Україні є роздільне

клемно-болтове скріплення КБ і беспідкладкове анкерне пружне скріплення КПП-5. В дослідному порядку в обмеженому обсязі вкладалися також беспідкладкові анкерні пружні скріплення КПП-1, АРС-4, ІМЕТ, беспідкладкове шурупно-дюбельне пружне скріплення КПП-7, роздільне клемно-болтове пружне скріплення КПП-12. На європейських залізницях найбільш масовими скріпленнями є беспідкладкові пружні скріплення: шурупно-дюбельне Vossloh W 14 (Німеччина), анкерні Pandrol Fastclip, Pandrol e-Clip (В.Британія). На колії зі скріпленнями Pandrol Fastclip встановлено світовий рекорд швидкості на залізниці – 574,8 км/год (03.04.2007, Франція, поїзд TGV).

Виходячи із проаналізованих конструктивних особливостей проміжних рейкових скріплень залізобетонні шпали (рис. 3) за особливостями їх формування можна розділити на:

1) шпали з отворами під закладні болти, пустототоутворювачі із яких видаляють негайно після формування: Ш1, Ш2, Ш6, шпала мостова;

2) шпали з полімерними дюбелями, анкерами, незнімними пустототоутворювачами, що замуруються у бетон, у яких відсутні елементи негайного розпалублення (крім діафрагм між торцями шпал): Ш7, СБ3, Ш2С-1.

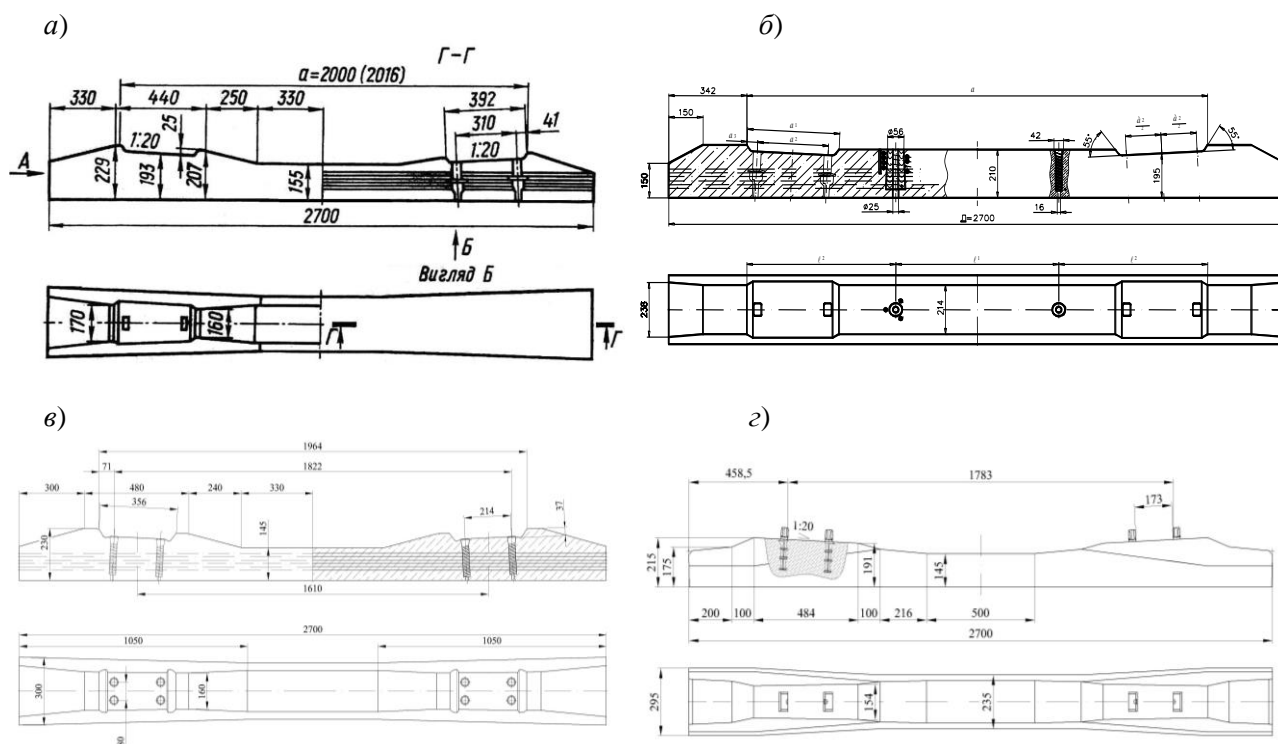


Рис. 3. Шпали залізобетонні: а – Ш1 для скріплень КБ, КПП-12 (шпали Ш2, Ш3, Ш6 аналогічні, відрізняючись деякими розмірами і особливостями); б – шпала мостова для скріплень КБ, КПП-12; в – Ш-7 для скріплень КПП-7; г – СБ3-1 (СБ3-0 и СБ3-2 аналогічні, відрізняючись деякими розмірами і особливостями)

За характером передавання навантаження від підшви рейки на поверхню бетону шпали розділяють на:

1) шпали для роздільних і нероздільних скріплень, в яких навантаження від підшви рейки перерозподіляється за більшою площею: Ш1, Ш2, Ш3, Ш6, шпала мостова (для скріплень КБ, КПП-12);

2) шпали для беспідкладкових скріплень, в яких навантаження від підшви рейки передається на незначну площу: СБ3, Ш2С-1 (для скріплення КПП-5), Ш7 (для скріплення КПП-7).

За характером вертикального впливу рейки на бетон шпали розділяють на:

1) шпали для скріплень з високою вертикальною жорсткістю: Ш1, Ш2, Ш3, Ш6, шпала мостова (для скріплення КБ);

2) шпали для пружних скріплень СБ3, Ш2С-1 (для скріплень КПП-5), Ш-7 (для скріплень КПП-7).

За характером поперечного горизонтального впливу рейки на бетон шпали розділяють на:

1) шпали для скріплень з високою поперечною жорсткістю, що призводить до бічних ударних впливів анкера на бетон: СБ3, Ш2С-1 (для скріплень КПП-5), Ш7 (для скріплень КПП-7);

2) шпали з незначною поперечною жорсткістю, що запобігає ударним впливам на бетон: Ш1, Ш2, Ш3, Ш6, мостова шпала (для скріплень КБ, КПП-12).

Високу поперечну жорсткість забезпечують для утримання ширини колії під час експлуатації, проте вона призводить до бічних ударних впливів анкера на бетон і утворення в шпалі подовжніх тріщин (рис. 4). У скріпленні Vossloh W 14 (рис. 2, а) масивний полімерний вкладиш амортизує і розподіляє цей вплив, проте навіть це не запобігає повністю утворення тріщин (рис. 4, в).

Оригінальне, хоча й надто металоемне рішення із запобігання утворення таких тріщин реалізовано у скріпленні АРС-4 (рис. 1, е) – жорстке з'єднання в єдину деталь анкерів однієї підрейкової площадки скобою, що проходить в бетоні під рейкою (рис. 5, а). Проте в цьому випадку часто спостерігається руйнування полімерних вкладишів (рис. 5, б, в).

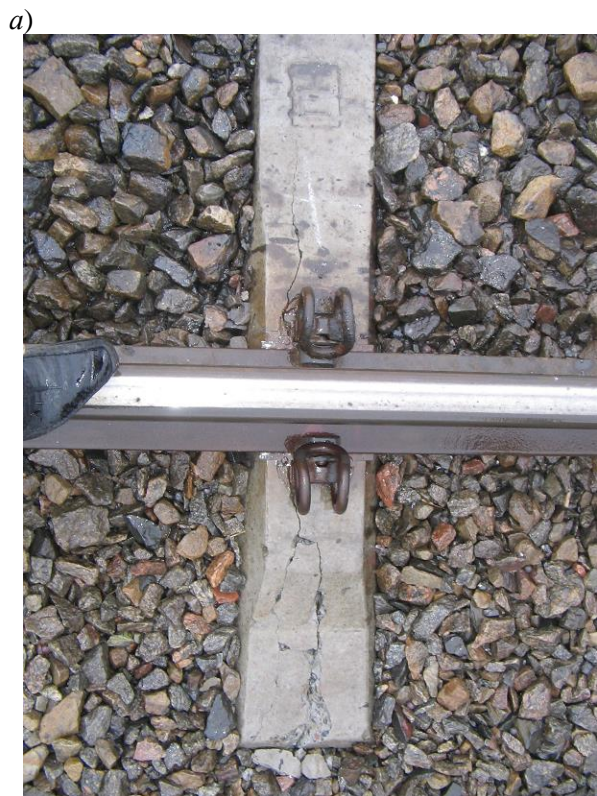


Рис. 4. Характерні пошкодження залізобетонних шпал зі скріпленнями з високою поперечною жорсткістю – подовжні тріщини від анкера до торця шпали: а, б – шпали СБ3-1 зі скріпленням КПП-5; в – шпали зі скріпленням Vossloh W 14 (Литовська залізниця)



Рис. 5. Анкерне скріплення з високою поперечною жорсткістю АРС-4:
a – деталь із з'єднаних скобою анкерів, зафіксована у формі перед формуванням шпал (Белгородський ЗЗБШ, Росія);
б, в – характерні пошкодження – руйнування полімерних вкладишів на ділянці Іларионове – Синельникове Придніпровської залізниці

Розробка конструкції пружного рейкового скріплення. В УкрДАЗТ розроблене пружне рейкове скріплення, якому притаманні всі переваги анкерних пружних скріплень, при цьому усунуто їх загальний недолік – високу поперечну жорсткість (рис. 6). Це досягнуто за рахунок зазору між анкером і полімерним вкладишем, в якому підшву рейки від поперечних деформацій стримує не одразу анкер через полімерний вкладиш, а спочатку пружна клема.

Розроблені й запатентовані такі модифікації скріплення, шпал з ними і технологій їх виробництва:

1) УС-1 – скріплення для ремонту старопридатних шпал Ш-1-1 (рис. 6) [2; 3];

2) PRS-2 – модифікація скріплення УС-1, придатна для установлення на стикові шпали [3];

3) PRS-4 – підсилена для застосування на вантажонапружених швидкісних ділянках модифікація скріплення (рис. 6, *б-в*) для нових шпал типу Ш-1-1-PRS з анкером скріплення PRS-4 [4–13].

Технічні характеристики скріплення (УС-1):

- 1) маса, кг:
- клеми 1,05
 - анкера 0,8
 - регулятора натягу Ø10 мм 0,08
 - ізолюючого вкладиша 0,1
 - гумової прокладки 0,2
- 2) зусилля натиску клеми на рейку, кН 12,0
- 3) жорсткість клеми, кН/см 8,0
- 4) опір угону рейкових плітей, кН/м . . 25÷35

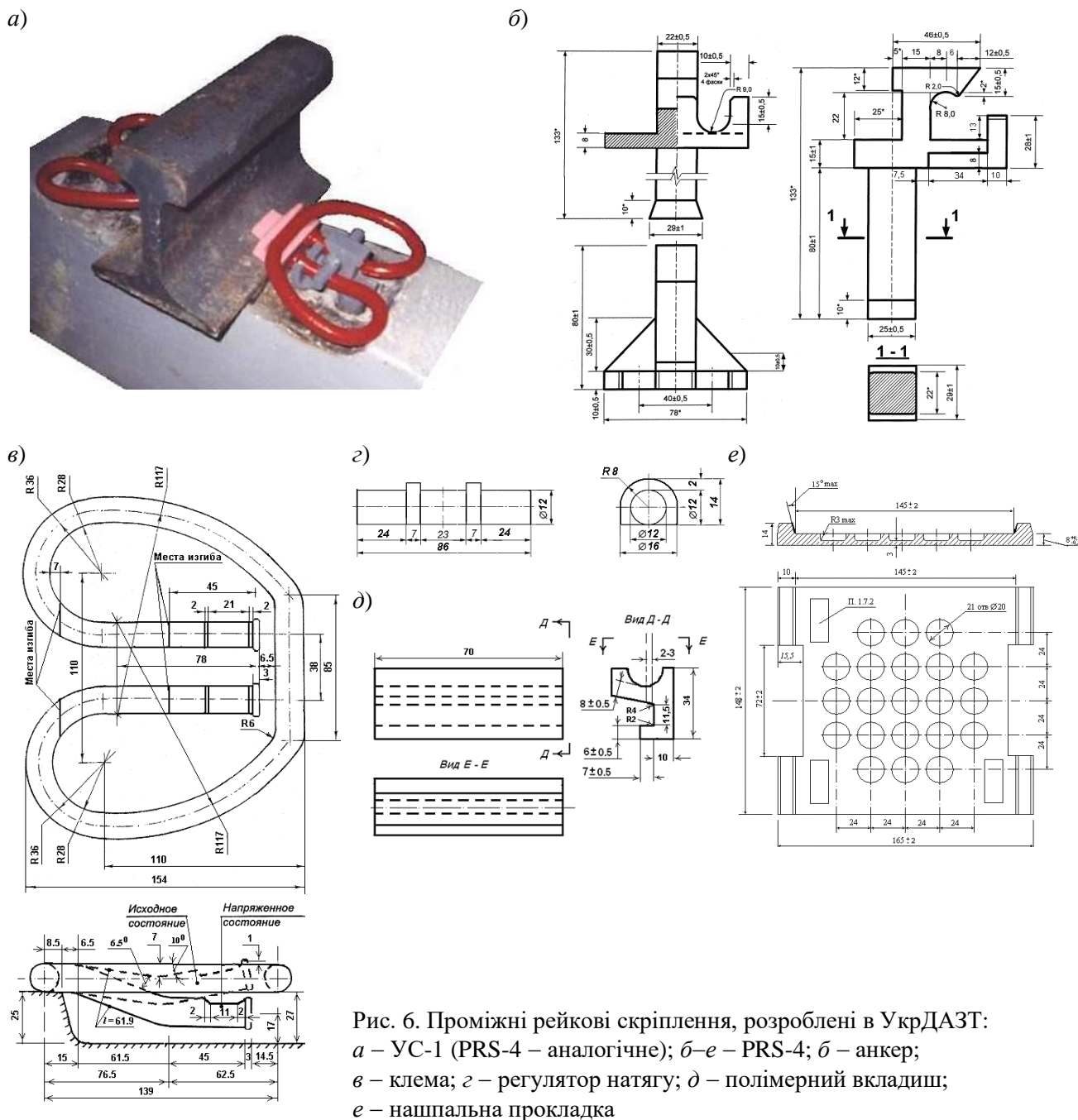


Рис. 6. Проміжні рейкові скріплення, розроблені в УкрДАЗТ:
 а – УС-1 (PRS-4 – аналогічне); б–е – PRS-4; б – анкер;
 в – клема; г – регулятор натягу; д – полімерний вкладиш;
 е – напшальна прокладка

Переваги скріплення УС-1 (PRS-4) над іншими:

- значний запас пружності й міцності клеми – рівень фактичного навантаження не перевищує 60 %, клема працює на крутіння;
- гасіння бічних ударів колесних пар;
- здатність до «самовирівнювання» колії під час збирання й експлуатації;
- можливість підйомки колії на регулювальні картки до 10–15 мм;

- високий електричний опір шпал;
- неможливість демонтажу колії без спеціального ключа;
- придатність для ремонту шпал ШІ з пошкодженим вузлом скріплення КБ;
- використання після незначної переробки парку форм шпал ШІ;
- менша у порівнянні з іншими вітчизняними (КБ-65, КПП-5) і значно менша у порівнянні з аналогічними європейськими

(Vossloh, Pandrol) і російськими (АРС-4) скріпленнями вартість.

Звертає на себе увагу високий електричний опір шпал зі скріпленнями УС-1 (PRS-4) у порівнянні з іншими типами шпал і скріплень (табл. 1). Це обумовлене найбільш сприятливим розташуванням хвостовика анкера відносно арматурного пакету (рис. 8), а для скріплення УС-1, ще й його замуванням в

отворі шпали сірчаною мастикою з високим електричним опором. Переваги скріплення дозволили пропонувати його також для застосування у безбаластному мостовому полотні. Конструкцію такого полотна пророблено на рівні кваліфікаційних дослідницьких робіт на здобуття кваліфікації магістра і дипломних проектів (рис. 9).

Таблиця 1

Фактичний електричний опір залізобетонних шпал з різними типами рейкових скріплень, виміряний за схемою рис. 7

Шпала	Рейкове скріплення	Електричний опір, Ом
ШП-1	КБ-65	18–116
СБЗ-0 (на складі ЗЗБШ)	КПП-5	250–1000
СБЗ-0 (в колії)	КПП-5	0,2–40
ШП-2	УС-1	100–5300

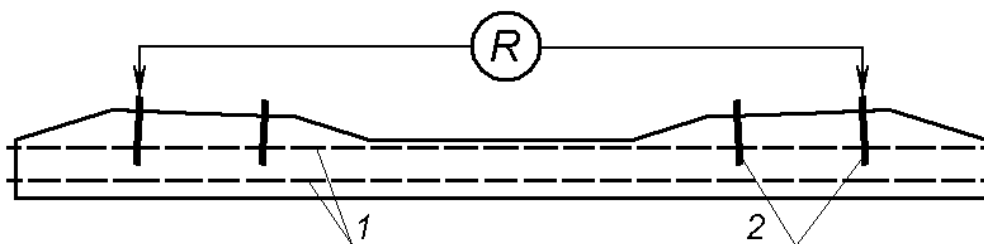


Рис. 7. Схема вимірювання електричного опору залізобетонних шпал: 1 – розташування арматурного пакету; 2 – закладні болти скріплень КБ або анкери скріплень КПП-5 і УС-1

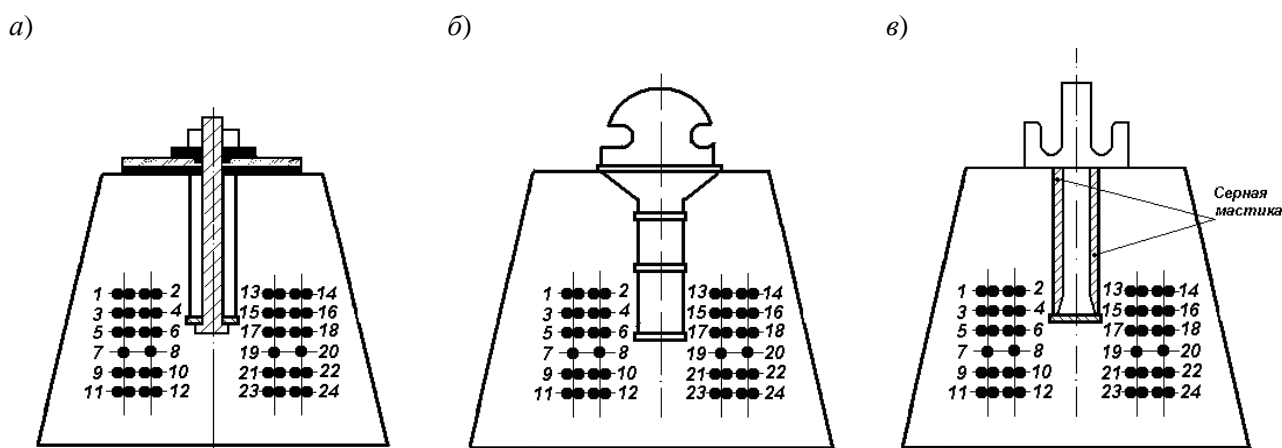


Рис. 8. Розташування відносно арматурного пакету закладного болта і шайби скріплення КБ (а) і анкерів скріплень КПП-5 (б) і УС-1 (PRS-4, в)

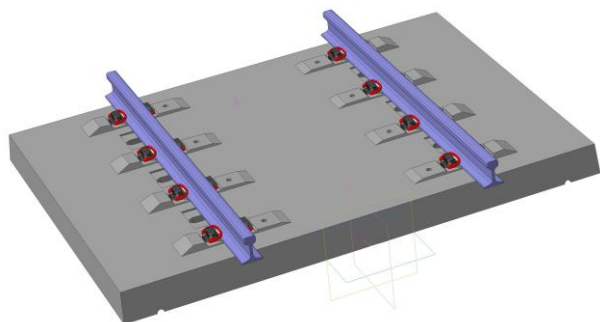


Рис. 9. Колія на безбаластному мостовому полотні із скріпленнями PRS-4

Дослідна експлуатація шпал з пружними рейковими скріпленнями. У липні 2002 р. на базі КМС-39 Південної залізниці була зібрана ланка довжиною 25 м із старопридатних рейок Р65 (400 млн т бруто) на шпалах Ш1-1 з пошкодженим вузлом скріплення, в отвори яких на сірчаній мастиці замуровано анкери скріплень УС-1. Деталі скріплень було виготовлено АТ «Механіка» (м. Київ). Ланка укладена в непарну колію 249 км

ПК1 ділянки Основа – Букине Південної залізниці (між стрілочними переводами 550 і 572 станції Основа). Через 9 років експлуатації 06.07.2011 ширина колії утримувалась у межах 1518–1522 мм, перекид не перевищував 2 мм (рис. 10, *а,б*). Через 12 років експлуатації за станом на 05.10.2014 пропущений тоннаж перевищив 259,3 млн т бруто, розладів колії і пошкоджень скріплень не спостерігається.



Рис. 10. Рейкові скріплення УС-1 в непарній колії 249 км ПК1 ділянки Основа – Букине Південної залізниці (між стрілочними переводами 550 і 572 станції Основа): *а, б* – через 9 років експлуатації (06.07.2011, ширина колії – 1518–1522 мм, перекид – не більше 2 мм); *в, з* – через 12 років експлуатації (05.10.2014, пропущений тоннаж – 259,3 млн. т бруто)

Розробка і опрацювання технології виробництва шпал для пружних рейкових скріплень. У 2005–06 рр. було розроблено і опрацьовано на Коростенському ЗЗБШ технологію виробництва залізобетонних шпал Ш1-1-PRS. Деталі скріплень і плити підрейкових площадок для форм було виготовлено АТ «Механіка» (м. Київ). Виготовлення шпал здійснювали у 10-гніздовій

формі для шпал Ш1-1 (рис. 11, *а*) переобладнаною плитами підрейкових площадок (рис. 11, *б*). Було досягнуто неускладнене розпалублення шпал шляхом розкантування (перегортання) форми (рис. 11, *в,г*). Було виготовлено дослідну партію шпал. При збиранні з них ланок ширина колії 1520 мм забезпечувалась (рис. 12).

а)



б)



в)



г)



Рис. 11. Виготовлення шпал Ш1-1-PRS на Коростенському ЗЗБШ:

- а* – 10-гніздова форма для шпал Ш1-1, перероблена для виготовлення шпал Ш1-1-PRS;
- б* – анкери, встановлені у гнізда плит підрейкових площадок;
- в* – розпалублення шпал шляхом розкантування (перегортання) форми;
- г* – підрейкова площадка шпали з анкерами одразу після розпалублення



Рис. 12. Збирання ланки на шпалах ШІ1-1-PRS: а – замикання скріплення ключем; б – контроль ширини колії – 1520 мм забезпечено

Висновки і рекомендації:

1. Проведено аналіз конструкції найбільш розповсюджених рейкових скріплень на залізобетонних шпалах, їх особливостей і недоліків. Встановлено, що у зв'язку з підвищенням швидкостей руху на залізницях все більш поширюються пружні рейкові скріплення. Вони характеризуються рядом переваг у порівнянні з традиційними клемно-болтовими скріпленнями, проте як недолік мають надто велику жорсткість у горизонтальному поперечному напрямку, що внаслідок ударних впливів колісних пар через рейки і анкери на бетон часто, особливо при незначному запасі міцності бетону, призводить до утворення у шпалах подовжніх тріщин.

2. Розроблено оригінальну конструкцію рейкового скріплення УС-1 (для старопритатних шпал ШІ1-1) і PRS-4 (для нових шпал ШІ1-1-PRS), яке є пружним не тільки у вертикальному, а й горизонтальному поперечному напрямку, що виключає ударні впливи на анкери й бетон. Крім того, шпали з такими скріпленням характеризуються більш високим електричним опором у порівнянні зі

шпалами з іншими типами клемно-болтових і пружних скріплень.

3. 12-річний досвід дослідної експлуатації 25-метрової ланки з пружними рейковими скріпленнями УС-1 (пропущений тоннаж – 259,3 млн т брутто) показав надійність запропонованої конструкції скріплення, ні одне з яких не вийшло із ладу, забезпечивши повну відсутність розладів колії.

4. Розроблено і опрацьовано технологію виробництва нових залізобетонних шпал ШІ1-1-PRS для пружних рейкових скріплень PRS-4.

5. Рекомендується укласти не менше 1 км колії на нових шпалах ШІ1-1-PRS зі скріпленнями PRS-4 на вантажонапруженій ділянці, у т.ч. в кривій, і провести подальші експлуатаційні випробування.

6. Рекомендується застосувати позитивний досвід експлуатації УС-1 для розробки інших типів пружних рейкових скріплень, зокрема, щодо забезпечення пружності скріплення у горизонтальному поперечному напрямку і високого електричного опору шпали.

Список використаних джерел

1. Даніленко, Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст]: підруч. для студ. вищ. навч. закл.: у 2 т. / Е.І. Даніленко. – К.: Інпрес, 2010. – Т. 1. – 521 с.; Т. 2. – 455 с.

2. Пружне рейкове скріплення [Текст]: патент 36449 UA; МПК 7 E01B9/30, 9/66 / А.М.Плугін, О.І. Белорусов, О.М. Жученко та ін. - Заявл.20.12.1999.- №99126922. - Опубл. 17.03.2003. - Бюл. №3.

3. Спосіб ремонту шпал або інших підрейкових основ [Текст]: патент 58250 UA; МПК 7 E01B3/34 / А.М. Плугін, Ю.П. Лібенко, О.І. Белорусов та ін. - Заявл.05.11.2002. - №2002118756.- Оpubл. 15.12. 2005. - Бюл. №12.

4. Пружне рейкове скріплення PRS-2 [Текст]: патент 65648 UA; МПК 7 E01B9/30 / А.М. Плугін, О.І. Белорусов, О.М. Жученко та ін. - Заявл.19.07.2001. - №2001075169. - Оpubл. 15.04.2004. - Бюл. №4.

5. Пружне рейкове скріплення PRS-4 [Текст]: патент 78666 UA; МПК E01B 9/30, E01B/68 / А.М. Плугін, О.І. Белорусов, С.В. Мірошніченко та ін. - Заявл. 12.10.2006. - № a200610793. - Оpubл. 10.04.2007. - Бюл. №4.

6. Шпала Ш-1-1-PRS [Текст]: патент 78667 UA; МПК E01B 3/00 / А.М. Плугін, А.А. Плугін, О.І. Белорусов та ін. - Заявл.16.10.2006. - № a200610861. - Оpubл. 15.12.2006. - Бюл. №12. - Оpubл. 10.04.2007. - Бюл. №4.

7. ТУ У 32.01116472-100-2005 Анкер для пружного рейкового скріплення PRS-4 [Текст]: Технічні умови на дослідну партію 10000 шт.

8. ТУ У 32.01116472-101-2005 Клема пружинна для пружного рейкового скріплення PRS-4 [Текст]: Технічні умови на дослідну партію 10000 шт.

9. ТУ У 32.01116472-102-2005 Вкладиш ізолюючий для пружного рейкового скріплення [Текст]: Технічні умови на дослідну партію 10000 шт.

10. ТУ У 32.01116472-103-2005 Регулятор натягу для пружного рейкового скріплення PRS-4 [Текст]: Технічні умови на дослідну партію 10000 шт.

11. ТУ У 32.01116472-107-2005 Шпали залізобетонні попередньо напружені типу Ш з пружним рейковим скріпленням типу PRS для залізниць колії 1520 мм [Текст]: Технічні умови на дослідну партію 10000 шт.

12. ТУ У 32.01116472-108-2005 Прокладка амортизуюча полімерна ПА(П) для пружного рейкового скріплення PRS-4 [Текст]: Технічні умови на дослідну партію 10000 шт.

13. ТУ У 32.01116472-109-2005 Прокладка амортизуюча полімерна ПА(Г) для пружного рейкового скріплення PRS-4 [Текст]: Технічні умови на дослідну партію 10000 шт.

Плугін Аркадій Миколайович, д-р хім. наук, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. (057) 730 10 63, E-mail: plugin_an@kart.edu.ua.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДАЗТ. Тел./факс (057) 771 46 91. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Тудей Юзеф Леонідович, інженер, начальник департаменту колійного господарства, Державна адміністрація залізничного транспорту України «Укрзалізниця». Тел. (044) 465 03 50, факс (044) 465 03 59.

Мірошніченко Сергій Валерійович, канд. техн. наук, доцент, завідувач Галузевої науково-дослідної лабораторії корозії і захисту від корозії конструкцій і споруд залізниць, УкрДАЗТ. Тел.: (057) 730 10 64. E-mail: smirosh70@yandex.ru.

Калінін Олег Анатолійович, канд. техн. наук, доцент, завідувач Галузевої науково-дослідної лабораторії підрейкових основ і спецзалізобетону, УкрДАЗТ. Тел.: (057) 730 10 68. E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru.

Лютій Віталій Анатолійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДАЗТ. Тел. (057) 730 10 64. E-mail: 2010lva@rambler.ru.

Plugin Arkadii M., doct. of chem. sciences, professor of Building Materials, Constructions and Buildings department, Ukrainian State Academy of Railway Transport (UkrSART); Tel. (+38 057) 730 10 63, E-mail: plugin_an@kart.edu.ua.

Plugin Andrii A., doct. of techn. sciences, professor, head of Building Materials, Constructions and Buildings Department, UkrSART; Tel./fax (+38 057) 771 46 91, Tel. (+38 057) 730 10 63, E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Tulei Yuzef L., engineer, Head of Department of Track Facilities, the State Administration of Railway Transport of Ukraine «UZ»; Tel. (+38 044) 465 03 50, fax (+38 057) 465 03 59.

Miroshnichenko Sergii V., cand. of techn. sciences, docent, Head of Branch Research Laboratory of corrosion and corrosion protection of structures of railways, UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 64, E-mail: smirosh70@yandex.ru.

Kalinin Oleg A., cand. of techn. sciences, docent, Head of Branch Research Laboratory of Under Rails Bases and Special Reinforced Concrete, UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 68, E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru.

Liytiy Vitalii A., cand. of techn. sciences, docent of Building Materials, Constructions and Buildings department, UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 64, E-mail: 2010lva@rambler.ru.

УДК 624.21

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЛИТ БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА І ПРОКЛАДНОГО ШАРУ ПІД НИМИ

Д-р техн. наук А.А. Плугін, канд. техн. наук С.В. Мірошніченко,
канд. техн. наук О.В. Лобяк, інж. О.А. Забіяка,
канд. техн. наук Г.О. Линник, ген. директор АТ «Tines» Т. Шуба (Польща)

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА И ПРОКЛАДНОГО СЛОЯ ПОД НИМИ

Д-р техн. наук А.А. Плугин, канд. техн. наук С.В. Мирошниченко,
канд. техн. наук А.В. Лобяк, инж. А.А. Забияка,
канд. техн. наук Г.О. Линник, ген. директор АО «Tines» Т. Шуба (Польша)

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF THE PLATES BALLASTLESS BRIDGE AND CUSHIONING LAYER UNDERNEATH

Doct. of techn. sciences A.A. Plugin, of techn. sciences S.V. Miroshnichenko,
cand. of techn. sciences O.V. Lobiak, engineer O.A. Zabiyaка,
cand. of techn. sciences G.O. Linnik, general director of TINES S. A. T. Szuba

Проведено аналіз напружено-деформованого стану плит безбаластного мостового і прокладного шару під ними з урахуванням різного модуля пружності прокладного шару, а також різного зусилля натягіння високоміцних шпильок.

Ключові слова: напружено-деформований стан, плита безбаластного мостового полотна, зусилля натягу, прокладний шар.

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния плит безбаластного мостового и прокладного слоя под ними с учетом различного модуля упругости прокладного слоя, а также различного усилия натяжения высокопрочных шпилек.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, плита безбалластного мостового полотна, усилие натяжения, прокладной слой.

The analysis of the stress-strain state of the plates besplatnogo bridge and are cool layer below them, taking into account various modulus are cool layer, and tension force of high-strength bolts. In the result of the research were established based and the conclusions were made about the effects of the tension rods and stiffness are cool layer on stress and deformation of plates. While it is difficult to say concrete value, because these factors have different impacts on different areas of the plate and are cool layer.

The maximum value of voltage changes exceed the values of tensile strength, so you should expect their influence on the formation of cracks and durability. Tension stud appropriate to do with the power not exceeding 10 tons of power. The use of hard are cool layer appropriate at reduction of the tension stud less than 10 tons of power.

Key words: stress-strain state, stove ballastless bridge deck, the tension force, are cool layer.

Вступ. Сполучення між залізобетонними плитами безбаластного мостового полотна і головними або поздовжніми балками металевих мостів виконується у вигляді суцільного прокладного шару по всій довжині балок або на дискретних опорах, які влаштовуються по осі верхнього поясу балки під кожною

підрейковою основою плити. Як суцільний прокладний шар можуть використовуватися: армований цементно-піщаний розчин або дрібнозернистий бетон, безусадкова швидкотвердіюча бетонна суміш наливного типу з гумовою підкладкою, антисептовані дошки або фанера з гумовими смугами і т.п.

Дискретне обпирання може бути виконано з використанням металевих обойм, заповнених дрібнозернистим бетоном.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. В теперішній час на залізницях України експлуатується суцільний прокладний шар таких видів:

- з двошарових прокладок, де верхній шар – гума товщиною 8÷10 мм, а нижній – дерев'яні дошки (соснові шириною 20÷24 см або з твердих порід – не менше 10 см);

- з прокладок з гуми або гумокорду (транспортної стрічки) товщиною до 10 мм;

- з армованого цементно-піщаного розчину або полімерцементного розчину;

- з двошарових прокладок, де верхній шар – гума (транспортна стрічка) шириною 16÷25 см товщиною 8÷10 мм, а нижній – полімеркомпозиційний шар.

Аналіз досвіду експлуатації гумо-дерев'яного і гумового прокладних шарів [1-5] показав їх переваги і недоліки:

- зменшення жорсткості колії і подовження терміну служби її окремих елементів;

- складність забезпечення обпирання плити на балку без порожнеч;

- недовгий термін експлуатації через швидку втрату деревиною властивостей;

- нерівномірну втрату зусилля натягу шпильок, яка призводить до виникнення в плиті дефектів;

- недостатній захист металевої поздовжньої балки прогонової будови від корозії і електрокорозії і навіть їх посилення за рахунок скупчування води під деревиною.

Аналіз досвіду експлуатації цементно-піщаного прокладного шару з 1970–80-х рр. показав, що він забезпечує добрий контакт між плитою та балкою і захищає її від корозії. При товщині понад 4-5 см прокладний шар зберігся у доброму стані, у плитах тріщини і дефекти не спостерігаються, при товщині 2–3 см він, як правило, пошкоджений внаслідок неповного заповнення порожнечі і недостатньої міцності розчину через досягнення потрібної текучості за рахунок підвищення вмісту води (без пластифікаторів).

10-річний досвід експлуатації розробленого і виконаного УкрДАЗТ за заливною технологією полімеркомпозиційного

прокладного шару на мосту поблизу ст. Новожанове дільниці Основа – Харків-пас. Південної залізниці, показав його високі якість і довговічність. Склад містить епоксидну смолу ЕД-20 або її аналоги, кам'яновугільну смолу, наповнювач – портландцемент, пластифікатор – дібутилфталат, високоактивний амінний отверджувач УП-583Д. Проте незручність його приготування і заливання у польових умовах досі стримує його застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В результаті аналізу літературних джерел [5-9] останніх років встановлено, що жорсткість прокладного шару має вплив не тільки на конструкції верхньої будови колії, а й на конструкції балок. Мінімальні напруження спостерігаються для прокладного шару із бетону або розчину, отже доцільно дослідити жорсткий спосіб прикріплення плит до балки.

Визначення мети та задачі дослідження. Як жорсткий прокладний шар, виконуваний за заливною технологією, доцільно використовувати полімеркомпозиційний або бетонний (розчиновий) прокладний шар, у т.ч. із готових до застосування сухих будівельних сумішей Емасо і т.п. Його розтікання повинне складати не менше 25 см за віскозіметром Сутарда, міцність на стиск через 1 добу – не менше 20 МПа, проектна – не менше 40 МПа.

Для виявлення доцільності використання жорсткого прокладного шару було виконано аналіз напружено-деформованого стану плит безбаластного мостового і прокладного шару під ними шляхом розрахункового експерименту методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу Ліра 9.6 [10] у просторовій постановці.

Основна частина дослідження. У завдання розрахунку входить визначення напружено-деформованого стану плити зі змінними параметрами обпирання й натягу шпильок для кріплення плити до балок прогонової будови. Як прокладний шар приймали сосну з модулем пружності $E_0=10000$ МПа, бетон класу С35/40 з модулем пружності $E_0=35000$ МПа і полімерний композит з модулем пружності $E_0=2000$ МПа. З кожним прокладним шаром у розрахунках сполучалися три сили натягу високоміцних шпильок: 5, 10 і 13 т.

Розрахункова схема (рис. 1) складена із сукупності фізично нелінійних ізопараметричних об'ємних скінчених

елементів (КЕ№234, КЕ№236). Ця група скінчених елементів призначена для розрахунків на міцність масивних просторових конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності матеріалу. Загальна кількість вузлів розрахункової схеми склала 45126, елементів – 38992.

По висоті плити розбивали на 9 шарів (рис. 1). Робочу арматуру розташовували в другому й сьомому шарах, наведених на рисунку. Насиченість шарів арматурою визначали осьовими відсотками армування.

Жорсткісні характеристики складені з урахуванням нелінійних діаграм деформування бетону й сталі, класу бетону, початкового модуля пружності, граничного значення напруги при стиску й розтяганні (рис. 2).

Прокладний шар також моделювався за допомогою КЕ №234 і КЕ №236. Контактна взаємодія між прокладним шаром і плитою не розкривалася внаслідок початкового повного контакту й роботи прокладного шару на всіх етапах навантаження тільки на стиск. Зусилля натягу плити моделювалося навантаженням пластини кріплення шпильки (рис. 3). При цьому шпилька фізично не моделювалася, а пластина кріплення встановлювалася в найбільш невідне положення. Передбачалося,

що прокладний шар опирається на абсолютно жорстку основу.

Навантаження плити здійснювали стадіями. На першій стадії враховувалася власна вага конструкції й зусилля натягу шпильок кріплення плити до балок прогонової будови. На другій стадії прикладалося тимчасове навантаження від однієї осі рухомого складу з тиском 25 т. На кожній стадії навантаження прикладалося кроками по 20 % від свого повного значення. Розрахунки виконувались шагово-ітераційним методом. Для досягнення достатньої збіжності ітераційного процесу кількість ітерацій на кожному кроці приймали не менше 300.

Результати розрахунків представлені у вигляді: ізополів еквівалентних напруг у плиті N_s (головні стискаючі напруги $N3$) і N_e (головні розтягувальні напруги $N1$); ізополів еквівалентних стискаючих напруг N_s у прокладному шарі; ізополів вертикальних деформацій у плиті.

За результатами розрахунків виявлено залежності напруг та деформацій в плиті та прокладному шарі від деформативності прокладного шару та сили затягування шпильки (рис. 4–5).

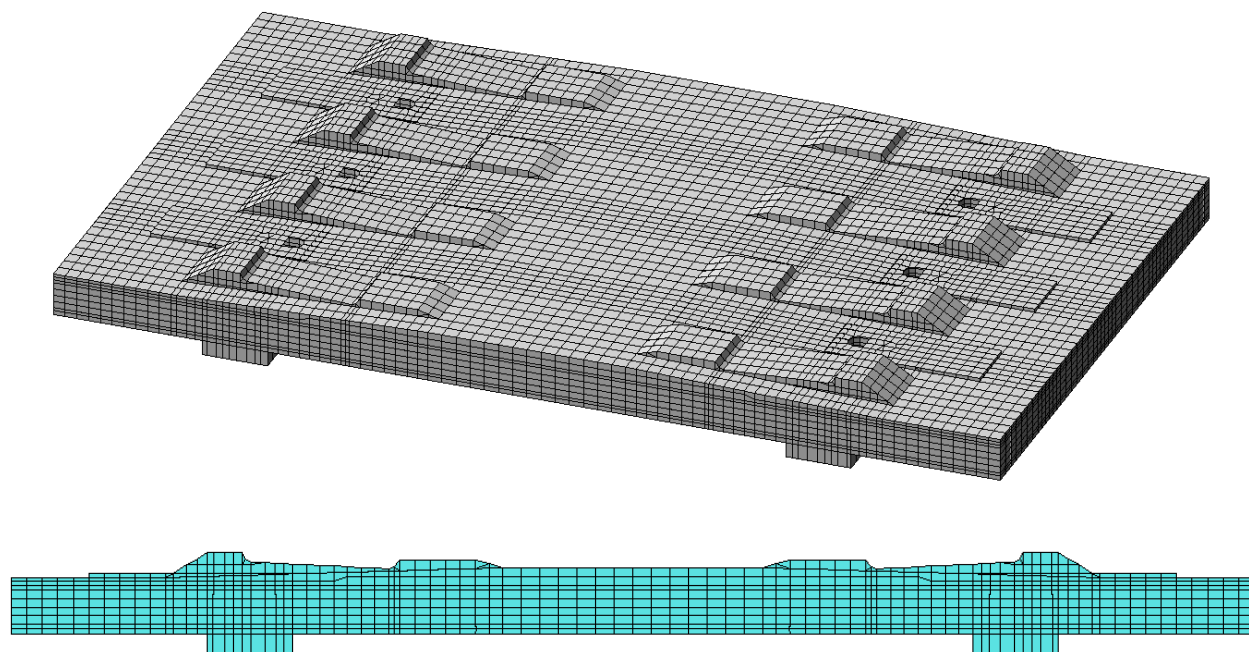
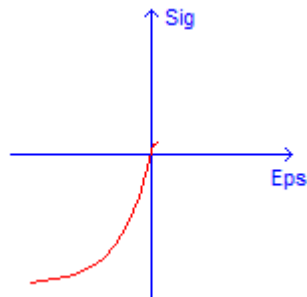


Рис. 1. Розрахункова схема плити БМП і прокладного шару

а)

Параметры	Значения
Класс бетона	B30
Тип бетона	ТА
E_0	32460.01
$\sigma(-)$	21.9669
$\sigma(+)$	1.804424



б)

Параметры	Значения
$E_0(-)$	210000
$E_0(+)$	210000
$\sigma(-)$	-250
$\sigma(+)$	250
$\epsilon(-)$	-0.001
$\epsilon(+)$	0.001

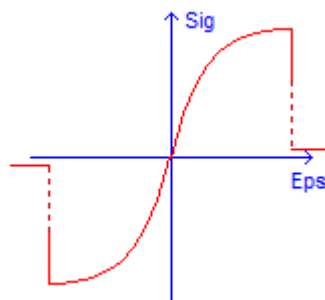


Рис. 2. Жорсткісні характеристики бетону (а) і стали (б)

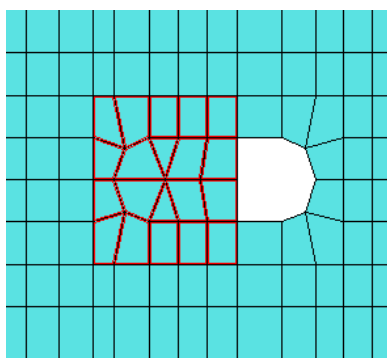


Рис. 3. Схема в області передачі навантаження від натягу шпильки

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. В результаті аналізу напружено-деформованого стану плити безбаластного мостового полотна і прокладного шару під ним встановлено таке:

1) при зміні сили натягу високоміцної шпильки від 5 до 13 тс і модуля пружності від 2000 МПа до 35000 МПа величина напруг та деформацій змінюється та досягає критичних величин (напруження досягають величини міцності):

- на верхній грані плити при силі натягу шпильок 10–13 тс величини розтягувальних напружень досягають 1,8 МПа, що дорівнює міцності бетону на розтяг;

- максимальні напруження на нижній грані плити досягають критичних величин

тільки з використанням податливого прокладного шару та при величині натягу шпильки 10–13 тс;

- максимальні стискувальні напруження досягають величин, близьких до міцності бетону на стиск при силі зтягування шпильки 13 тс, матеріал прокладного шару на стискувальні напруги практично не впливає;

- напруження у прокладному шарі залежать в більшому ступені від матеріалу прокладного шару, ніж від сили зтягування шпильки; напруження зростають зі збільшенням модуля деформації;

- максимальні прогини у плиті більші при прокладному шарі з меншим модулем деформацій, проте вони незначні (не перевищують 1/12000 довжини прогону);

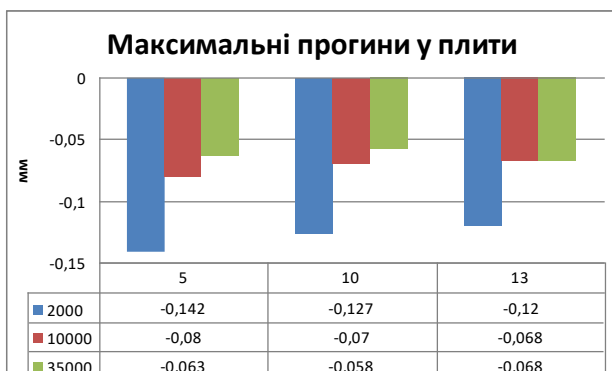
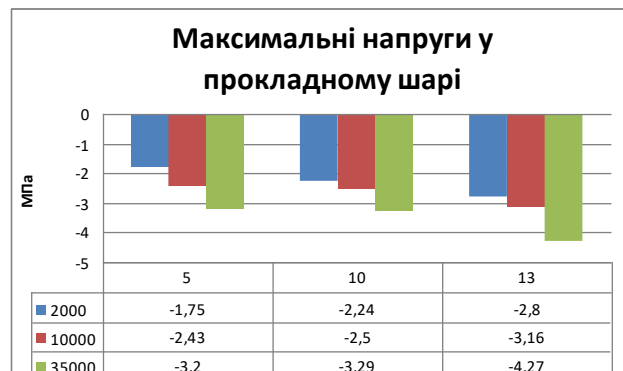
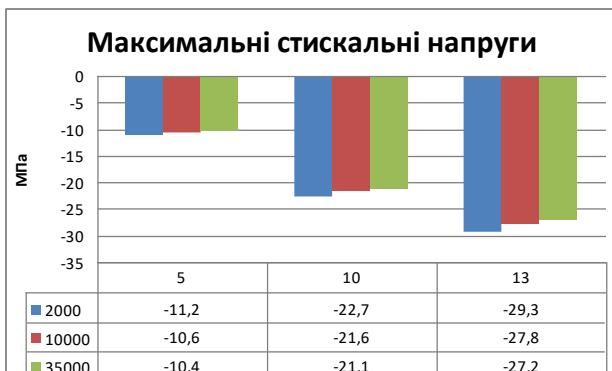


Рис. 4. Максимальні величини напруг і деформацій, які виникають в плиті БМП в залежності від модуля деформації (пружності) прокладного шару та сили затягування шпильок

2) напруження у плиті й прокладному шарі наявні як без поїзного навантаження, так і при прикладенні поїзного навантаження, при цьому відзначаються зміни величин напружень аж до зміни їх знаку:

- зміна напружень на верхній грані плити максимальна при використанні жорсткого прокладного шару з більшим модулем пружності;

- зміна напружень на нижній грані плити максимальна при використанні менш жорсткого прокладного шару з невеликим модулем пружності, проте їх величина не перевищує зміну напружень на верхній грані плити;

- зміна стискувальних напружень у плиті незначна;

- зміна напружень у прокладному шарі досягає 3 МПа, при цьому модуль деформації матеріалу має більш суттєвий вплив на зміну напружень, ніж сила затягування шпильки,

- зміна прогинів у плиті незначна, як і максимальні показники прогинів.

3) максимальні величини зміни напружень, особливо у прокладному шарі, перевищують величини міцності на розтяг, тому слід очікувати їх впливу на утворення тріщин і довговічність конструкцій безбаластного мостового полотна; це обумовлює доцільність проведення крім розрахункового експерименту динамічних випробувань прокладного шару у масштабних моделях;

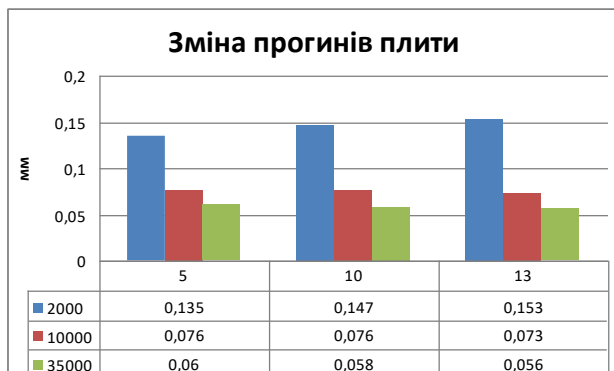
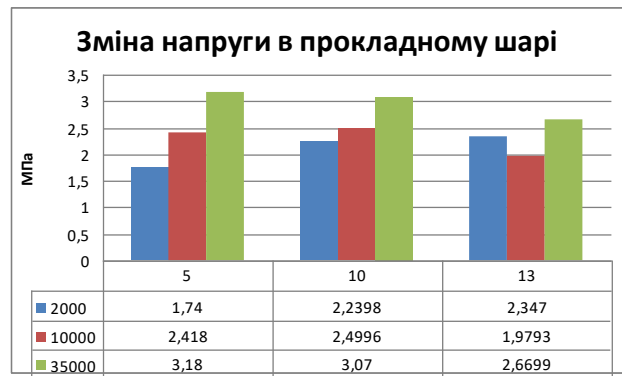
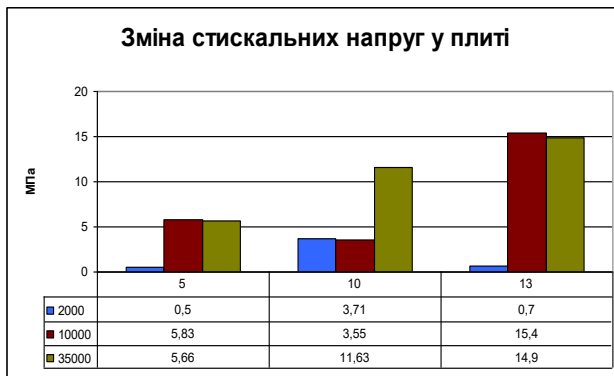
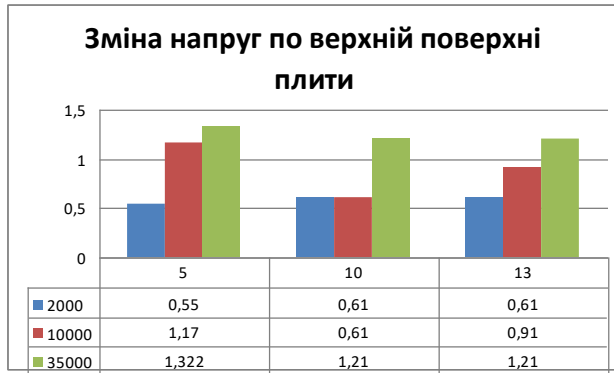


Рис. 5. Залежність зміни (різниці між навантаженим і навантаженим станом) напруг і деформацій у плиті БМП і прокладному шарі при навантаженні поїзним навантаженням та без нього в залежності від сили натягу високоміцних шпильок та деформативності прокладного шару

4) натягування шпильки доцільно здійснювати із силою, що не перевищує 10 тс;

5) використання жорсткого прокладного шару доцільно при зменшенні сили натягування шпильки менше 10 тс;

б) використання нежорсткого прокладного шару з низьким модулем пружності дозволяє зменшити величини напружень та їх зміни у плиті, але збільшити прогини плити, проте, прогини у будь-якому випадку незначні.

Список використаних джерел

1. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мірошніченко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 113-119.
2. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мирошниченко, А.Н. Плугин, А.А. Плугин, И.Г. Корниенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2009. – Вип.72. – С. 457-464.
3. Систематизація пошкоджень залізобетонних плит безбалластного мостового полотна залізничних мостів [Текст] / А.А. Плугін, С.В. Мірошніченко, О.А. Забіяка, Г.О. Линник, А.І. Бабенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 120-130.

4. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мірошніченко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 113-119.

5. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мирошниченко, А.Н. Плугин, А.А. Плугин, И.Г. Корниенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2009. – Вип. 72. – С. 457-464.

6. ЦП 0137 Інструкція з укладання та експлуатації безбалластного мостового полотна (БМП) на залізобетонних плитах [Текст]. – Харків: УкрДАЗТ, 2006.

7. ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбалластного мостового полотна [Текст]. – Харків: УкрДАЗТ, 2010.

8. Инструкция по применению и проектированию безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах на металлических пролетных строениях железнодорожных мостов [Текст]. – СПб., 2005.

9. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Українська державна академія залізничного транспорту (УкрДАЗТ). Тел./факс (057) 771 46 91.

E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Мірошніченко Сергій Валерійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДАЗТ. Тел.: (057) 730 10 64. E-mail: smirosh70@yandex.ru.

Лоб'як Олексій Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки, УкрДАЗТ. Тел.: (057) 730 10 70. E-mail: Lobiak@ukr.net.

Забіяка Олександр Анатолійович, інженер, заступник начальника центру діагностування інженерних споруд Головного управління колійного господарства, Державна адміністрація залізничного транспорту України (Укрзалізниця). Тел.: (044) 465 25 77. E-mail: zabiayaka@uz.gov.ua.

Линник Георгій Олегович, канд. техн. наук, начальник управління інженерних споруд Головного управління колійного господарства, Укрзалізниця. Тел.: (044) 465-03-54. E-mail: cpi@lotus.uz.gov.ua.

Томаш Шуба, генеральний директор АТ «Tines», Królowej Jadwigi 192, 30-212 Kraków, Польща. Тел:+48 12 296-09-50. E-mail: biuro@tines.pl.

Plugin Andrii, doct. of techn. sciences, professor, head of building materials, constructions and buildings department, Ukrainian State Academy of Railway Transport (UkrSART); Tel./fax (+38 057) 771 46 91, Tel. (+38 057) 730 10 63. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Miroshnichenko Sergii, cand. of techn. sciences, docent of building materials, constructions and buildings department, UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 64. E-mail: smirosh70@yandex.ru.

Lobiak Oleksii, cand. of techn. sciences, docent of structural mechanics and hydraulics department, UkrSART. Tel.: (057) 730 10 70. E-mail: Lobiak@ukr.net.

Zabiyaka Oleksandr, engineer, deputy head of centre for diagnosing engineering structures of the Main directorate of track facilities, State Administration of Railway Transport of Ukraine. Tel.: (+38 044) 465 25 77. E-mail: zabiayaka@uz.gov.ua.

Linnik Georgii, cand. of techn. sciences, Head of the directorate of engineering structures of Main directorate of track facilities, State Administration of Railway Transport of Ukraine. Tel.: (+38 044) 465 03 54.

E-mail: cpi@lotus.uz.gov.ua.

Tomasz Szuba General Director of TINES S. A., ul. Królowej Jadwigi 192, Kraków 30-212. Tel.+48 12 362 94 00. E-mail: biuro@tines.pl.

УДК 693.54:624.016

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ПОРУШЕНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ БЕТОНУВАННЯ ОСЕРДЯ

Д-р техн. наук О.В. Семко,
канд. техн. наук А.В. Гасенко,
асп. О.М. Гукасян

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С НАРУШЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ БЕТОНИРОВАНИЯ ЯДРА

Д-р техн. наук А.В. Семко,
канд. техн. наук А.В. Гасенко,
асп. О.М. Гукасян

RESULTS OF TESTING THE CONCRETE FILLED STEEL TUBES MEMBERS WITH VIOLATIONS OF CONCRETING CORE TECHNOLOGY

Doct. of techn. sciences A.V. Semko,
Cand. of techn. sciences A.V. Gasenko,
Postgraduate student O.M. Gukasian

Викладено результати досліджень трубобетонних елементів, виготовлених з порушеннями технології бетонування сталеві електрозварної холоднодеформованої труби важким бетоном середньої кубкової міцності 40, 35 та 15 МПа. Наведено статистичні дані про мінливість фізико-механічних характеристик трубобетонних елементів з різними видами послаблень бетонних ядер по висоті та характер їх руйнування.

Ключові слова: бетон, трубобетонні конструкції, дефект бетонування.

Выложено результаты исследований трубобетонных элементов, изготовленных с нарушениями технологии бетонирования стальной электросварной холоднодеформированной трубы тяжёлым бетоном средней прочности 40, 35 и 15 МПа. Наведены статистические данные о изменчивости физико-механических характеристик трубобетонных элементов с разными видами ослаблений бетонных ядер по всей высоте и характер их разрушения.

Ключевие слова: бетон, трубобетонные конструкции, дефект бетонирования.

The article deals with the influence of the conditions of produion composite structures on physical and mechanical properties of the core, bearing capacity, strength and deformability of tube confined concrete elements. The article is devoted the results of research the concrete filled steel tubes members made with violations of technology of concreting the steel electrical- welded cold-deformed pipe by heavy concrete with average strength 40, 35 and 15 МПа. Are imposed statistical data about the variability of the physical and mechanical characteristics of the concrete filled steel tubes members with different types of concrete cores attenuation over the entire height and nature of their destruction.

It is proved that with the hardening of concrete its swelling, but not slump is observed in the tube confined concrete the strength of the concrete increaing up to 10 ... 15 %. Concrete creep, located in the tube confined concrete element is less than that in ordinary reinforced concrete structures and has less significant impact on the variability of concrete deformation modulus with time. Also on the basis of experimental studies it is found that depending on the strength of concrete under the influence of loading the tube confined concrete elements are destroyed in different ways.

Keywords: concrete, concrete pipes construction, defect concreting.

Постановка проблеми. Протягом останніх років в Україні трубобетонні конструкції

набули широкого розповсюдження, а відповідно активно проводяться його

дослідження [7, 8]. Проте практично відсутні дослідження впливу технології бетонування осердя трубобетонних елементів на загальну несучу здатність конструкції. Також не досліджений розрахунок трубобетонних елементів з осердям, що має різні фізико-механічні властивості по довжині [5]. Зважаючи на це, доцільно розглянути дослідження впливу технології бетонування трубобетонних елементів з ослабленим осердям [4].

Формулювання цілі роботи.

Експериментальні дослідження впливу відхилень умов виготовлення трубобетонних конструкцій та зміни фізико-механічних характеристик бетону в осерді на їх несучу здатність, міцність та деформативність.

Аналіз останніх досліджень. Міцність бетону залежить від багатьох технологічних факторів таких як: водоцементне відношення (В/Ц), марка цементу, умов і терміну твердіння. До інших факторів, що також (хоча і не так виразно) впливають на міцність бетону, відносяться вид цементу, якість заповнювачів, умови приготування бетонної суміші (підготовки матеріалів, дозування та змішування), її транспортування і укладання [4, 6]. На сучасних заводах цемент, воду і добавки дозують з точністю $\pm 1\%$, а заповнювачі $\pm 2\%$. Але, на практиці трапляються більші відхилення. В роботах [7] встановлено, що тривале перемішування бетонної суміші в певних оптимальних межах збільшує міцність бетону.

Попередньо проведений аналіз мінливості фізико-механічних властивостей матеріалів, з яких складаються сталезалізобетонні конструкції [8, 9, 10], свідчить, що серед інших складових найбільшу неоднорідність властивостей має бетон. Поряд із цим внаслідок притаманних особливостей твердіння та напружено-деформованого стану, що створюється в бетоні сталезалізобетонних конструкцій, його міцність та деформативність можуть суттєво змінюватись. Виявлення та врахування цих закономірностей потребує особливої уваги.

Численними дослідженнями [1, 2, 4, 6] встановлено, що ізоляція від зовнішнього середовища бетонної суміші в трубі сприятливо впливає на міцність бетону. Замість очікуваної усадки відбувається набухання бетону та його розширення, при цьому міцність бетону

підвищується на 10...15%, яке зберігається протягом багатьох років і створює сприятливі умови для роботи під навантаженням. Повзучість бетону, що знаходиться в трубобетонному елементі, менша, ніж у звичайних залізобетонних конструкціях і не настільки суттєво впливає на мінливість модуля деформацій бетону залежно від часу. Поміж тим, ускладнені умови бетонування (укладання бетонної суміші в обмежений простір – об'єму, що характерно саме для трубобетонних конструкцій), суттєво впливають на загальну несучу здатність таких конструкцій. Всі ці фактори зумовлюють виникнення можливої неоднорідності бетонного ядра трубобетонних елементів по об'єму конструктивного елемента, що на сьогодні є недостатньо дослідженим.

Виявлення не розв'язаних раніше частин проблеми. Основною задачею експериментальних досліджень є порівняння даних отриманих в результаті проведення ряду експериментальних досліджень впливу технології бетонування трубобетонних елементів з різними типами, найбільш поширених дефектів таких як: неоднорідність міцності бетону по висоті зразка та наявність порожнин заповнених заповнювачем.

Виклад основного матеріалу. Програма експерименту дозволить класифікувати можливі дефекти бетонного осердя за ступенем їх впливу на несучу здатність та деформативність трубобетонних конструкцій, а також слугувати основою для подальшого розроблення методики розрахунку та оцінювання технічного стану такого типу конструктивних елементів, а також надати рекомендації щодо оптимізації технології виготовлення трубобетону.

Прийнята програма експериментальних досліджень передбачала випробування на стиск двох серій коротких трубобетонних елементів (зі співвідношенням розмірів $l = 4D$), що виготовлені із сталеві електрозварної холоднодеформованої труби (ГОСТ 10707-80) зовнішнім діаметром $D = 108$ мм, товщиною стінки $t = 3,5$ мм, що мають різноманітні послаблення бетонних осердь по висоті зразка. Зразки замарковані наступним чином: ТБк (з неоднорідною маркою бетону по всій висоті) та ТБс (з частково заповненими по висоті дрібним та крупним заповнювачем). Під час проведення експерименту варійованими параметрами

служували склад бетону (на трьох рівнях: $f_{cm,cube} = 15, 35$ та 40 МПа) та наявність штучно створених послаблень (дефектів бетонування) бетонного ядра у вигляді дрібного заповнювача – кварцового піску модулем крупності $M_k = 1,03$ і крупного заповнювача – щебеню фракції від 5 до 10 мм.

Таким чином, для вирішення поставленої задачі – отримання даних щодо впливу технології бетонування – було випробувано 22 експериментальних зразки, з яких у 16 зразках досліджувалися неоднорідності міцності осердя. Характеристики зразків занесені до табл. 1, а саме:

серія 1: труботонні зразки, загальною кількістю 4 шт., що виготовлялися бетонуванням труб-оболонки по всій висоті одним класом бетону (зразки ТБк-1, ТБк-2, ТБс-1 і ТБс-2);

серія 2: труботонні зразки, загальною кількістю 6 шт., з них 2 шт. серії ТБк (ТБк-5 і ТБк-6) забетоновані різними бетонами різної міцності на $2/4l$ по середині та з торців на $1/2l$ та 4 шт. серії ТБс (ТБс-3, ТБс-4, ТБс-7 і ТБс-8) що виготовлялися із відрізків сталевих труб заповнених щебенем та піском на $2/4l$ в середині зразка та бетоном з торців;

серія 3: труботонні зразки, загальною кількістю 6 шт., з яких 4 шт. (ТБк-7, ТБк-8, ТБк-9 і ТБк-10), що виготовлялися бетонуванням труб-оболонки бетоном різної міцності на $1/3l$ висоти зразка та 4 шт. (ТБс-5, ТБс-6, ТБс-9 і ТБс-10) на $1/3l$ заповнених крупним та дрібним заповнювачем по середині та бетоном із торців на $1/3l$ висоти;

серія 4: труботонні елементи, загальною кількістю 2 шт. (ТБк-3 і ТБк-4), що виготовлялися бетонуванням труб-оболонки бетоном різної міцності на половину висоти зразка;

серія 5: зразки, загальною кількістю 2 шт. (ТБк-11 і ТБс-11), що виготовлялися із відрізків сталевих труб без заповнення внутрішнього простору для визначення фізико-механічних характеристик сталевих оболонок.

Під час проведення випробувань дослідних зразків фіксувалися два характерних стани:

– межа текучості – досягнення в металі труби-оболонки напружень текучості, які відповідають навантаженню при границі текучості N_y . Цей стан характеризується зростанням відносних деформацій більше, ніж на $(130...150) \times 10^{-5}$ одиниць та появою характерних ліній Людерса-Чернова на поверхні металу зразка;

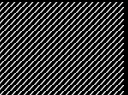








– межа міцності (руйнування) зразка. Характеризується значними деформаціями та втратою місцевої стійкості сталевих оболонок зразка, що відповідає максимальному навантаженню при повній втраті несучої здатності N_u . Значення зусиль N_y , N_u , фотографії зразків після випробувань та характер руйнування дослідних зразків наведені в табл. 2.

В результаті проведення випробувань було встановлено ступінь та тип пошкоджень осердя труботонних зразків, що впливає на характер їх руйнування. Так, зразки зі змінною міцністю бетону по висоті мали більш пластичний характер руйнування внаслідок втрати загальної та місцевої стійкості.

Аналізуючи отримані дані (див. табл. 2), бачимо, що максимальні значення несучої здатності N_u на 22...34% перевищували значення навантажень при границі текучості N_y . Несуча здатність труботонних зразків без ослаблення бетонного осердя більша за зразки з ослабленням на 35...45 %.

Висновки. У статті наведені результати експериментальних досліджень труботонних елементів з штучно невитриманою технологією бетонування ядра. Проаналізовано вплив типу та параметрів технологічних дефектів на характер роботи труботонних зразків, а також визначені мінімальні параметри пошкоджень, наявність яких практично не впливає на характер роботи та несучу здатність труботонного елемента вцілому. Наявність в середній частині зразка бетону нижчої міцності чи сипучого заповнювача на 10 – 35% знижує несучу здатність зразка у порівнянні із зразком без послаблення.

Схема бетонування трубобетонних елементів з різними ославленнями ядра

Номер серії		Шифр зразка і заповнення ядра по висоті			
серія 1		ТБк-1	ТБк-2	ТБс-1	ТБс-2
висота a/l		бетон $f_{cm,cube} = 35$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 15$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 40$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 40$ МПа
серія 2		ТБк-5	ТБк-6	ТБс-3, ТБс-4	ТБс-7, ТБс-8
висота l	$1/4 \cdot l$		бетон $f_{cm,cube} = 15$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 35$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 40$ МПа
	$2/4 \cdot l$		бетон $f_{cm,cube} = 35$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 15$ МПа	щебінь фракції 5 до 10 мм
	$1/4 \cdot l$		бетон $f_{cm,cube} = 15$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 35$ МПа	пісок $M_k = 1,03$
серія 3		ТБк-7, ТБк-8	ТБк-9, ТБк-10	ТБс-5, ТБс-6	ТБс-9, ТБс-10
висота l	$1/3 \cdot l$		бетон $f_{cm,cube} = 35$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 15$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 40$ МПа
	$1/3 \cdot l$		бетон $f_{cm,cube} = 15$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 35$ МПа	щебінь фракції 5 до 10 мм
	$1/3 \cdot l$		бетон $f_{cm,cube} = 35$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 15$ МПа	бетон $f_{cm,cube} = 40$ МПа
серія 4		ТБк-3	ТБк-4	серія 5	ТБк-11, ТБс-11
висота l	$1/2 \cdot l$		бетон $f_{cm,cube} = 35$ МПа	висота l	заповнення відсутнє
	$1/2 \cdot l$		бетон $f_{cm,cube} = 15$ МПа		

Список використаних джерел

1. Ильясевич, С.А. Стальные конструкции из труб. Экспериментально-теоретические исследования [Текст] / С.А. Ильясевич. – М.: Стройиздат, 1973. – 191 с.
2. Назаров, О.В. Напряжено-деформований стан трубобетонних елементів при місцевих силових впливах [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук. – К., 2004. – 20 с.
3. Кикин, А.И. Конструкции из стальных труб заполненных бетоном [Текст] / А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.А. Труль. – М.: Стройиздат, 1974. – 145 с.
4. Комар, А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий [Текст] / А.Г. Комар. – М.: Стройиздат, 1984. – 267 с.
5. Семко, О.В. Випробування трубобетонних елементів із ослабленим осердям [Текст] / О.В. Семко, А.В. Гасенко, О.Є. Куценко // Дороги і мости: зб. наук. праць. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – Вип. 7, в 2-х т., 2 т. – С. 162–168.
6. Семко, О.В. Вплив технології бетонування осердя трубобетону на його міцність [Текст] / О.В. Семко, О.М. Гукасян, О.П. Воскобійник // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2013. – Вип. 26. – С. 200–207.
7. Семко, О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій [Текст]: монографія / О.В. Семко. – К.: Сталь, 2004. – 316 с.
8. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетонні конструкції [Текст]: навч. посібник / Л.І. Стороженко, О.В.Семко. – Полтава: Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка, 2001. – 43 с.
9. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетонні конструкції [Текст]: навч. посібник / Л.І. Стороженко, О.В.Семко, В.Ф. Пенц. – Полтава: Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка, 2005. – 181 с.
10. Стороженко, Л.І. Загальні відомості про трубобетон [Текст] / Л.І. Стороженко // Сталезалізобетон: зб. наук. праць; за ред. д.т.н., проф. Стороженка Л.І. – Полтава: Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка, 2006. – С. 11–15.

Семко Олександр Володимирович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри архітектури та міського будівництва, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки за 2012 рік, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Гасенко Антон Васильович, канд. техн. наук, доцент, кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Гукасян Ольга Мгерівна, аспірант кафедри архітектури та міського будівництва, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Semko Alexander, doctor of technical science, professor, head of Department Architecture and Urban Construction, Laureate of 2012 State prize of Ukraine in science and engineering, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university.

Gasenko Anton, candidate of technical science, associate professor, department of reinforced concrete and stone constructions and strength of materials, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university.

Gukasian Olga, postgraduate of department architecture and urban construction, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university.

УДК 624.012:536.4

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАЛЕБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ТРЕХСТОРОННЕМ НАГРЕВЕ

Канд. техн. наук Г.Л. Ватуля, ассист. А.В. Игнатенко

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК В УМОВАХ ТРИСТОРОННЬОГО НАГРІВУ

Канд. техн. наук Г.Л. Ватуля, асист. А.В. Ігнатенко

NUMERICAL SIMULATION OF STEEL-CONCRETE BEAM'S WORK IN CONDITIONS OF THREE-SIDED HEATING

Cand. of techn. sciences G.L. Vatulia, assistant A.V. Ignatenko

В работе приведены результаты численного моделирования балок с внешним листовым армированием, работающих в условиях трехстороннего нагрева. Предложены трехмерные модели для оценки огнестойкости исследуемых конструкций.

Ключевые слова: *сталебетонная балка, огнестойкость конструкции, предел огнестойкости, стандартный температурный режим пожара, предельное состояние, математическая модель, метод конечных элементов.*

У статті наведено результати чисельного моделювання балок із зовнішнім листовим армуванням, що працюють в умовах трьохстороннього нагріву. Запропоновано тримірні моделі для оцінки вогнестійкості конструкцій, що досліджуються.

Ключові слова: *сталебетонна балка, вогнестійкість конструкції, границя вогнестійкості, стандартний температурний режим пожегу, граничний стан, математична модель, метод кінцевих елементів.*

The authors presented the numerical simulation results of beams with external steel sheet reinforcement working in conditions of three-sided heating. The three-dimensional models for fire resistance definition of examined beams were proposed using ANSYS software package. It's assumed standard temperature range of fire. The authors have examined beams with and without flame-retardant coats. The Conlit SL150 Rockwool mineral wool coat, SP-A2 Piro-Safe FlamoPlast intumescent coating and Natresk coating are assumed as fire protection. All investigations were done in order to provide the demanded range of fire resistance rating. Cause and fire scenario are not considered.

Verification of proposed finite element models and calculation was performed in comparison of obtained results with experimental data of steel-concrete beams destruction under the mechanical load.

Keywords: *Steel-concrete beam, structure fire resistance, fire-resistance rating, fire standard temperature conditions, limiting state, mathematical model, finite-element method.*

Введение. Использование современных расчетных комплексов в практике проектирования несущих и ограждающих конструкций является общепринятым при оценке их напряженно-деформированного и предельного состояния. В предложенной работе с помощью программного комплекса ANSYS, проведено численное моделирование работы сталебетонной балки с внешним листовым армированием, работающей в условиях трехстороннего нагрева.

Задача определения огнестойкости рассматриваемых конструкций решается с использованием математических моделей трещинообразования согласно рабочей теории прочности, модели пластической деформации и пластического упрочнения сжатой зоны бетона и растяжения стальных элементов, размера и расположения конечных элементов (КЭ), а также граничных условий с учетом симметрии.

Для определения вносимой погрешности, при использовании рабочих математических

моделей, их адекватность проверяется путем сравнения результатов расчета с экспериментальными данными по разрушению подобных конструкций при действии только механической нагрузки. Методика расчета разработана в соответствии с существующей методической и нормативной базой для определения пределов огнестойкости железобетонных и сталебетонных конструкций [1-3].

Целью исследований является создание трехмерных компьютерных моделей, которые учитывают основные условия нагружения и опирания, а также нелинейные зависимости “напряжения-деформации” для бетона и внешнего армирования, для оценки огнестойкости рассматриваемых конструкций сталебетонных балок.

Основной материал исследований. Первоначально рассмотрим условия работы балок только при механическом воздействии. В

качестве разрешающих уравнений НДС сталебетона используем метод конечных элементов (МКЭ). Вид матриц разрешающих уравнений МКЭ определяется формой и свойствами КЭ [4,5].

Для моделирования бетона используется восьми узловой гексаэдрический КЭ SOLID65, а для арматуры - двух узловой стержневой КЭ лагранжевого типа LINK8 (рис. 1). В соответствии с системой констант для КЭ SOLID65 можно задать в нем наличие арматуры в виде ортотропии упругопластических и прочностных свойств, при модификации материальных матриц. Среди параметров задаются углы φ и θ ориентации арматуры в глобальной системе координат, номер материала арматурной стали, а также объемное соотношение арматурных включений и бетона.

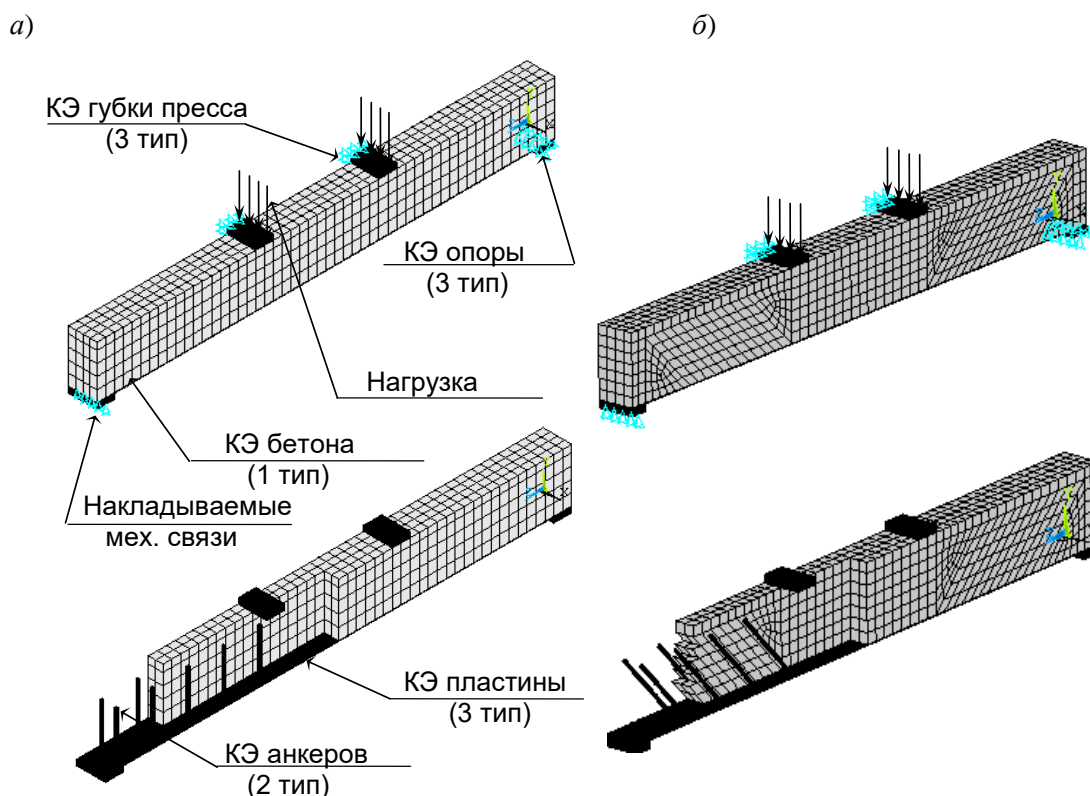


Рис. 1. Конечно-элементные схемы балки №1 с анкерами под углом 90° (а) и балки №2 с анкерами под углом 45° (б)

Стержневой КЭ LINK8 используется для моделирования анкеров стального листа. Данный тип КЭ является очень удобным,

поскольку может быть сгенерирован между узлами, причем единственным геометрическим его параметром является площадь поперечного

сечения. Данный элемент воспринимает любой тип нагрузок и допускает пластические деформации.

При моделировании внешнего армирования был использован 3 тип КЭ SOLID45. Он является универсальным КЭ для любого материала, обладающего упругопластическими свойствами. При моделировании стального листа был использован объемный КЭ, в силу того, что он является менее требовательным в плане задания геометрических и деформационных констант, и, кроме этого, обеспечивает лучшую сходимость вычислительного процесса.

Для исключения преждевременного растрескивания и разрушения КЭ бетона, наложение механических связей и сосредоточенных сил, осуществлялось к дополнительным

элементам (губкам пресси и опорным поверхностям), которые имеют определенную плоскость распределения нагрузки. Для исключения появления перемещений в поперечном направлении опорных поверхностей и губок пресси накладывались дополнительные связи в поперечном направлении. Механические свойства материалов принимались в соответствии с [6].

Для проверки адекватности предложенных моделей выполнялся анализ результатов расчета и экспериментальных данных с использованием критерия Фишера. На рис. 2 показаны графики максимального прогиба сталебетонных балок №1 и №2.

В табл. 1. представлены разрушающие нагрузки, полученные расчетным путем и экспериментально.

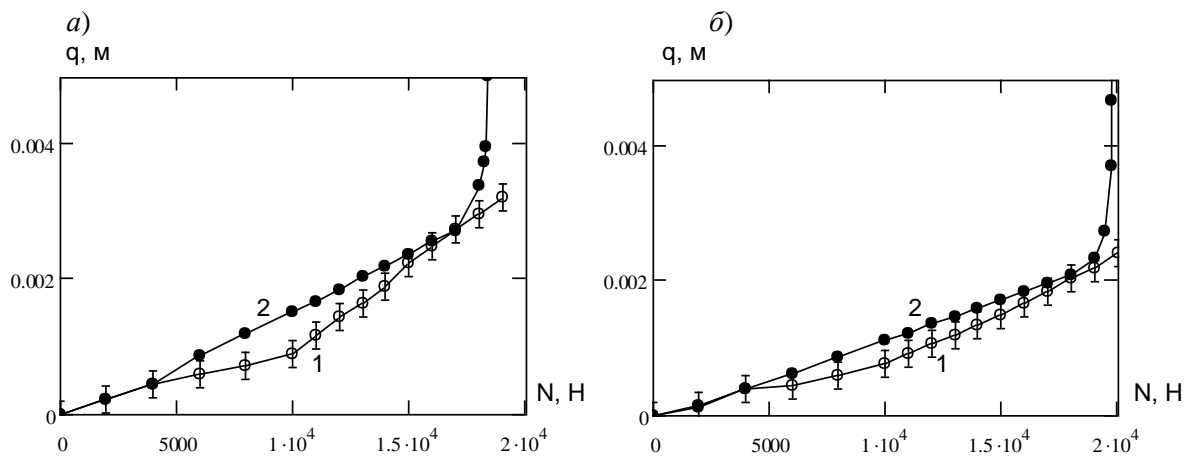


Рис. 2. Графики максимального прогиба балок, полученные экспериментально (1) и расчетным путем (2): а – балка № 1; б – балка №2

Таблица 1

Значения разрушающих нагрузок

Образец	Экспериментальное значение разрушающей нагрузки, кН	Расчетное значение разрушающей нагрузки, кН	Абсолютное отклонение, кН	Погрешность, %
Б1	19	18.5	0.5	2.8
Б2	20	19.25	0.75	3.8

Рассмотрим теплотехническую задачу. Как конечный элемент, моделирующий материал фрагмента, из номенклатуры КЭ выбран термический элемент SOLID70. Это термальный твердотельный шестигранный призматический элемент с восьмью узлами.

На созданную конечно-элементную модель наложены конвекционные и

радиационные граничные условия. Радиационные условия накладываются посредством образования сетки КЭ с поверхностным эффектом радиационного теплообмена. Для этого из библиотеки КЭ выбран элемент SURF152. Теплофизические характеристики материалов, используемые для расчета, приняты в соответствии с [1]. При этом коэффициент теплопроводности

описується степенним полиномом, а удельная теплоемкость кусочно-линейной функцией.

Граничные условия на обогреваемой и необогреваемой стороне соответствуют граничным условиям III рода и при этом учитывают конвективный и лучистый теплообмен. В воздушной прослойке осуществляется только лучистый теплообмен. Параметры теплообмена взяты в соответствии с [7].

После расчета при механическом воздействии к узлам КЭ балки прикладывались температуры, определенные при решении теплотехнической задачи. Особенностью приложения температурной нагрузки является несовпадение сеток КЭ-моделей для решения тепловой и прочностной задач. Для приложения температур в соответствующих узловых точках была использована линейная интерполяция. При этом она является плоской в условных сечениях КЭ-схемы.

Отдельной задачей проведенных исследований был подбор возможных вариантов огнезащитных покрытий для обеспечения требуемых пределов огнестойкости конструкции [8,9].

Выводы. Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных свидетельствуют об адекватности предложенных математических моделей НДС сталебетонной балки. Поля распределений напряжений, деформаций и трещин соответствуют физике процесса, происходящего при механических испытаниях балки на изгиб. В результате расчета балки без огнезащиты показано, что может быть обеспечен предел огнестойкости R15. Использование предложенных огнезащитных покрытий позволяет обеспечить предел огнестойкости R60.

Список использованной литературы

1. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.
2. Милованов, А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций [Текст] / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
3. Бартелеми, Б. Огнестойкость строительных конструкций [Текст] / Б. Бартелеми, Ж. Крюппа. – М.: Стройиздат, 1985. – 216 с.
4. ANSYS 9.0 Manual Set, ANSYS Inc., Southpoint, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA.
5. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в механике железобетона [Текст] / С.Ф. Клованич, И.Н. Мироненко. – Одесса: ОНМУ, 2007. – 110 с.
6. Ковалев, М.А. Напряженно-деформированное и граничное состояние сталебетонных балок при кратковременном статическом нагружении [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / М.А. Ковалев. – Харьков, 2008. – 184 с.
7. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. ДБН В.1.2-7-2008 [Текст]. – К.: Видавництво ДП “Укрархбудінформ”, 2008. – 52 с.
8. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. ДБН В.1.1-7-2002 [Текст]. – К.: Видавництво “Лібра”, 2003. – 87 с.
9. Vatulia G. Carrying capacity definition of steel-concrete beams with external reinforcement under the fire impact / Vatulia G., Orel E., Kovalov M. // Applied Mechanics and Materials – Vol. 617 (2014) – С.167-170.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.А. Плугин

Ватуля Гліб Леонідович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівельної механіки і гідравлики УкрДАЗТ. Тел. 057 -730-1070 (10-70).

Ігнатенко Андрій Васильович, асистент кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Тел. 057 -730-1070 (10-70).

Vatulia Glib Leonidovich, PhD, Associated Professor, Head of Building Mechanics and Hydraulics Department. Tel. 057 -730-1070 (10-70).

Ignatenko Andrii Vasilevich, Assistant of Bridge, Structures and Building Mechanics Department. Kharkiv National Road University. Tel. 057 -730-1070 (10-70).

УДК 624.016

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ СТАЛЕЗАЛИЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ИХ РОЗРАХУНКУ ЗГІДНО З ВИМОГАМИ ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010

Кандидати техн. наук А.В. Гасенко, С.А. Гудзь, В.В. Дарієнко

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ИХ РАСЧЕТЕ СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010

Кандидаты техн. наук А.В. Гасенко, С.А. Гудзь, В.В. Дариенко

OPTIMIZATION OF DIMENSIONS OF THE COMPOSITE STEEL CONCRETE BEAMS IN CALCULATING ACCORDING TO THE REQUIREMENTS OF DSTU-N B EN 1994-1-1:2010

Cand. of techn. sciences A. Gasenko, S. Gudz, V. Darienko

У статті описано варіант виявлення запасу несучої здатності сталезалізобетонного перекриття при проведенні розрахунку згідно з вимогами ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010 за рахунок урахування сумісної роботи монолітної залізобетонної плити перекриття, що влаштована по незнімному сталевому профільованому настилу, та сталеві балки, які з'єднані за допомогою приварювання шпильок за технологією «Нельсон».

Ключові слова: сталеві балки, анкерні шпильки, бетон, арматура, плити перекриття.

В статье описан вариант определения запаса несущей способности сталежелезобетонного перекрытия при проведении его расчета согласно требованиям ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010 при учете совместной работы монолитной железобетонной плиты перекрытия, которая устраивается по неизвлекаемому стальному профнастилу, и стальной балки, которые соединены с помощью приваривания шпилек по технологии «Нельсон».

Ключевые слова: стальные балки, анкерные шпильки, бетон, арматура, плиты перекрытия.

The article is described of the national annex for DSTU-N B EN 1994-1-1:2010 four classes cross-sections of composite steel concrete slab, depending on the aspect ratio of the compression flange or steel beam, the provisions of the zero line, the degree of reinforcement. The main stages of the simplified calculation of the bearing capacity of such beams. Is described the variant of definition the bearing capacity of the composite steel concrete slab reserve as an example of replacing the secondary beams of the main project, made in the form of a welded I-beam 398×6×200×12 mm on the I-beam №36 of hot-rolled profile with the collaboration of monolithic reinforced concrete slabs with a thickness of 150 mm, arranged by a nonremovable steel professional flooring №57-0,7 which is connected to the steel beam by welding the studs type KB 16×125, welded by the technology «Nelson».

Keywords: steel beams, anchors studs, concrete, armature, slabs.

Вступ. Під час нового будівництва, а також капітального ремонту будівель громадського чи промислового призначення, що мають значні прольоти перекриття, розрахованого на великі навантаження, все частіше застосовуються сталезалізобетонні статично невизначні (нерозрізні) балки [6, 7, 11]. Зусилля розтягу в таких балках сприймає сталеві частина, і виключається можливість місцевої втрати її стійкості [2]. Зусилля стиску сприймає бетонна частина. Зменшити витрати на спорудження такого типу конструкцій

можна шляхом урахування перерозподілів зусиль між матеріалами комбінованих елементів (між сталлю та бетоном), таким чином зменшуючи загальні поперечні перерізи елементів [4, 10].

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Оскільки до складу стиснутого пояса сталезалізобетонної балки входить потужна залізобетонна плита, момент інерції об'єднаного перерізу різко збільшується (а

отже, збільшується жорсткість балки і зменшуються прогини балки) [7]. Тому сталезалізобетонні балки можуть влаштовуватися значно нижчими від сталевих, при одночасній економії сталі. Сталезалізобетонні балки досить економічні у випадках, коли залізобетонна плита є обов'язковим елементом конструкції. Об'єднання плити і балок дає істотну економію в балкових клітках робочих площадок [10]. Актуальність роботи обґрунтована всезростаючим впровадженням сталезалізобетонних конструкцій у практику будівництва в Україні при відсутності відповідних державних будівельних норм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [5, 8] показав, що важливим залишається питання вибору оптимальних розмірів та конструкції елементів поєднання двох матеріалів для сумісної роботи. Застосування з'єднувальних анкерів недостатньої міцності чи малої жорсткості зумовлює взаємне проковзування сталеві та залізобетонної частин перерізу, зменшує несучу здатність і збільшує прогини конструкції [9]. На загальну несучу здатність і деформативність сталезалізобетонної балки також впливають схильність до втрати місцевої та загальної стійкості сталеві балки, історія навантаження [7].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Не повністю розкритим залишилося питання роботи конструкції анкерів для забезпечення сумісної роботи бетону та сталі, особливо у місцях дії позитивного згинального моменту в бетоні, де останній працює на розтяг.

Метою роботи є опис можливості зменшення поперечних перерізів складових композитного сталезалізобетонного перекриття за рахунок врахування сумісної їх роботи згідно з вимогами ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010.

Основний матеріал і результати. В європейських нормах EN 1994-1-1 Eurocode 4 [10] та адаптованих згідно з [1] для України національних додатків ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010 (Єврокод 4) [4] розрізняють 4 класи поперечних перерізів залежно від співвідношення розмірів стиснутої полицки або стінки сталеві балки, положення нульової лінії, ступеня армування. Клас поперечного перерізу зумовлює метод визначення внутрішніх зусиль і несучої здатності поперечного перерізу. Граничні значення для

класифікації поперечних перерізів сталезалізобетонних балок наведені на рис. 1 [3].

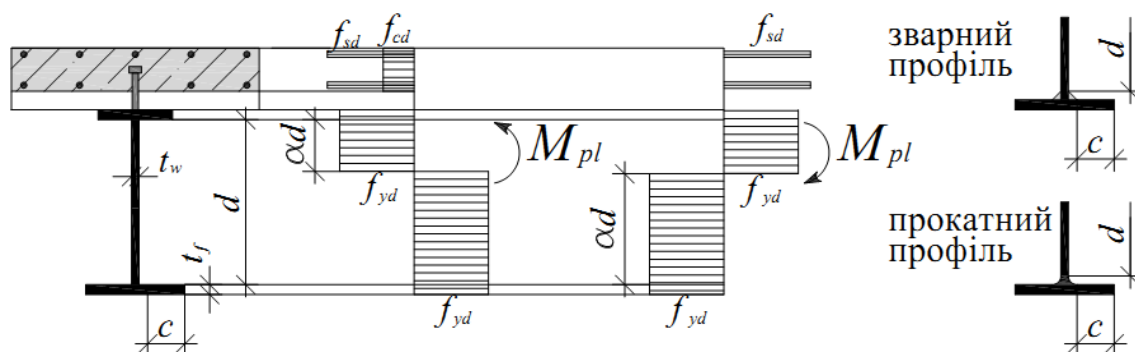
Для поперечних перерізів класу 1 (пластичних перерізів) можливий повний перерозподіл внутрішніх зусиль системи з утворенням пластичного шарніру. Балки з компактними (щільними) поперечними перерізами класу 2 також можуть розвивати повну пластичну несучу здатність. Але обертання пластичного шарніру обмежується місцевим випучуванням і/або руйнуванням бетону. При визначенні внутрішніх зусиль потрібно враховувати перерозподіл згинального моменту внаслідок утворення тріщин і часткової пластифікації перед появою першого пластичного шарніру. При поперечних перерізах класу 3 (напівкомпактних перерізах) в стиснутій полицці сталеві балки можливе тільки пружне використання перерізу аж до межі плинності сталі. Перерозподіл моменту можливий лише через утворення тріщин в бетоні та через текучість розтягнутої сталеві частини. Гнучкі поперечні перерізи класу 4 не використовуються до межі плинності сталі через локальні випинання стиснутої сталеві частини. Перерозподіл моменту викликається лише утворенням тріщин в бетоні.

Розглянемо основні етапи спрощеного розрахунку несучої здатності сталезалізобетонних балок і виділимо ті моменти, на які потрібно звертати особливу увагу. Обмежимося найпоширенішими класами поперечних перерізів, для котрих можливе визначення несучої здатності як пластичного згинального моменту за методом граничної рівноваги (класи 1 і 2).

Розрахунок на обмеження деформацій потребує значних затрат часу, оскільки визначальний деформований стан повинен розраховуватись багатократно (ітераційно). Тому для практичного розрахунку роблять деякі спрощення. Для пластичних і компактних поперечних перерізів визначається пластичний момент за методом граничної рівноваги, для напівкомпактних і гнучких – пружний, до того ж для гнучких поперечних перерізів слід враховувати втрату місцевої стійкості внаслідок дії нормальних напружень. Якщо переріз сприймає одночасно згинальний момент і поперечну силу, то при їх взаємодії слід додатково звертати увагу на вплив втрати місцевої стійкості від зсуву. При розрахунку пластичного моменту опору приймаються такі

допущення і передумови: в поперечному перерізі сталевій балці діють напруження розтягу і/або стиску з розрахунковим значенням межі плинності конструкційної сталі; в арматурі в області робочої ширини плити діють напруження розтягу і/або стиску з розрахунковим значенням межі плинності; в стиснутій зоні бетонного поперечного перерізу між пластичною нульовою лінією і крайнім волокном бетонного перерізу приймається

розрахункове значення міцності бетону на стиск. Формула для визначення (повно) пластичного моменту вибирається залежно від положення пластичної нульової лінії, котра може розташовуватися в залізобетонній плиті вище або нижче другого ряду арматурних стрижнів, який потрібен для сприйняття зусиль розтягу при роботі залізобетонної плити на згин; в поличці сталевій балки; в стінці сталевій балки (табл. 1).



Клас 1	Клас 2
<p>Стінка:</p> $\frac{d}{t_w} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha} \text{ для } \alpha \leq 0,5;$ $\frac{d}{t_w} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} \text{ для } \alpha > 0,5.$	<p>Стінка:</p> $\frac{d}{t_w} \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha} \text{ для } \alpha \leq 0,5;$ $\frac{d}{t_w} \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1} \text{ для } \alpha > 0,5.$
<p>Поличка:</p> $c/t_f \leq 9\varepsilon \text{ для зварного профілю};$ $c/t_f \leq 10\varepsilon \text{ для прокатного профілю}.$	<p>Поличка:</p> $c/t_f \leq 10\varepsilon \text{ для зварного профілю};$ $c/t_f \leq 11\varepsilon \text{ для прокатного профілю}.$
$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk} [\text{МПа}]}}$	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk} [\text{МПа}]}}$

Рис. 1. Класифікація поперечних перерізів сталезалізобетонних балок для поперечних перерізів класів 1 і 2 за EN 1994-1-1 [4, 10]

Позначення в табл. 1:

$$N_{pl,a,Rd} = f_{yd} A_a;$$

$$N_{f1} = 2f_{yd} b_f (z_{pl} - h_c);$$

$$N_w = 2f_{yd} t_w (z_{pl} - h_c - t_f);$$

$$N_{cd} = 0,85 f_{cd} b_{eff} (h_c - h_p);$$

$$N_f = 2f_{yd} b_f t_f;$$

$$N_{s,i} = f_{sd} A_{s,i}.$$

Одним із проектів, у якому отримано дійсне зниження вартості будівництва за рахунок зменшення поперечного перерізу конструктивних елементів, є будівництво

торгово-офісного комплексу з паркінгами у м. Київ. За результатами розрахунку перевірена можливість заміни другорядної балки основного проекту із врахуванням сумісної роботи монолітної залізобетонної плити

перекрыття, що влаштована по незнімному сталевому профільованому настилу Н57-0,7, з'єднаному зі сталеву балкою за допомогою приварювання шпильок типу KB 16×125 за технологією «Нельсон» (Nelson®).

Таблиця 1

Визначення розрахункового значення несучої здатності сталезалізобетонної балки за згинальним моментом у пластичній стадії

	Положення z_{pl} :	Несуча здатність при додатному згинальному моменті:
A	$z_{pl} = \frac{N_{pl,a,Rd} - N_{s,1} \pm N_{s,2}}{0,85f_{cd}b_{eff}}$	$M_{pl,Rd} = N_{pl,a,Rd} \left(z_a - \frac{z_{pl}}{2} \right) + N_{s,1} \frac{z_{pl} - 2z_{s,1}}{2} \pm N_{s,2} \frac{2z_{s,2} - z_{pl}}{2}$
Б	$z_{pl} = h_c + \frac{N_{pl,a,Rd} - \sum N_{s,i} - N_{cd}}{2f_{yd}b_f}$	$M_{pl,Rd} = N_{pl,a,Rd} \left(z_a - \frac{h_c - h_p}{2} \right) + \sum N_{s,i} \frac{h_c - h_p - 2z_{s,i}}{2} - N_{f1} \frac{z_{pl} + h_p}{2}$
В	$z_{pl} = h_c + t_f + \frac{N_{pl,a,Rd} - \sum N_{s,i} - N_{cd} - N_f}{2f_{yd}t_w}$	$M_{pl,Rd} = N_{pl,a,Rd} \left(z_a - \frac{h_c - h_p}{2} \right) + \sum N_{s,i} \frac{h_c - h_p - 2z_{s,i}}{2} - N_f \frac{t_f + h_c + h_p}{2} - N_w \frac{z_{pl} + t_f + h_p}{2}$

Компанія Nelson® Bolzenschweiss – Technik GmbH & Co.KG (Німеччина), заснована ще в 1936 році, є визнаним лідером світового ринку в технологіях виготовлення і приварювання елементів кріплення. На сьогодні вона включає завод з виробництва елементів кріплення і керамічних кілець більше ніж 400 типорозмірів, у тому числі деталей із зовнішнім різьбленням, анкерів, що працюють на зріз, підвісок для труб і кабелів, зварних шпильок і бобишок, а також устаткування для їх приварювання.

Процес приварювання анкера складається з декількох етапів і здійснюється в автоматичному режимі, що унеможливило вплив людського чинника на якість

приварювання. Електрична дуга – дуговий розряд між шпилькою й основною заготовки – створює з'єднання розплавленого металу, обмеженого керамічним запобіжним кільцем, яке виконує роль флюсу та дозволяє шпильці автоматично занурюватися в лунку. Технологія «Нельсон» дозволяє об'єднати сталеві та залізобетонні конструкції в єдину сталезалізобетонну, забезпечивши їх спільну роботу, і тим самим знизити витрату матеріалів до 20% [5].

У початковому варіанті основного проекту торгово-офісного комплексу другорядною балкою перекрыття є зварний двотавр розміром 398×6×200×12 мм, показаний на рис. 2.

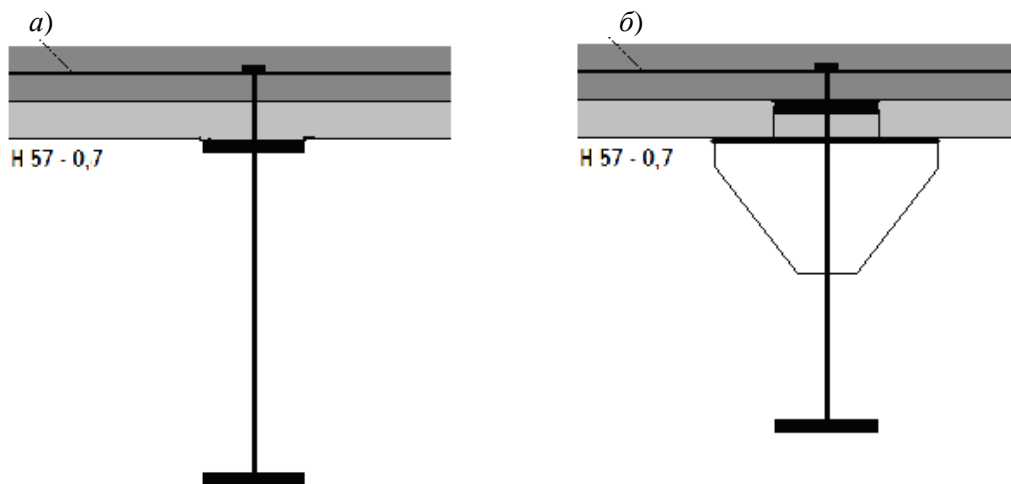


Рис. 2. Варіант монтажу другорядної балки зі зварного двотавра в одному рівні (а); з підвищеним розташуванням для зменшення робочої висоти перекриття (б)

Прийняті навантаження під час розрахунків заміни другорядної балки на прокатний двотавр №36 повністю відповідають державним будівельним нормам, а також національним додаткам до ДСТУ-Н Б EN для вказаного типу громадських будівель із урахуванням отриманих технологічних навантажень. Розрахунок балки виконаний із використанням інженерної програми RSTAB

фірми DLUBAL GmbH, що базується на вимогах норм Eurocode. Обсяг розрахунків включав перевірку балки в монтажний період та в умовах проектних навантажень. Характеристики матеріалів узяті згідно з технічними вимогами. Проліт балки складав 8 м. Крок влаштування балок – 2 м. Модель балки комбінованого перерізу та її поперечний переріз показані на рис. 3.

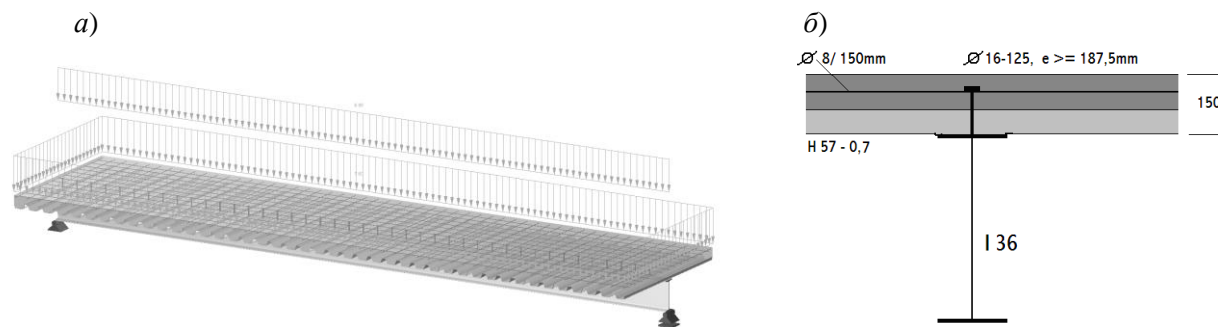


Рис. 3. Розрахункова модель (а) та поперечний переріз сталезалізобетонної балки комбінованого перерізу (б)

За результатами проведеного розрахунку підтвердилася можливість використання такого конструктивного рішення: залізобетонна плита товщиною 150 мм армована сіткою стержнів $\varnothing 8$ мм з кроком 150 мм та з'єднана зі сталеву балкою, виконаною з прокатного двотавра №36. Як з'єднувальні елементи прийняті болти фірми «Нельсон» типу KB 16×125, які приварювалися до верхньої полицки двотавра

№36 з кроком 187 мм, кратним кроку хвилі профільованого настилу. Рекомендована схема розташування анкерів у половині прольоту (опора розташована зліва) показана на рисунку 4. Анкерні болти типу KB 16×125 мають такі розміри: загальна висота – 125 мм; діаметр болта – 16 мм; діаметр головки болта – 32 мм; висота головки болта – 8 мм.

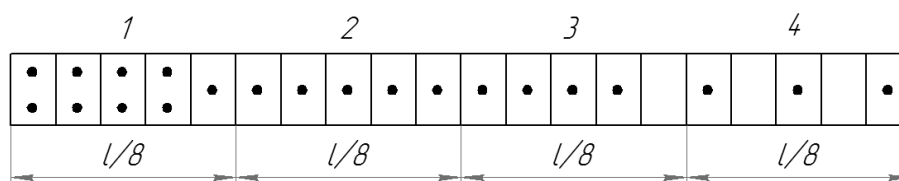


Рис. 4. Рекомендована схема розташування анкерів на половині прольоту

Результати перевірки сталезалізобетонної балки з різними комбінаціями навантажень підтвердили забезпечення несучої здатності за всіма показниками. Оскільки перевірка за деформаціями показала недостатню жорсткість балки, то сформульовано рекомендації, згідно з якими необхідно виконати будівельний підйом на стадії виготовлення $f = 7$ мм. При цьому досягається максимальний експлуатаційний прогин балки $f_{max} = 31$ мм, що складає $1/257$ прольоту, задовольняючи при цьому вимоги норм $1/250$ прольоту. Власні коливання сталезалізобетонної балки запропонованого перерізу перевищують 3 Гц і складають 4,32 Гц, що задовольняє вимоги норм за хибкістю конструкцій.

Таким чином, за рахунок забезпечення сумісної роботи сталеві та залізобетонні частин сталезалізобетонної балки вдалося знизити вартість будівництва при збереженні відповідної міцності й жорсткості перекриттів будівлі, а саме:

- витрати на виготовлення конструкцій знизилися на 10%;
- вага конструкції зменшилася на 13,4%;

– витрати сталі на виготовлення конструкції зменшилися на 25%.

Єдиним недоліком описаного конструктивного рішення є необхідність виконання ще однієї операції при будівництві конструкції: монолітні залізобетонні роботи (бетонування верхнього пояса, що одночасно виконує функції стиснутого пояса та плити перекриття). На рис. 5, а показані фотографії каркаса торгово-офісного комплексу з паркінгами у м. Київ під час монтажу.

Зниження вартості будівництва за рахунок аналогічного забезпечення сумісної роботи сталеві та залізобетонні частин сталезалізобетонної балки вдалося досягти під час будівництва перекриття в одному з виробничих комплексів промислового підприємства. Розроблений варіант монолітного перекриття товщиною 180 мм по сталевих балках. Спільна робота сталеві балки і монолітної плити досягалася за допомогою петльових анкерів та жорстких упорів. Балки перекриття прольотом 6 м запроектовано зі зварних двотаврів із розмірами стінки 298×6 мм і полиць 150×12 мм. Фотографія каркаса промислової будівлі під час монтажу показана на рис. 5, б.



Рис. 5. Каркаси будівель під час монтажу: а – торгово-офісний комплекс з паркінгами у м. Київ; б – виробничий корпус промислового підприємства

Висновки. На сьогоднішній день в Україні до кінця не вирішеним питанням залишається розробка загальних правил розрахунку і проектування сталезалізобетонних конструкцій, які полягають у визначенні розмірів поперечного перерізу, кількості арматури, способів армування і забезпечення сумісної роботи. Іноземні дослідження в цьому напрямку супроводжуються ретельним експериментально-теоретичним аналізом. Тому досвід закордонного проектування сталезалізобетонних конструкцій, безсумнівно, є корисним для сучасного розвитку

будівництва в Україні. Технологія виготовлення засобів з'єднання «Нельсон», що розроблялася й удосконалювалася останні 30 років, дозволяє об'єднати та забезпечити спільну роботу сталевих і залізобетонних конструкцій в єдину сталезалізобетонну конструкцію і тим самим знизити витрати сталі. Анкерні засоби сприймають зсувні зусилля, які виникають між залізобетонною плитою та верхніми поясами сталевих несучих балок при розрахункових навантаженнях, і перешкоджають відриванню плити від верхніх поясів балок при прогинах конструкції перекриття.

Список використаних джерел

1. ДБН А.1.1-94:2010. Система стандартизації та нормування у будівництві. Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення [Текст]: уведено вперше; чинний з 2013-07-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 22 с.
2. ДБН В.2.6-160:2010. Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]: уведено вперше; чинний з 2011-09-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
3. Гульванесян, Х. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1990: Основы проектирования сооружений [Текст] / Х. Гульванесян, Ж.-А. Калгаро, М. Голицки; пер. с англ. – М.: МГСУ, 2011. – 258 с.
4. ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010. Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1994-1-1:2004, IDN) [Текст]: чинний з 2013-06-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 159 с.
5. Поєднання сталевої та бетонної частин сталезалізобетонних конструкцій за допомогою анкерів системи Nelson [Текст] / О.В. Семко, А.В. Гасенко, В.В. Дарієнко, О.І. Богуш // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. Серія: Технічні науки та архітектура. – Харків: ХНАМГ, 2011. – Вип. 97. – С. 77-82.
6. Семко, О.В. Визначення несучої здатності сталевих балок із урахуванням сумісної роботи зі збірними залізобетонними плитами [Текст] / О.В. Семко, С.А. Гудзь // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2011. – Вип. 22. – С. 485-491.
7. Семко, О.В. Експериментально-теоретичні дослідження нерозрізних сталезалізобетонних балок з гнучкими анкерами [Текст] / О.В. Семко, С.А. Гудзь, В.В. Дарієнко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2008. – Вип. 16. – С. 344-351.
8. Стороженко, Л.И. Сталежелезобетонные конструкции [Текст] / Л.И. Стороженко, А.В. Семко, В.И. Ефименко. – К.: Четверта хвиля, 1997. – 158 с.
9. Designers' Guide to Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures, 2th editions. Roger P. Johnson. 978-0-7277-4173-8. Published 2011.
10. EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. EN 1994-1-1:2004 Part 1-1: General rules and rules for building.
11. Sykora M., Cervenka V., Holisky M. Assessment of model uncertainties in the analysis of reinforcement concrete structures // 18th International Conference «Engineering Mechanics 2012». – Svratka, Czech Republic, May 14 – 17, 2012. – pp. 1263 – 1272.

Рецензент д-р техн. наук, професор С.Ф. Пічугін

Гасенко Антон Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.
Е-пошта: Gasent@mail.ru.

Гудзь Сергій Анатолійович, канд. техн. наук. доцент кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Е-пошта: Haytak@meta.ua.
Дарієнко Віктор Вікторович, канд. техн. наук. доцент кафедри будівельних, дорожніх машин та будівництва. Кіровоградський національний технічний університет. Е-пошта: Vdarienکو@yandex.ua.

Gasenko Anton, candidate of technical sciences, associate professor of department of reinforced-concrete and stone constructions and resistance of materials of the Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail: Gasent@mail.ru.

Gudz Sergij, candidate of technical sciences, associate professor of department of metal, wood and plastic structures of the Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail: Haytak@meta.ua.

Darienko Viktor, candidate of technical sciences, associate professor of department of building, road machinery and construction of the Kirovograd National Technical University. E-mail: Vdarienکو@yandex.ua.

УДК 624.011.14

КЛЕЕФАНЕРНАЯ БАЛОЧНАЯ КОНСТРУКЦИИ С X-ОБРАЗНОЙ ФАНЕРНОЙ СТЕНКОЙ И ПАЗЛОВЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ФАНЕРЫ

Д-р техн. наук В.В. Фурсов, инж. А.Н. Бидаков

КЛЕЄФАНЕРНА БАЛОЧНА КОНСТРУКЦІЯ З X-ПОДІБНОЮ ФАНЕРНОЮ СТІНКОЮ ТА ПАЗЛОВИМИ З'ЄДНАННЯМИ ФАНЕРИ

Д-р техн. наук В.В. Фурсов, інж. А.М. Бідаков

GLUED THIN-WEBBED BEAM CONSTRUCTION WITH X-FORM OF PLYWOOD WEB AND PUZZLE JOINTS OF PLYWOOD

Doct. of techn. Sciences V. Fursov, engineer A. Bidakov

Разработан новый вид клеёфанерных балок с криволинейной формой фанерной стенки, увеличивающей ее жесткость и обеспечивающей эффективную работу, а также исключая необходимость установки поперечных ребер жесткости, что делает балку более технологичной. Выполнены поисковые испытания нового типа соединения фанеры с различными геометрическими конфигурациями частей соединяемых элементов и называются «пазловые соединения».

Ключевые слова: клеёфанерная балка, фанерная стенка, эффективные решения, пазловые соединения фанеры.

Розроблено новий вид клеєфанерних балок з криволінійною формою фанерної стінки, який має збільшену жорсткість й забезпечує її ефективну роботу, а також виключає необхідність влаштування поперечних ребер жорсткості, що робить балку більш технологічною. Виконані пошукові випробування нового типу з'єднань з різними геометричними конфігураціями частин з'єднувальних елементів і має назву «пазлові з'єднання».

Ключові слова: клеєфанерна балка, фанерна стінка, ефективні рішення, пазлові з'єднання фанери.

The new developed thin-webbed beam with curvilinear plywood web of beam has higher stiffness and provides effective work. This construction decision exclude necessity of installation in the transversal ribs what makes beam easier to produce. Glued thin-webbed beams with box cross sections and I cross sections are very economical through consumption of materials. However the necessity of ensuring of webs buckling requires installing additional cross ribs, which must be good adjusted to the beam's flange. The production step of adjusting cross ribs to the flange of beam is a very important and accounts for about 50% of all

working hours during production. Cross ribs absence or at least significant reduction of ribs quantity substantially induce manufacturability growth of production of glued thin-webbed beams.

The primary test was carried out for the new type of plywood connections with different geometry configurations of elements of the jointed parts and called "puzzle joints".

Key words: *thin-webbed beam, plywood web, effective decisions, puzzle joints of plywood.*

Вступление. Создание новых эффективных форм строительных конструкций становится приоритетным направлением для решения многих задач и проблем в существующих конструктивных решениях несущих элементов зданий и сооружений. Клеефанерная Х-образная балка является первым результатом на пути создания безреберных конструкций за счет кривизны фанерных элементов балочной конструкции.

Постановка проблемы. Среди множества типов существующих балок из древесины и древесных материалов, наиболее экономичными по расходу материала являются балочные клеефанерные конструкции с плоскими стенками. Недостаток таких балок заключается в необходимости обеспечения устойчивости стенок, что требует постановки дополнительных поперечных ребер, плотно приторцованных к поясам. Этот процесс составляет около 50% от всего объема трудозатрат по их изготовлению. Отсутствие поперечных ребер, или уменьшение их количества, может резко повысить технологичность изготовления клеефанерных балок. Разработанная на кафедре МДК ХНУСА и защищенная патентом балка с Х-образной фанерной стенкой существенно снижает недостатки клеефанерных балок, что было подтверждено их испытаниями.

Анализ последних исследований и публикаций. Известно несколько конструктивных решений, в которых фанера используется в качестве стенки: в клеефанерных балках, рамах и арках. В них применяют двутавровые поперечные сечения с одной плоской или волнистой фанерными стенками, а также в виде коробки с двумя стенками.

Среди отечественных специалистов, значительные экспериментальные и аналитические исследования клеефанерных балок принадлежат таким исследователям как: Дмитриев П.А., Лобанов Ю.А., Осипов Ю.К., Большаков В.В., Макаров Г.П., Кириленко В. Ф. [2-4] и др. В настоящее время большое

внимание к фанерным конструкциям уделяется в работах немецких ученых, в особенности школы профессора Blaß, Н. J., таких как Frese, М., Glos [6-7], Flaig М. [8], и др. Группой Японских ученых под руководством Hiroshi Yoshihara [9-12] проведены испытания, в которых исследованы упругие характеристики фанеры, а также предложены новые более точные методы их определения. Например, разработаны технические рекомендации для определения свойств фанеры при сжатии образцов, так называемым методом PTRI (Illinois Institute of Technology Research Institute, USA), несмотря на уже существующие американские рекомендации по подобным испытаниям по ASTM D 3501-94 (ASTM 1994).

Разработка и конструирование Х-образной балки проходила с учетом данных авиастроителей первой половины XX века. К примеру, штурмовик Ил-2 представлял собой моноплан с нижним расположением крыла у которого обшивка хвостовой части фюзеляжа и крыльев выполнялись из фанеры. Силовой каркас крыла (рис. 1), состоящий из лонжеронов, стрингеров и нервюр выполнялся из фанеры и дерева, или из дюралюминия.

Так как форма обшивки крыльев имеет изогнутую форму, то конструирование таких балок основывалось на данных исследователей ЦАГИ им. Жуковского, а именно: В.М. Стригунов, А.Ю. Ромашевский, Г.А. Олейников, Г.Г. Ростовцев, М.Л. Лурье и др. сделали весомый вклад в теоретические и экспериментальные исследования различных тонкостенных балок с параллельными поясами, а также подкрепленных и неподкрепленных обшивок работающих на сжатие. Такие наработки способствовали критической оценке и анализу проведенных исследований Х-образной клеефанерной балки.

Методика проведения экспериментов. В лаборатории строительных конструкций (ХНУСА) проводились испытания нового типа клеефанерных балок с изогнутыми фанерными стенками и дощатыми клееными поясами. Соединение фанерных стенок с поясами балок

выполнялись с помощью клеев через наклонные пропилы, сделанные в поясах балки. По краям балки устанавливаются опорные ребра, одна из граней которых повторяет кривизну фанерной стенки и плотно приторцовывается к ней. Пояса балочной конструкции были изготовлены из клееной древесины сосны, а стенки из 3-х слойной березовой фанеры повышенной влагостойкости 1 сорта, марки ФСФ. Испытания моделей балок (рис. 2), проводились путем нагружения их домкратами грузоподъемностью 25 т через

траверсу, распределяющую нагрузку на две точки, соответствующие третям пролета. Передача нагрузки на балку от траверсы осуществлялась через деревянные бруски и металлические пластины, лежащие сверху на этих брусках и контактирующих непосредственно с траверсой. Все испытуемые модели балок были раскреплены с двух сторон по верхним поясам. Балки первоначально трехкратно нагружались с шагом 0,5 т до 2 т, с последующей разгрузкой. После чего проводился основной эксперимент.

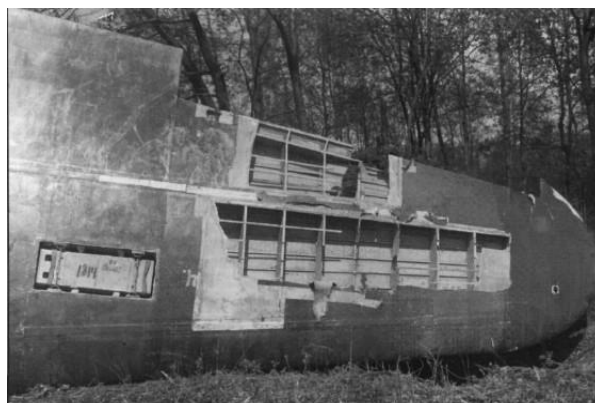
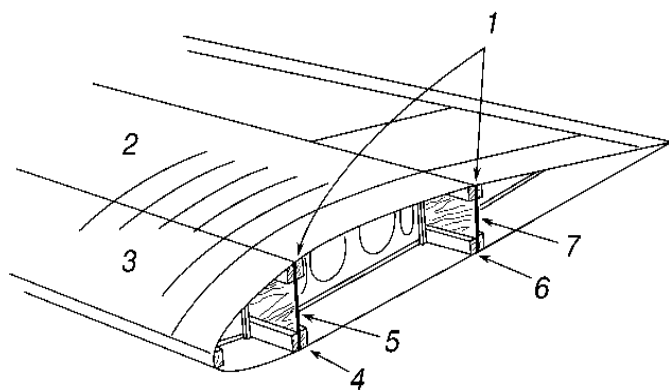


Рис. 1. Конструкция крыла с фанерной обшивкой:

- 1 – полки лонжеронов; 2 – фанерная обшивка среднего кессона;
- 3 – фанерная обшивка носового кессона; 4 – передний лонжерон;
- 5 – фанерная стенка переднего лонжерона; 6 – задний лонжерон;
- 7 – фанерная стенка заднего лонжерона



Рис. 2. Экспериментальный образец X-образной балки

Каждая балка в процессе испытаний доводилась до разрушения. Величины угловых перемещений каждого торца балки

фиксируются четырьмя индикаторами часового типа, а показания прогибов поясов балки снимались отдельно, двумя

прогибомерами с точностью деления 0,001 мм. Для измерения деформаций использовались датчики базой 20 мм и сопротивлением примерно 200 Ом. В качестве измерительной аппаратуры применялся автоматический 100-позиционный прецизионный переключатель АП-3 и автоматический измеритель деформаций АИД-4. Температура в помещении во время испытаний составляла примерно +25°C и влажность древесины колебалась от 12

до 14%. В рамках испытаний внимание акцентировалось на расположение накладок стыкуемых листов, установленных под наклоном либо вертикально, причем последние оказались более предпочтительными и эффективными. Схема экспериментальной модели с местами установки датчиков активного сопротивления, а также схема нагружения приведены на рис. 3.

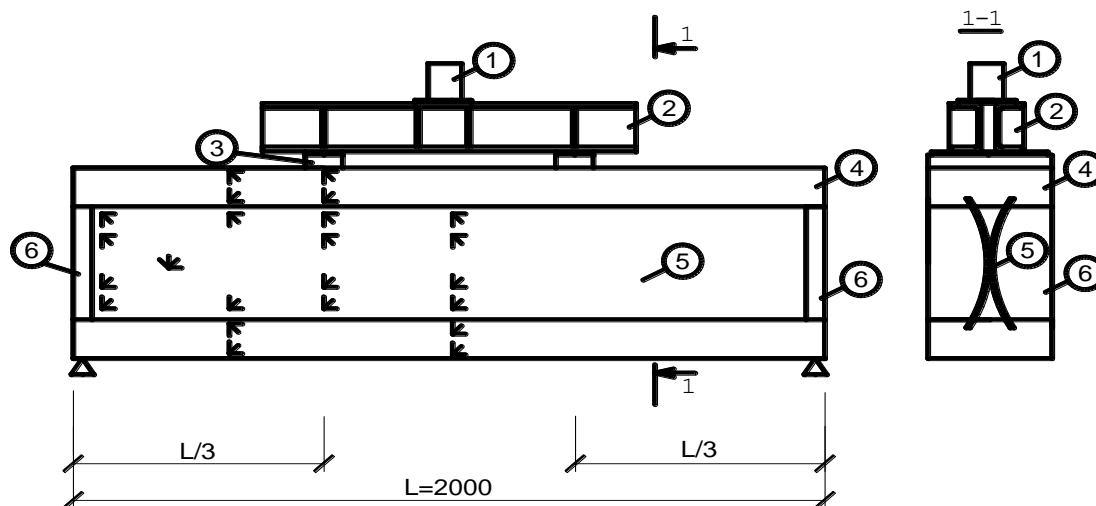


Рис. 3. Схема нагружения экспериментальной модели:

- 1 – домкрат; 2 – распределительная стальная траверса; 3 – деревянные бруски;
4 – пояс балки из клееной древесины; 5 – фанерные стенки балки;
6 – торцевые ребра жесткости из цельной древесины

В процессе испытаний в упругой стадии балки усовершенствовались некоторыми конструктивными дополнениями, и путем соединения фанерных стенок в районе нейтральной оси болтами с прокладками из фанеры такой же толщины, а также установкой в отдельных случаях односторонних ребер в местах приложения нагрузки и на опорах. Последняя балка, с радиусом кривизны стенки 800 мм, укреплялась деревянными вставками в верхние полости между фанерными стенками, а также заполнением этих полостей монтажной пеной.

Обсуждение результатов. Полученные результаты испытаний балок и поведение криволинейных фанерных элементов стенки балки носили характер новизны и лишь частично оправдали ожидания и предположения о работе конструкции в целом.

Перед началом испытаний были проведены предварительные расчеты моделей с помощью аналитической расчетной программы «ANSYS». Анализ этих расчетов позволил уточнить места расположения датчиков на испытуемых моделях и предложить второй вариант конструктивного решения опорных зон балки со сплошным опорным ребром, в которое входят фанерные стенки и фиксируются с помощью клеевого соединения, см. рис. 4.

Анизотропия прочности при сжатии [1] выражена для фанеры в меньшей степени, чем при растяжении, тем более для квазигомогенной трехслойной фанеры используемой при испытаниях. Для изотропных тел условие прочности обычно выражается уравнением, связывающим величины трех главных напряжений с одной характеристикой прочности материала. Для

анизотропных материалов такое уравнение не позволяет решать задачу, так как опасное состояние зависит не только от величины главных напряжений, но и от их ориентации по отношению к осям симметрии материала. Поэтому условие равноопасных напряженных

состояний для ортотропных тел должно содержать не три, а шесть величин, например три главных напряжения и три направляющих косинуса, фиксирующих ориентацию этих напряжений в материале.

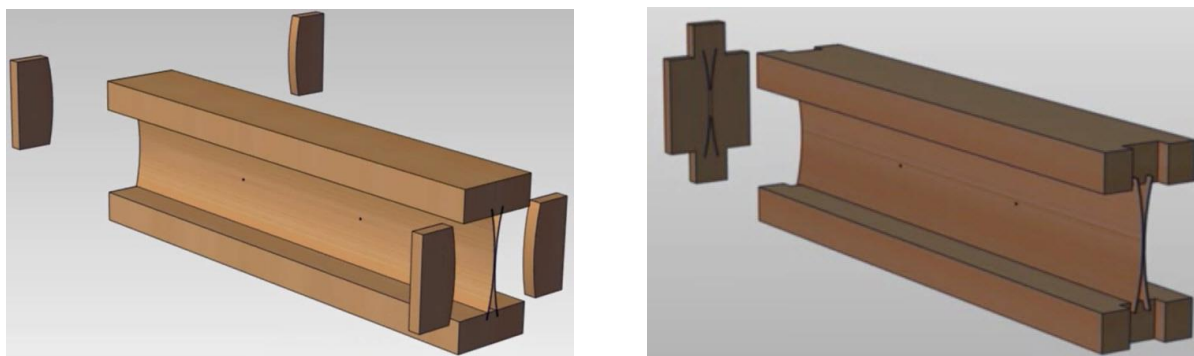


Рис. 4. Два варианта выполнения опорных зон клефанерной X-образной балки

Сравнение результатов эксперимента и расчета показали близкие данные (см. рис. 5 и рис. 7) с разницей от 10 до 22%. Такая разница результатов объясняется тем, что в расчетном программном комплексе ANSYS модель балки идеализируется, чего нельзя сказать о любых реальных деревянных конструкциях, вследствие их анизотропии и наличия рыхлых деформаций.

Максимальные напряжения и, соответственно, деформации наблюдались в местах стыка фанерной стенки и верхнего пояса в зонах опор. На рис. 5 показаны разрушения балок в опорных зонах, а на рис. 6

приведены результаты расчета и распределения напряжений в поперечном сечении моделей.

Во время испытаний фиксировались деформации стенок балки в виде локального выпучивания фанеры или соответственно вогнутости, которые с увеличением нагрузки меняли свою ориентацию, а также знак деформаций и даже взаимное смещение фанерных стенок по вертикали. Разрушение всех балок наступало в следствии достижения касательных напряжений критического значения и разрушения в области клевого шва, соединяющего стенки с верхним поясом балки.

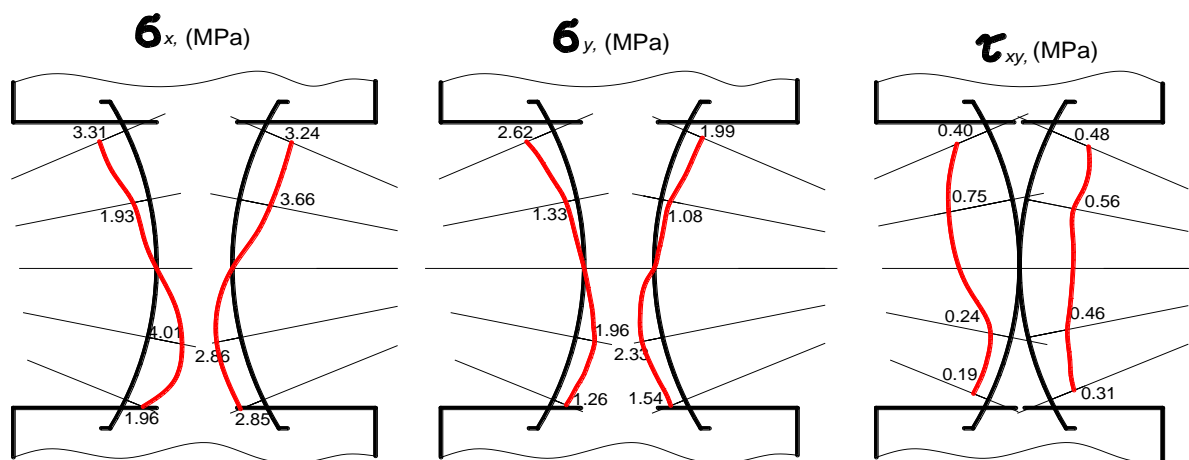


Рис. 5. Эпюры напряжений σ_x , σ_y , τ_{xy} для балки с радиусом кривизны стенки 800 мм на опоре при величине нагрузки 1,5 т



Рис. 6. Результаты испытания экспериментальной модели

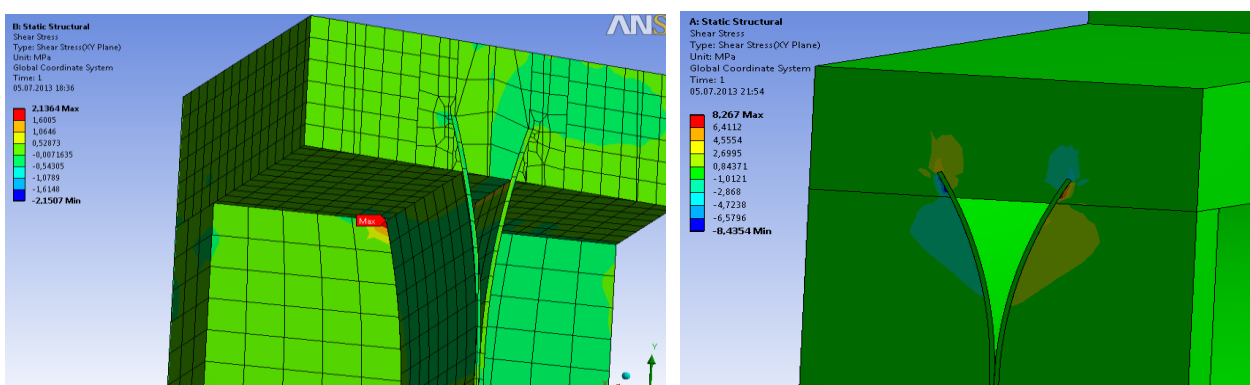


Рис. 7. Результаты распределения напряжений в расчетной модели

Разработка вариантов соединения фанерных стенок по длине балки. Традиционные виды соединения фанеры, существующие на страницах практических справочниках по проектированию деревянных конструкций, как например стык на «ус» и стык при помощи односторонней или двусторонней фанерных накладок приведены на (рис. 8). Недостатком стыкования фанеры на «ус» является то, что требуется точное выполнение наклонных торцов стыкуемых элементов и подпрессовка с прижимом. Особо затруднительно выполнение такого типа соединения для фанерных листов малых толщин.

Стык фанеры двусторонними накладками создает концентратор напряжений и существенно увеличивает жесткость пластинчатого древесного элемента, что является негативным результатом для всего элемента конструкции в целом, а выполнение такого типа соединения было не возможным при создании балок с X-образной фанерной стенкой.

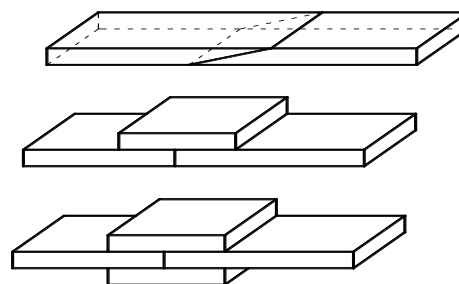


Рис. 8. Традиционные виды соединений фанерных элементов

В лаборатории строительных конструкций, Харьковского национального университета строительства и архитектуры, в ноябре 2013 года были подготовлены и выполнены пробные испытания пазловых соединений фанеры различных геометрических конфигураций, а также различных типоразмеров испытываемых образцов. Часть образцов была соединена с применением

стеклоткани, устанавливаемой с обеих сторон, в местах пазловых резов фанеры (см. рис. 9). Такая технология выполнения стыков значительно увеличила несущую способность фанерных стенок. При испытании образцов на растяжение с наклеенными элементами из стеклоткани показатели прочности пластин в несколько раз превышающую прочность таких же образцов, не усиленных стеклотканью. Полимерные наклейки устанавливались на

эпоксидной смоле ЭД-20 без повышения температуры во время склеивания и без осуществления прижима, что является необходимыми условиями для достижения максимального результата при выполнении клеевых соединений. Для проведения испытаний было изготовлено два геометрических типа образцов: полосы 100*300, 100*400мм и прямоугольники размерами 300*400мм и 400*500мм.



Рис. 9. Испытательные образцы фанерных полос с одним и двумя пазлами

Фанерные полосы испытывались на растяжение и центральное сжатие, а прямоугольные пластины на центральное и внецентренное сжатие (рис. 10). В эксперименте на центральное сжатие использовались цилиндрические шарниры, плотно фиксировавшие края фанерных элементов. Характер разрушения изгибаемых прямоугольных фанерных пластин указал на необходимость усовершенствования пазловых соединений для применения в криволинейных элементах строительных конструкций. Возможность применения такого типа соединений в плоских элементах конструкций наглядно подтверждена экспериментальными исследованиями, особенно если данный стык выполнен с использованием накладок из стеклоткани.

Безусловно, идея пазловых соединений фанерных элементов требует выполнение дальнейших исследовательских испытаний и разработки оптимальных геометрических

параметров частей стыка, с целью обеспечения высокой эффективности и прочности данного соединения. Разработка инженерной методики расчета возможна только после проведения большого количества испытаний образцов с различной геометрией паза.

Выводы. Проведенные испытания балок подтвердили эффективность новой формы поперечного сечения и указали на необходимость дополнительной проработки конструктивных мероприятий для снижения локальных перемещений фанерных стенок. Экспериментально исследованные клефанерные балки с X-образной стенкой являются новым разделом практически не изученной работы криволинейных форм фанеры, как ортотропного материала. Вместе с тем методы определения характеристик прочности «сильно» анизотропных материалов, каковыми являются древесина и фанера, все еще продолжают составлять предмет дискуссии и усовершенствования.



Рис. 10. Разрушение сжато-изгибаемых фанерных пластин

Выполнение поисковых исследований пазовых соединений фанерных элементов дают возможности применения нового типа соединения плоских элементов клефанерных конструкций и перспективы для их использования в изогнутых фанерных

элементах. Существенный эффект повышения прочности наблюдался при наклеивании стеклоткани в местах лазерных резов пазового соединения и поэтому представляется обязательным технологическим этапом при выполнении таких соединений.

Список использованных источников

1. Ашкенази, Е.К. Анизотропия конструкционных материалов [Текст]: справочник / Е.К. Ашкенази, Э.В. Ганов. – М.: Машиностроение, 1980. – 247 с.
2. Кириленко, В.Ф. Напряженно-деформированное состояние клефанерных балок с прерывистой фанерной стенкой [Текст] / В.Ф. Кириленко, М.В. Колыхан, Е.Ю. Якушкова, А.Н. Янчук // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов / НАПКС. — Симферополь: НАПКС, 2007. – Вып. 21. – С. 16-20.
3. Кириленко, В.Ф. Напряжения в приопорных зонах деревофанерных балок [Текст] / В.Ф. Кириленко, М.Ю. Кузенков // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць / Національний університет водного господарства та природокористування. – Рівне, 2009. – Вип. 19. – С. 159-164.
4. Кириленко, В.Ф. Напряжения в деревофанерной балке двутаврового сечения [Текст] / В.Ф. Кириленко, М.Ю. Кузенков // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов / НАПКС. — Симферополь: НАПКС, 2009. – Вып. 29. – С. 71-79.
5. Справочник авиаконструктора. Том 3. Прочность самолета [Текст] / Коллектив ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского. – М.: Из-во ЦАГИ, 1939. – 652 с.
6. Blaß, H. J.; Frese, M.; Glos, P.; Linsenmann, P.; Denzler, J., (2005): Biegefestigkeit von Brett-schichtholz aus Buche. Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau, Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen.
7. Blaß, Hans Joachim; Flaig, Marcus; Stabförmige Bauteile aus Brettsperrholz, KIT Scientific Publishing 2012, VIII, 171 S.
8. Flaig M. Modellierung der Biegefestigkeit von hochkant auf Biegung beanspruchten Bauteilen aus Brettsperrholz.
9. Hiroshi Yoshihara. Poisson's ratio of plywood measured by tension test. Holzforschung, 63 (5), 2009, 603-608 p.
10. Hiroshi Yoshihara. Edgewise shear modulus of plywood measured by square-plate twist and beam flexure methods. Construction and Building Materials, 23 (12), 2009, 3537-3545.

11. Hiroshi Yoshihara. Bending properties of medium-density fiberboard and plywood obtained by compression bending test. *Forest Products Journal*, 61 (1), 56-63.

12. Hiroshi Yoshihara. Influence of the specimen depth to length ratio and lamination construction on Young's modulus and in-plane shear modulus of plywood measured by flexural vibration. *BioResources*, 7(1), 1337-1351.

Фурсов Вадим Вікторович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (057) 700-01-15.
E-mail: vadfursov@mail.ru.

Бідаков Андрій Миколайович, аспірант, кафедра металевих і дерев'яних конструкцій Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (057) 700-01-15. E-mail: bidakov@mail.ru.

Fursov Vadim Viktorovich, d-r science, professor, head of department of metal and timber constructions, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine; Tel.: (057) 700-01-15. E-mail: vadfursov@mail.ru.

Bidakov Andrii Nikolayevich, postgraduate student, department of metal and timber constructions, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine; Tel.: (057) 700-01-15. E-mail: bidakov@mail.ru.

УДК 69:692.2:699.86

МЕТОДИКА ІМОВІРНІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ СТІН

Д-р техн. наук В.А. Пашинський, асп. О.А. Плотніков

МЕТОДИКА ВЕРОЯТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СТЕН

Д-р техн. наук В.А. Пашинский, асп. О.А. Плотников

METHODOLOGY THE PROBABLE ESTIMATING OF TEMPERATURE REGIME OF THE WALLS

Doctor of technical sciences V. Pashynskiy, postgraduate student O. Plotnikov

Розроблена розрахункова методика визначення статистичних характеристик випадкового процесу змін температури внутрішньої поверхні стіни з відомими тепловими характеристиками за статистичними характеристиками температури зовнішнього і внутрішнього повітря. Порівняння з даними натурного експерименту вказує на задовільну збіжність результатів.

Ключові слова: *огорожувальні конструкції, температурний режим, випадкові температурні впливи.*

Разработана расчетная методика определения статистических характеристик случайного процесса изменения температуры внутренней поверхности стены с известными тепловыми характеристиками через статистические характеристики температуры наружного и внутреннего воздуха. Сравнение с данными натурного эксперимента дает удовлетворительную сходимость результатов.

Ключевые слова: *ограждающие конструкции, температурный режим, случайные температурные воздействия.*

We consider the wall of the house with the known thermal characteristics under constant temperature and indoor air temperature random. Based on the known regularity of the heat transfer and attenuation of temperature fluctuations in the thickness of fencing, obtained formulas for the numerical definitions of the mathematical expectation and standard random process temperature changes at the given point of the wall, depending on the relevant numerical characteristics of air temperature. For this wall thickness is divided into layers with constant thickness layer material properties. For each of the layers, the necessary thermal

characteristics are sequentially determined, the attenuation coefficient of temperature fluctuations, the mathematical expectation and standard process temperature changes on the verge of layers. Mathematical expectation changes in proportion to the thermal resistance of the outer surface of the wall. Changes of standard have exponential character. The calculation results obtained by the method were compared with the results of numerical simulation by finite differences, and the results of natural observations of the temperature of the external and internal air, interior and exterior surface of the wall. Satisfactory convergence of the results confirmed the possibility of using the developed method for evaluating the thermal regime of the walls of their thermal characteristics and meteorological data on air temperature. The method is to be used in assessing the reliability of thermal walling.

Keywords: walling, temperature regime, casual temperature influences.

Вступ. Випадковий характер теплотехнічних характеристик стінових огорожень, а також вплив на них температури атмосферного повітря зумовлює використання імовірнісних методів оцінювання теплової надійності, а складність і невизначеність теплотехнічних процесів в конструкціях з випадковими характеристиками зумовлює необхідність широкого застосування експериментальних методів її дослідження.

Постановка проблеми. Одним із шляхів удосконалення огорожувальних конструкцій є аналіз їх теплової надійності в реальних умовах експлуатації. Випадковий характер температурних впливів атмосферного середовища обумовлює необхідність застосування імовірнісних методів оцінювання теплової надійності. Одним з елементів такого оцінювання є виявлення статистичних характеристик випадкових процесів змін температури огорожувальної конструкції залежно від випадкових змін температури атмосферного повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Норми проектування [1] встановлюють критерії теплових відмов, зокрема падіння температури внутрішньої поверхні огороження нижче точки роси, що може викликати утворення конденсату, а також перевищення допустимої різниці температур внутрішньої поверхні стіни та повітря в приміщенні, що викликає дискомфорт. Наближена методика оцінювання імовірності теплових відмов за вказаними критеріями запропонована в роботі [2]. Детерміновані значення параметрів температури атмосферного повітря, необхідних для виконання теплотехнічних розрахунків, наведені в стандарті [3] для 57 міст України. В статті [10] і монографії [4] проаналізовано й узагальнено дані понад 400 українських

метеостанцій, у результаті чого отримані статистичні характеристики квазістаціонарного випадкового процесу температури атмосферного повітря, а також уточнені й деталізовані розрахункові значення температури. Температури в товщі огорожувальної конструкції при стаціонарному тепловому режимі можна визначати аналітично, а при нестаціонарному – чисельним методом скінчених різниць, викладеним в [5]. Методика і результати натурних експериментальних досліджень температурного режиму стін житлових будівель викладені в [6, 7].

Невирішені частини проблеми. Методика оцінювання теплової надійності [2] не дозволяє досить точно визначати статистичні характеристики температури внутрішньої поверхні стіни за відповідними характеристиками випадкового процесу температури атмосферного повітря. Саме ця операція є ключовим елементом методики оцінювання теплової надійності, що вимагає досить простого й точного розв'язання.

Мета дослідження полягає в розробленні методики визначення статистичних характеристик температури в товщі стіни за відповідними характеристиками випадкового процесу температури атмосферного повітря.

Передумови та вихідні залежності. Розглядається огорожувальна конструкція з відомими розмірами й тепловими характеристиками усіх шарів. Температура повітря в приміщенні є стаціонарним випадковим процесом з відомими статистичними характеристиками, а температуру зовнішнього повітря на невеликому проміжку часу порядку одного місяця можна подати у формі стаціонарного випадкового процесу. Необхідно визначити математичні сподівання й стандарти

випадкового процесу змін температури на внутрішній поверхні огороження.

В основу розв'язання поставленої задачі покладено методику визначення температур стіни в стаціонарному режимі теплопередачі [5] та методику урахування затухання коливань температури при оцінюванні теплової стійкості огорожувальних конструкцій за [1]. В умовах стаціонарного режиму теплопередачі з незмінною температурою зовнішнього повітря температури в середині стіни змінюються пропорційно опору теплопередачі, що виражається відомою формулою, яку зручно записати у вигляді:

$$\tau_x = \tau_3 + \frac{\tau_6 - \tau_3}{R_0} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_3} + R_x \right), \quad (1)$$

де τ_6 і τ_3 - температури внутрішнього і зовнішнього повітря;

R_0 - опір теплопередачі огороження;

R_x - сумарний термічний опір шарів стіни, розміщених між зовнішньою поверхнею та точкою з координатою X.

Згідно з [1], опір теплопередачі стіни дорівнює

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_3} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_6}, \quad (2)$$

де α_3 і α_6 - коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої і внутрішньої поверхні стіни;

$\sum R_i$ - сума термічних опорів усіх шарів огороження.

Статистичні характеристики випадкового процесу змін температури в стіні залежать від теплових характеристик стіни, а також статистичних характеристик випадкових

$$\nu_3 = 0,9e^{0,71D} \times \frac{\alpha_3 + s}{\alpha_3} \times \frac{s + \alpha_6}{2 \times s}, \quad \nu_B = 0,9 \times \frac{s + \alpha_6}{\alpha_6}, \quad (4)$$

де $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ і $\alpha_6 = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ - коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої та внутрішньої поверхні стіни;

процесів температури зовнішнього та внутрішнього повітря.

Середні значення відображають довготривалу поведінку процесів змін температури, яка еквівалентна стаціонарному тепловому режиму. Тому зміни середніх значень температури по товщі стіни можна виразити на основі (1) у вигляді

$$M_x = M_3 + \frac{M_6 - M_3}{R_0} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_3} + R_x \right), \quad (3)$$

де M_x , M_3 і M_6 - середні значення температури в точці з координатою X, на зовнішній та внутрішній поверхнях стіни; інші позначення відповідають формулі (1).

Випадкові коливання процесів температури відображаються стандартами розподілів ординати цих процесів, які також змінюються по товщині стіни. Для встановлення закономірностей таких змін розглянемо модельну задачу, у якій температура внутрішнього повітря є постійною в часі, а температура зовнішнього повітря змінюється по синусоїді. Такі умови відповідають відомій задачі оцінювання теплостійкості огорожень в літній період, рішення якої викладено в [5] та в нормах проектування [1]. Згідно з методикою [1], амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні стіни визначається шляхом ділення амплітуди коливань температури зовнішнього повітря на коефіцієнт затухання, залежний від теплофізичних характеристик шарів стіни. Коефіцієнт затухання коливань температури в довільній точці стіни можна визначити на основі формули, наведеної в [1]. Для внутрішньої поверхні одношарової масивної конструкції стіни коефіцієнти затухання коливань зовнішньої та внутрішньої температури можна обчислити за формулами

s - коефіцієнт теплосвоєння для матеріалу стіни за нормами [1];

$D = R \cdot s$ - показник масивності стіни;

$R = \delta/\lambda$ - термічний опір стіни;

δ - товщина стіни;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стіни;

У другій формулі (4) враховано, що між внутрішнім повітрям та внутрішньою поверхнею стіни є лише пограничний шар повітря, масивність якого практично дорівнює нулю.

Коефіцієнти затухання (4) дозволяють визначати амплітуду коливань температури внутрішньої поверхні стіни. При дії стаціонарних випадкових процесів температури зовнішнього та внутрішнього повітря зі стандартами S_3 та S_B стандарт розподілу температури внутрішньої поверхні стіни є пропорційним амплітуді гармонійних коливань і визначається за формулою

$$S_x = \sqrt{(S_3/\nu_3)^2 + (S_B/\nu_B)^2}, \quad (5)$$

яка заснована на правилах додавання незалежних випадкових величин [8] коливань температури, викликаних коливаннями температури внутрішнього та зовнішнього повітря.

В якості контрольного прикладу проаналізовані зміни середніх значень і стандартів температури в стіні житлової будівлі, на якій проводилися експериментальні дослідження [6, 7]. Стіна товщиною 350 мм виконана з керамзитобетону, який згідно з нормами [1] має такі теплотехнічні характеристики: середня густина $\rho=800$ кг/м³, коефіцієнт теплопровідності в нормальних умовах експлуатації $\lambda=0,24$ Вт/(м·К), питома теплоємність $C=0,84$ кДж/(кг·К), коефіцієнт теплосвоєння $S=3,83$ Вт/(м²·К). З урахуванням вказаних вище коефіцієнтів тепловіддачі зовнішньої та внутрішньої поверхні опір теплопередачі стіни дорівнює $R=1,62$ (м²·К)/Вт. У процесі експерименту на протязі опалювального періоду систематично вимірювалися температури атмосферного повітря, зовнішньої та внутрішньої поверхні стіни. Отримані реалізації розділені на декадні відрізки, на протязі яких випадкові процеси температури усіх точок можна вважати стаціонарними. У результаті статистичної обробки за методикою [8,9] отримані функції середніх значень і стандартів температури атмосферного повітря, повітря всередині приміщення та внутрішньої поверхні стіни, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальні та розрахункові значення статистичних характеристик температури

Номер декади	Експериментальні значення статистичних характеристик						Обчислені значення	
	M_3	M_x	M_B	S_3	S_x	S_B	M_x	S_x
1	9,66	21,92	23,00	3,090	0,401	0,294	22,05	0,214
2	4,82	22,12	23,02	2,046	0,246	0,290	21,73	0,209
3	4,57	22,17	23,03	4,854	0,222	0,288	21,71	0,213
4	1,35	22,20	23,06	4,892	0,247	0,331	21,51	0,244
5	-3,94	22,21	23,04	4,218	0,262	0,320	21,12	0,234
6	-2,40	22,21	22,98	5,242	0,257	0,329	21,18	0,243
7	-2,63	22,24	23,08	4,411	0,318	0,304	21,25	0,223
8	-1,63	22,27	23,10	3,972	0,282	0,366	21,34	0,267
9	-3,45	22,28	23,03	3,796	0,303	0,340	21,15	0,247
10	1,50	22,27	23,07	2,880	0,341	0,344	21,54	0,249
11	-0,36	22,16	22,94	2,656	0,285	0,346	21,28	0,250
12	0,28	22,25	23,01	3,383	0,336	0,310	21,39	0,226
13	0,71	22,26	23,05	4,755	0,315	0,327	21,47	0,241
14	1,69	22,21	22,98	5,147	0,310	0,341	21,47	0,251
15	-0,46	22,29	23,05	5,676	0,325	0,336	21,38	0,249
16	8,19	23,04	23,57	3,755	0,152	0,149	22,48	0,115

Окрім характеристик, визначених за результатами статистичної обробки експериментальних даних, в таблиці 1 наведені також середнє значення й стандарт випадкового процесу змін температури повітря внутрішньої поверхні стіни, обчислені за формулами (3) і (5). При цьому враховані коефіцієнти згасання (4), рівні 89,4 та $v_B=1,39$. Аналіз отриманих результатів вказує на відповідність статистичних характеристик температури внутрішньої поверхні стіни, обчислених за запропонованою методикою, до відповідних значень, отриманих експериментально. Найвні незначні розбіжності можна пояснити відмінностями реальних теплотехнічних характеристик стіни від наведених вище розрахункових значень, прийнятих за нормами проектування [1] для проектної марки керамзитобетону.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку:

1. Статистичні характеристики випадкового процесу змін температури внутрішньої поверхні стіни залежать від статистичних характеристик випадкових процесів температури зовнішнього та внутрішнього повітря.

2. Розроблена методика дозволяє визначати статистичні характеристики випадкового процесу змін температури внутрішньої поверхні стіни через її теплотехнічні властивості та статистичні характеристики випадкових процесів температури зовнішнього та внутрішнього повітря.

3. Для отримання досить точних результатів слід використовувати реальні значення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, отримані за результатами випробувань.

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель [Текст]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 66 с.
2. Пашинський, В.А. Оцінка імовірності виникнення теплових відмов конструкцій [Текст] / В.А. Пашинський, Г.Г. Фаренюк // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ДГАСА, 2010. – Вып. 56. – С. 305-310.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі [Текст] // Будівельна кліматологія. – К., 2010. – 101 с.
4. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель [Текст]: монографія / В.А. Пашинський, Н.В. Пушкар, А.М. Карюк. – Одеса, 2012. – 180 с.
5. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / К.Ф. Фокин. – 5-е изд., пересм. – М., 2006. – 256 с.
6. Пашинський, В.А. Методика експериментальних досліджень теплової надійності стінових конструкцій [Текст] / В.А. Пашинський, О.А. Плотніков // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2012. – Вип. 24. – С. 371-376.
7. Пашинський, В.А. Експериментальні дослідження теплового режиму стін житлових будинків [Текст] / В.А. Пашинський, О.А. Плотніков // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2013. – Вип. 27. – С. 360-366.
8. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
9. Свешников, А.А. Прикладные методы теории случайных функций [Текст] / А.А. Свешников. – М.: Наука, 1968. – 464 с.
10. Пашинський, В.А. Методика оцінювання теплової надійності стін за критерієм тепловитрат [Текст] / В.А. Пашинський, О.А. Плотніков, А.М. Карюк // Наукові нотатки. Міжвуз. зб. (за галузями знань "Машинобудування та металообробка", "Інженерна механіка", "Металургія та матеріалознавство". – Луцьк: ЛНТУ, 2014. – Вип. 45 (травень-червень). – С. 417-423.

Пашинський Віктор Антонович, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва, Кіровоградський національний технічний університет; м. Кіровоград, Україна, просп. Університетський 8, 25030. Тел. 0522-39-04-71. E-mail: pva.kntu@gmail.com.

Плотніков Олег Анатолійович, аспірант кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва, Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна, просп. Університетський 8, 25030. Тел. 0522-39-04-71. E-mail: Plotnikov-75@mail.ru.

Pashynskiy V., doctor of technical science, professor; Department of "building, road machines and construction"; Kirovograd National Technical University; Kirovograd, Ukraine, University Avenue 8, 25030. Phone 0522-39-04-71. E-mail: pva.kntu@gmail.com.

Plotnikov O., postgraduate student; Department of "building, road machines and construction"; Kirovograd National Technical University; Kirovograd, Ukraine, University Avenue 8, 25030. Phone 0522-39-04-71. E-mail: Plotnikov-75@mail.ru.

УДК 007:573.6.001.13

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГЕНЕЗИСА СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Канд. техн. наук М.А. Полтавец

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ВИВЧЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ГЕНЕЗИСУ БУДІВЕЛЬНИХ СИСТЕМ

Канд. техн. наук М.О. Полтавець

FUNCTIONAL APPROACH TO THE STUDY OF ORGANIZATION AND PROCESS OF GENESIS OF BUILDING SYSTEMS

Cand. of techn. sciences M.A. Poltavets

В статье рассмотрены элементы методологических основ системотехники проектирования и обоснования организационно-технологических циклов объектов строительства, их взаимосвязь с внешней средой и живыми природными системами. Рассмотрен системотехнический подход оценки показателей технологической эффективности строительных конструкций с учётом особенностей проектных решений архитектурно-бионических систем. Сформулированы новые подходы к изучению организационно-технологического генезиса строительных систем.

Ключевые слова: системотехника, технологичность, свойство, производственный процесс, показатель, функциональная зависимость, система.

У статті розглянуті елементи методологічних основ системотехніки проектування та обґрунтування організаційно-технологічних циклів об'єктів будівництва їх взаємозв'язок із зовнішнім середовищем та живими природними системами. Розглянутий системотехнічний підхід до оцінки показників технологічної ефективності будівельних конструкцій із урахуванням особливостей проектних рішень архітектурно-біонічних систем. Сформульовано нові підходи, щодо організаційно-технологічного генезису будівельних систем.

Ключові слова: системотехніка, технологічність, властивість, виробничий процес, показник, функціональна залежність, система.

The elements of methodological bases of system technology designing are under investigation in this article. Besides, substantiation of organizational and technological cycles of building objects are represented, as well as their connection with environment and animated natural system. In the article system technology approach of estimation of indicators of technological optimizing of building constructions is considered taking into account project decisions of the architecturally-bionic systems. New approaches towards studying of organizational and technological genesis of architectural and bionic system are formulated. Analysis has been carried out of complex efficiency estimation of industrial and technological

features of bionic constructions as well as their direct influence on the efficiency of project solutions and organizational and technological reliability of building industry. New method of defining complex indicators of technology of bionic systems has been developed.

Keywords: *systems engineering, technologicalness, property, production process, index, functional dependence, system.*

Введение. Системотехника как научно-практическая дисциплина изучает созданные человеком сложные технические, организационные, управленческие системы, рассматривает взаимосвязи и преемственность организационно-технологических циклов, а также способствует формированию научной методологии их анализа с учётом общих тенденций развития науки и производства [1].

Постановка проблемы. Научно-технический прогресс неуклонно ведёт к созданию новых методов проектирования, организации и управления, к коренному совершенствованию капитального строительства. В этих условиях первостепенное значение приобретают разработка инновационных критериев оценки управленческих решений, формализация оценочных процедур, математическое и программное обеспечение методов оценки решений в строительстве.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросы технологичности строительных конструкций и проектных решений зданий и сооружений активно разрабатывались с середины XX века. Результаты исследований учёных в области архитектурной бионики подтвердили особую эффективность бионического подхода при решении прикладных инженерных задач в актуальных направлениях техники. Для постановки решения различных системотехнических проблем использован ряд концептуально-методологических теорий, на основании которых появляется возможность объединения на единой функционально-системной вероятностной основе ныне разрозненных систем различных процессов строительства. Методологические основы системотехники, совокупность методов и средств формирования эффективных строительных систем и межсистемных связей, комплексно охватывают технологичность проектов, организационно-технологическую надёжность строительства, а также управление строительным производством.

Цель и задачи исследования. На основе изучения методологических исследований ведущих учёных [1, 2, 4], раскрывающих вопросы системотехники проектирования и управления организационно-технологическими циклами объектов строительства в условиях ускорения изменений внешней среды выявить адаптационно-генетический подход к изучению организационно-технологических циклов архитектурно-бионических систем в строительстве [6, 7, 8].

Основной материал исследования. Рациональность каждой запроектированной системы и её отдельных элементов можно оценить по эффективности функционирования этой системы в целом, то есть разности затрат ресурсов и результатов. Для оценки эффективности разработаны различного рода критерии: технические, экономические, социологические и др. Однако, несмотря на обилие критериев и методов, оценка эффективности систем в процессе их проектирования и функционирования представляет до последнего времени большие методологические и практические трудности. Что часто приводит к необъективности оценок и как следствие неправильной ориентации на создание тех или иных систем [1].

В последнее время чётко наблюдается процесс ускорения развития производства. Концепция ускорения развития определяет введение новых критериев оптимальности в обосновании строительных проектов и решений. В условиях, когда всё быстрее меняются ограничения, приоритеты, технологии, возможности и потребности, нельзя проводить технико-экономические обоснования и анализ проектируемого объекта строительства вне понимания логики причинно-следственных отношений и функциональности его развития [5].

На основании концептуально-методологических теорий [1, 3, 5], имеющих разный уровень научной разработки и практического применения, появляется возможность объединения на единой функционально-

системной вероятностной основе, при помощи теоретических и методологических проблем системотехники строительства, ныне разрозненных систем. Объединение в одну функциональную систему такого рода систем предполагает постановку принципиально новых проблем, решение которых в пределах «старых» систем было невозможно.

Проектирование объекта только по структурным признакам, без понимания произошедших и происходящих изменений во внутренних взаимосвязях и отношениях с внешней средой и без моделирования соответствующих зависимостей, не может адекватно прогнозировать реальную картину течения и изменения постстроительных стадий жизненного цикла объекта. Очень многие здания и сооружения, проектируемые без потенциала развития, морально стареют уже в процессе проектирования, при этом многие продуманно запроектированные конструктивные системы, изнашиваются физически, но не устаревают морально. Устойчивая эксплуатация сооружения представляет собой способность всех функциональных подсистем объекта сохранять динамическое равновесие со средой за счёт их возможной приспособленности к изменениям и адаптации, то есть за счёт комплексной технологичности объёмно-конструктивных и инженерных подсистем здания.

В поисках решений проблем и противоречий жизненного цикла объектов строительства имеет смысл обратиться к биологическим системам, которые при всей своей сложности и динамике функциональных подсистем и инфраструктуры, успешно функционируют. Методы исследования и механизмы решения биологических задач представляют научный и практический интерес для развития системотехники строительства, изучающей организацию взаимодействия технологических систем и решения организационно-технологических задач.

На данном этапе научных исследований появляется взаимосвязь системотехники строительства, а именно её организационно-технологических циклов с архитектурной бионикой. Особое значение архитектурная бионика приобретает при решении задач, поставленных временем в условиях научно-технического прогресса, целью которых становится сохранение окружающей среды.

Постепенное перенесение закономерностей формообразования живой природы в архитектурное проектирование объектов строительства вносит разнообразие проектных решений, а также позволяет использовать в строительном производстве не только принципы формообразования, но и технологии функционирования живой природы [2, 9, 10].

Биотехнические системы – это особый класс больших систем, представляющих собой совокупность биологических и технических элементов, связанных между собой в едином контуре управления [2, 4].

Бионические исследования, проводимые ведущими учёными [2, 3, 4] обозначили, что с целью консолидации усилий возникает необходимость из многообразия решаемых бионикой задач выделить главные, определяющие основные научные направления её развития. Наибольшие осложнения в постановку бионических исследований вносит сам объект изучения – живой организм [9, 10].

Биологическая система представляет собой совокупность взаимосвязанных систем автоматического регулирования, соединение которых обеспечивает организму необходимую устойчивость при воздействиях различных факторов внешней среды. Высокая надёжность и широкая адаптивность организма, достигаемые реализацией принципа дублирования и избыточности, в то же время чрезвычайно осложняют использование существующих в классической теории автоматического регулирования методов для изучения биологических объектов. Чтобы полностью оценить все затруднения, которые возникают на пути исследования, необходимо добавить к уже сказанному – биологическая система регулирования является нелинейно детерминированной, в то время как существующая теория автоматического регулирования представляет собой в основном теорию детерминированных систем [2, 9, 10].

При выборе метода моделирования и решении других задач архитектурной бионики представляется целесообразным рассмотрение архитектурно-строительных задач и с позиции теории биотехнических систем. Действительно, так или иначе, любое сооружение и человек, могут рассматриваться как единая биотехническая система, в которой взаимодействуют живые и неживые элементы, объединённые общей целевой функцией.

Реализованная архитектурная форма состоит из трёх элементов: функционирующего пространства, конструкций и строительных материалов.

Функционирование – это цель существования системы. Все материальные средства живой природы направлены на достижение одной цели – функционирования. В результате возникают специфические свойства формы [2]. Однако они не являются простым механическим результатом функционирования. Существуют определённые и относительно независимые законы формообразования, связанные не только с внутренними, но и с внешними энергетическими законами биосферы и космоса, корректирующими функционирование, предусмотренное генетическим кодом организма.

Все функциональные системы не зависят от уровня её организации и от количества составляющих их компонентов имеют принципиально одну и ту же функциональную архитектуру, в которой результат является доминирующим фактором, стабилизирующим организацию системы.

Исследования происхождения и развития природно-техногенных процессов и устойчивости объекта строительства как элемента природно-техногенной системы, лежат в русле концепции техногенеза. Исследованы физиологическое происхождение теории функциональных систем, что расширило её методологическую сущность и обеспечило применимость в различных областях науки и техники [3, 4].

Системогенез – это избирательное созревание различных функциональных систем и их отдельных компонентов, процесс становления, совершенствования и старения системоквантов в течение индивидуальной жизни организма от рождения до смерти или жизненного цикла технологического объекта [3].

Генезис как метод изучения явлений зародился одновременно с осознанием причинной связи вещей. Ни одно явление не может быть понято без анализа причинно-следственных механизмов, причинно-следственных адаптаций и взаимодействия различным образом материальных объектов и систем [5].

Причинно-следственные отношения выражаются наличием конкретной реакции на воздействие определённого рода, то есть

определённым и конкретным эффектом взаимодействия. Реакция любой техногенной системы, в том числе и объекта строительства, проявляется в изменении конструктивных, функциональных или технических параметров системы. Приспособленность объекта к изменениям и генетический метод её анализа, оценки и проектирования повышает адаптационный ресурс здания, подобно биологическим системам. Бионические исследования связаны с изучением предмета, присущего как живым организмам, так и техническим системам. Приспособительные функции, характерные для живых систем, в какой-то степени могут быть воспроизведены при создании оптимальных вариантов строительных и технических решений. При этом общепринятый критерий комплексной технологичности проектных решений выступает как накопитель «генетического кода» строительных проектных решений.

Конструирование сложных саморегулирующих систем по аналогии с биосистемами позволяет создавать проекты, отвечающие требованиям «экологического конструирования» среды, а также новой образной выразительности архитектурно-планировочного решения строительного объекта.

По внутренней архитектонике функциональные системы гетерогенны, состоят из неоднородных элементов, каждый из которых несёт в себе свою функциональную и специфическую нагрузку в достижении результата. С этих позиций, очевидно, правомерно включать в состав функциональной системы такие неоднородные системы: инженерные изыскания, технико-экономические обоснования проектов, проектирование, объёмно-конструктивные решения строительных объектов, методы их возведения и управление возведением, эксплуатация объектов и др. Эти подсистемы, в свою очередь, расчлняются на ряд неоднородных элементов, которые рассматриваются в единой функциональной системе [3].

В живой природе повсеместно наблюдается повторяемость однотипных элементов, которая связана с экономией времени, энергетических ресурсов, адаптации к окружающей среде. Все повторяемые элементы образуют функционально-физиологическую и конструктивную структуру организма. Они выступают в качестве достаточно простых и

правильных геометрических фигур, которые, соединяясь генетическими связями, образуют очень сложные, не поддающиеся математической оценке системы.

Внутри каждой системы присутствует причинно-следственный поток событий функционированного развития, который формируется с помощью логических категорий (рис. 1).



Рис. 1. Логические категории причинно-следственного развития

Категория потребности возникает в результате накопления достаточного жизненного и научного опыта, а также в результате созревания тех или иных изменений во внешней среде.

Категория цели вырабатывается в осознании некоторой модели будущего результата, на достижение которого направлены действия. Для субъекта действия (инвестора, проектировщика) критерием цели выступает соответствие параметров возводимого объекта параметрам модели будущего результата в любой фиксированный момент времени. Цель предопределяет состояние общей системы, её целесообразность.

Категория преобразования – это главная функция развития. В процессе решения задач преобразования мы сталкиваемся с необходимостью достаточно определённого представления о преобразуемом объекте, его детального исследования. В аспекте техногенной деятельности феномен

преобразования является важнейшим общим свойством. Претерпевая воздействия бионических исследований (представителей природных факторов) и оптимизационных критериев (представителей техногенных факторов) оценки комплексной технологичности проектных решений, преобразование обеспечивает возможность приспособления объекта к внешним условиям и ограничениям.

Категория результата в причинно-следственном потоке событий составляет меру достижения конкретной цели и меру удовлетворения исходной потребности. В качестве результата выступает завершённый объект строительства, комплекс организационно-технологических работ.

Категория «эволюционных» изменений характеризует противоречия из-за «разрыва» между желаемыми и действительными возможностями субъекта в их реализации. Новые научные знания, накапливаясь во времени, увеличивают противоречия и

«разрыв» в способностях объекта удовлетворять новым потребностям, возрастающим с ростом «эволюционных» изменений производства.

Практика и накопление знаний постоянно переходит на новые уровни развития, тем самым, побуждая изменения представлений о необходимом и достаточном, определяя диалектику новых потребностей, целей и преобразований.

Выводы по исследованию и перспективны, дальнейшее развитие в данном направлении. Произведенные исследования, анализ и оценка научных разработок позволяют сформулировать новые подходы к формированию организационно-технологического генезиса архитектурно-бионических строительных систем, которые на первое место выносят закономерности причинно-

следственных связей потребностей, целей, преобразований и результатов проектирования и управления строительством, интегрируют текущие и стратегические цели развития проекта. С позиции генезиса строительная система представлена в виде совокупности причинно-следственных связей функциональных подсистем объекта, целью объединения которых есть достижение результата получения эффектов, удовлетворяющих исходную потребность в рамках организационно-технологической надёжности. Применение универсальных принципов генезиса к организационно-технологическим проблемам строительства позволяет решать на новом уровне задачи, не решаемые методами традиционного эмпирического анализа.

Список использованных источников

1. Системотехника строительства [Текст] / под ред. А.А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. – 768 с.
2. Архитектурная бионика [Текст] / Ю.С. Лебедев, В.И. Рабинович, Е.Д. Положай [и др.]; под ред. Ю.С. Лебедева. – М.: Стройиздат, 1990. – 269 с.
3. Информационные модели функциональных систем [Текст] / под общ. ред. К.В. Судакова и А.А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2004. – 304 с.
4. Анохин, П.К. Избранные труды. Философские аспекты теории функциональной системы [Текст] / П.К. Анохин. – М.: Наука, 1978. – 336 с.
5. Гусакова, Е.А. Организационно-технологический генезис и инновационная восприимчивость строительных систем [Текст] / Е.А. Гусакова // МИА-МИСИ. Науч.-техн. сб. «Методы и модели автоматизации проектирования в строительстве». – М., 2001. – С. 27-29.
6. Прялин, М.А. Оценка технологичности конструкций [Текст] / М.А. Прялин, В.М. Кульчев. – К.: Техніка, 1985. – 120 с.
7. Технологичность конструкций изделий [Текст]: справочник / Ю.Д. Адмиров, Т.К. Алфёрова, П.Н. Волков; под ред. Ю.Д. Адмирова. – [2-е издание перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
8. Фоков, Р.И. Выбор оптимальной организации и технологии возведения зданий [Текст] / Ростислав Иванович Фоков. – К.: Будівельник, 1969. – 192 с.
9. Темнов, В.Г. Конструктивные системы в природе и строительной технике [Текст] / Владимир Григорьевич Темнов. – Л.: Стройиздат. Ленингр. Отд-ние, 1987. – 256 с.
10. Гучек, Н.В. Новый этап в освоении методов архитектурно-строительной бионики [Текст] / Н.В. Гучек // НИРС-2004: IX Республиканская научная конференция студентов и аспирантов Республики Беларусь, 24-26 мая 2004 г.: тезисы докладов. – Гродно: ГрГУ, 2004. – Ч.3. – С. 157-159.

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.А. Банаш

Полтавець Марина Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового і цивільного будівництва, Запорізька державна інженерна академія. Тел. +38-061-227-12-38. E-mail: kapmar48@mail.ru.

Poltavets Marina Aleksandrovna, cand. of techn. sciences, docent of industrial and civil building department, Zaporizhzhian state engineering academy. Ph. +38-061-227-12-38. E-mail: kapmar48@mail.ru.

УДК 681.518

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ВІДСТАНІ МІЖ «КВАДРАТОМ» І ПРЯМОКУТНИКАМИ

Канд. техн. наук Г.В. Морозова

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ «КВАДРАТОМ» И ПРЯМОУГОЛЬНИКОМ

Канд. техн. наук Г.В. Морозова

APPLICATION PROGRAM AIDED DESIGN FOR DETERMINING MINIMUM DISTANCE BETWEEN THE "SQUARE" AND A RECTANGLE

Ph.D. G. Morozova

Здійснено за допомогою запропонованої програми опис та побудова графіку віртуальної потенціальної функції. Визначено, що ці програми можуть скласти основу варіанта автоматичного визначення траси мобільного автоматизованого транспортного засобу серед перешкод між точками площини з врахуванням цих перешкод.

Ключові слова: програма, потенціальна функція, квадрат, прямокутник

Осуществлено с помощью предложенной программы описание и построение графика виртуальной потенциальной функции. Определено, что эти программы могут составить основу варианта автоматического определения трассы мобильного автоматизированного транспортного средства среди препятствий между точками плоскости с учетом этих препятствий.

Ключевые слова: программа, потенциальная функция, квадрат, прямоугольник

By the means of proposed program it is made the description and charting virtual potential function. It is analyzed several algorithms and programs for describing methods of tracing a robot's path on the plane among obstacles, it is identified their strengths and weaknesses, one of which is the complexity of choosing a new path for renewed position of obstacle elements and the need to perform all the calculations again. According to pre-implemented construction of a digital position models for containers on storehouse area it is shown a plurality of rectangles (projections of containers on the plane) on the storehouse operator's computer screen. It resulted in link of the top of each rectangles with certain numbers for their coordinates calculation. Proposed algorithm and program used the calculations and formulas that determine the distance between the rectangle (container) and "square" (profile of the column). It is determined that the developed program of: defining the geometric center of a polygon; construing potential virtual functions for obstacles as a single rectangle; determining the distance between 'square' and rectangles can form the basis of automatically determining the trace of mobile automated vehicle among obstacles between the points of the plane in view of these obstacles.

Keywords: program, potential function, square, rectangle

Вступ. В сучасних умовах великого товарообігу є проблема розміщення для короткочасного зберігання контейнерів на відкритих площадках та у підземних сховищах за умови їх «рівної» доступності у разі необхідності постачання замовнику. Залишати широкі під'їзні шляхи до кожного з контейнерів не є рентабельним рішенням, адже необхідною є умова розміщення максимальної

з можливих кількостей контейнерів на даній площі сховищ. Тому для підприємства актуальною є розробка системи обліку і автоматизованого складування контейнерів на відкритих площадках та у підземних сховищах з максимальною щільністю їх розміщення, але з додержанням умови їх доступності, наприклад, складським автокаром.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. У процесі розробки версії системи автоматизованого складування контейнерів необхідно передбачити їх розташування з додержанням не лише протипожежних розривів, але із додержанням технологічних умов транспортування. Для цього необхідно розробити алгоритм і скласти програми, які зможуть скласти основу варіанта автоматичного визначення шляху переміщення транспортного засобу між точками площини з врахуванням перешкод, які усуває суб'єктивний фактор, наприклад, в умовах надзвичайної ситуації, що виникла у сховищі (пожежі, розгерметизації, некерованої хімічної реакції тощо) [1-8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує декілька алгоритмів і програм для опису методів трасування на площині шляху робота серед перешкод, з яких популярними є хвильовий алгоритм, алгоритми із елементами евристики, а також алгоритм пошуку шляхів з умовною назвою «Алгоритм А*» [9]. Кращий алгоритм трасування мобільних роботів базується на методі віртуальних потенціалів, запропонованого А.К.Платоновим [10, 11]. Для навігації тут використовується мнемонічна модель, згідно якої навколишні об'єкти ніби притягують або відштовхують мобільного робота у процесі його руху.

До недоліків методу потенціалів слід віднести складність побудови потенціальних функцій для перешкод із кутовими точками, де

втрачає зміст похідна по нормалі до їхніх контурів. Крім того, у процесі визначення траси прихована геометрична суть етапів розрахунків; не наочним є вибір нової траєкторії для оновленого положення елементів перешкод, і всі обчислення необхідно здійснювати наново.

Визначення мети та задачі дослідження. Розробити алгоритм і Maple – програми, які зможуть скласти основу варіанта автоматичного визначення шляху переміщення транспортного засобу між точками площини з врахуванням перешкод, які усуває суб'єктивний фактор.

Основна частина дослідження. Цифрова модель проєкцій контейнерів. Вважатимемо, що заздалегідь здійснено побудову цифрової моделі положень контейнерів на площі складу. Тоді множину прямокутників (проєкцій контейнерів на площину) можна зобразити на екрані комп'ютера оператора складу, в результаті чого вершини кожного з прямокутників можна пов'язати з певними числами - тобто обчислити їх координати.

Таким чином, задача зводиться к розробці алгоритму та складанню програми з визначення траєкторії шляху між контейнерами залежно від зміни ситуації розміщення з періодичним та неперіодичним розташуванням фігур і за умови наявності будівельних колон. В складених алгоритмі та програмі використані розрахунки і формули, які визначають відстань між прямокутником (контейнером) і «квадратом» (профілем колони) [12].

Програма визначення геометричного центра многокутника:

```
o:=(a,b)->(a+b+abs(a-b))/2:
ft:=(xt,yt)->sqrt((x-xt)^2+(y-yt)^2):
f:=o(o(o(o(ft(x1,y1),ft(x2,y2)),
ft(x3,y3)),ft(x4,y4)),ft(x5,y5)):
pic1:=curve([[x1,y1,0],[x2,y2,0],
[x3,y3,0],[x4,y4,0],[x5,y5,0],[x1,y1,0]],
color=black, thickness=3, style=PATCHCONTOUR):
pic2:=plot3d(f(x,y),x=min(x1,x2,x3,x4,x5)..
max(x1,x2,x3,x4,x5),y=min(y1,y2,y3,y4,y5)..
max(y1,y2,y3,y4,y5), grid=[25,25], thickness=2,
style=PATCHCONTOUR, contours=30):
display(pic1,pic2, orientation=[-73,56],
axes=BOXED,labels=[x,y,z],
labelfont=[TIMES,ITALIC,26],
axesfont=[TIMES,ITALIC,26]);
pic3:=plot3d(f(x,y),x=min(x1,x2,x3,x4,x5)..
```

```
max(x1,x2,x3,x4,x5),y=min(y1,y2,y3,y4,y5)..
max(y1,y2,y3,y4,y5), grid=[25,25], color=red,
thickness=2, style=CONTOUR, contours=35):
display(pic1,pic3, orientation=[-90,0],
axes=BOXED,labelfont=[TIMES,ITALIC,18],
labels=[x,y,z], axesfont=[TIMES,ITALIC,18]);
```

Програма побудови віртуальної потенціальної функції для перешкоди у вигляді одного прямокутника:

```
a1 := -8: b1 := 0: c1 := 0: d1 := 10:
w := 0.1:
kon1 := polygon([[a1,c1,w], [b1,c1,w], [b1,d1,w], [a1,d1,w], [a1,c1,w]],
color=green, thickness=3):
plan := display(kon1, scaling=CONSTRAINED, orientation=[-90, 0], axes=NORMAL, thickness=5,
axesfont=[TIMES,ITALIC,16] ): plan;
xcel := 10: ycel := -10:
fpot := sqrt((x - xcel)^2 + (y - ycel)^2):
z := sqrt(((a1+x+abs(a1-x))/2 -
(b1+x-abs(b1-x))/2)^2 +
((c1+y+abs(c1-y))/2 -
(d1+y-abs(d1-y))/2)^2):
Fpot := plot3d(fpot(x,y) + 1/z(x,y)^2,
x=-14..14, y=-12..16,
thickness=2, scaling=CONSTRAINED, axesfont=[TIMES,ITALIC,16],contours = 30,
orientation=[-130,50], style=patchcontour, view=0..36, axes=BOXED, grid=[170,170]): Fpot;
```

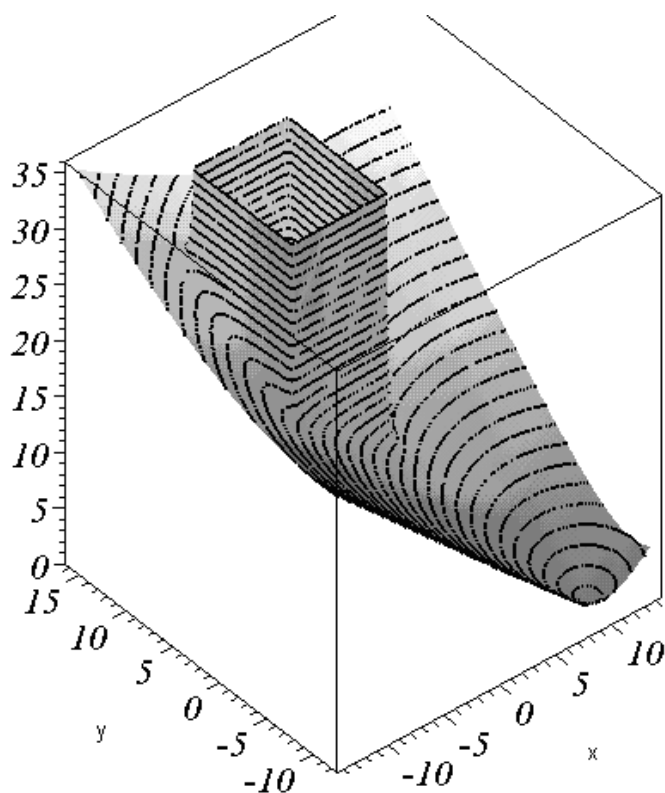


Рис. 1. Віртуальна потенціальна функція для перешкоди

```
replot( %, orientation=[-90,0], style=contour, contours = 30, color=red );
```

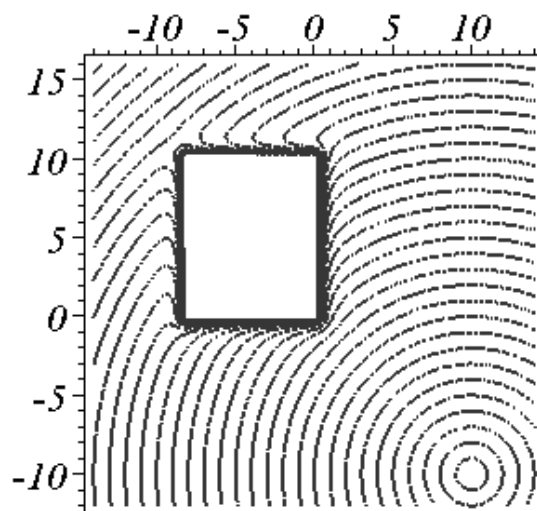


Рис. 2. Лінії рівня віртуальної потенціальної функції

```
display(Fpot, plan, plot3d(0, x=-14..14, y=-12..16, color=yellow));
```

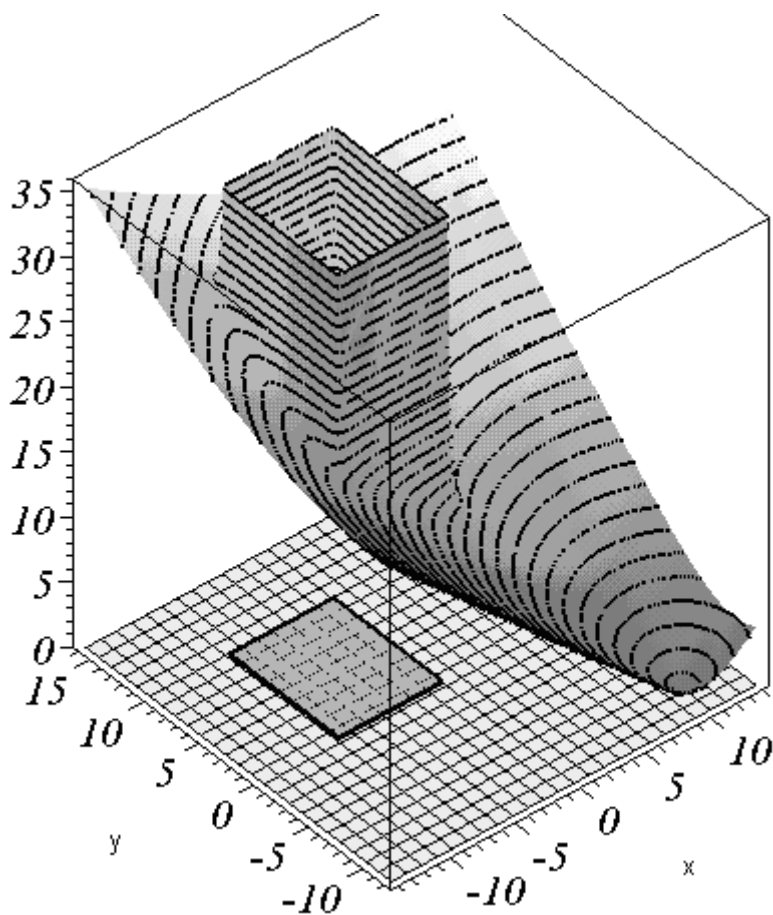


Рис. 3. Віртуальна потенціальна функція для перешкоди у вигляді прямокутника

Програма визначення відстані між «квадратом» і прямокутниками:

```

p := (a,b) -> (a+b-abs(a-b))/2:
kub := cuboid([-0.5, -0.5, 0],[0.5, 0.5, 0], color=yellow):

R := 0.5:
x := R*(.8158924396*cos(t)+.1359820733*cos(3.*t)-
      .8158924396*sin(t)+.1359820733*sin(3.*t));
y := R*(.8158924396*cos(t)+.1359820733*cos(3.*t)+
      .8158924396*sin(t)-.1359820733*sin(3.*t));
x := 0.4079462198 cos(t) + 0.06799103665 cos(3. t) - 0.4079462198 sin(t)
      + 0.06799103665 sin(3. t)
y := 0.4079462198 cos(t) + 0.06799103665 cos(3. t) + 0.4079462198 sin(t)
      - 0.06799103665 sin(3. t)
G[0] := plot([x(t), y(t), t=0..2*Pi],scaling=CONSTRAINED,
      thickness=5, axes=BOXED, color=black,
      axesfont=[TIMES,ITALIC,14]): G[0];
a1 := 3: b1 := 8: c1 := 6: d1 := 8:
a2 := -5: b2 := -2: c2 := 2: d2 := 7:
a3 := -8: b3 := -5: c3 := -5: d3 := -2:
a4 := 4: b4 := 8: c4 := -5: d4 := -2:
a5 := 5: b5 := 8: c5 := 2: d5 := 5:
kon1 := polygon([[a1,c1,0], [b1,c1,0], [b1,d1,0],
      [a1,d1,0], [a1,c1,0]], color=green, thickness=3):
kon2 := polygon([[a2,c2,0], [b2,c2,0], [b2,d2,0],
      [a2,d2,0], [a2,c2,0]], color=green, thickness=3):
kon3 := polygon([[a3,c3,0], [b3,c3,0], [b3,d3,0],
      [a3,d3,0], [a3,c3,0]], color=green, thickness=3):
kon4 := polygon([[a4,c4,0], [b4,c4,0], [b4,d4,0],
      [a4,d4,0], [a4,c4,0]], color=green, thickness=3):
kon5 := polygon([[a5,c5,0], [b5,c5,0], [b5,d5,0],
      [a5,d5,0], [a5,c5,0]], color=green, thickness=3):
display(kon1, kon2, kon3, kon4, kon5, kub, scaling=CONSTRAINED, orientation=[-90, 0],
      axes=NORMAL, thickness=5, axesfont=[TIMES,ITALIC,20] );

```

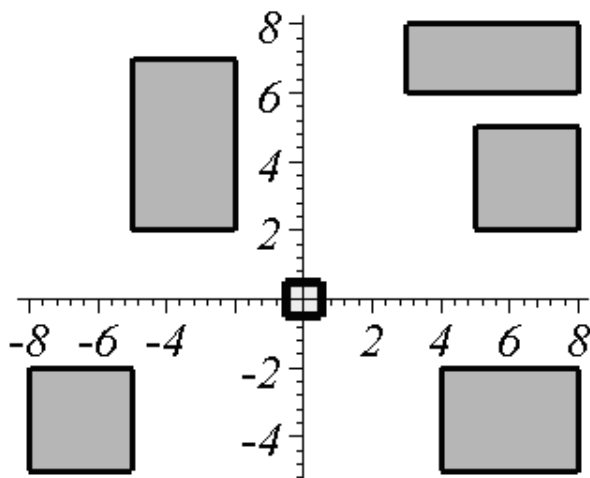


Рис. 4. П'ять прямокутників для тестового прикладу

$$z1 := \sqrt{\left(\frac{a1 + x + |a1 - x|}{2} - \frac{b1 + x - |b1 - x|}{2}\right)^2 + \left(\frac{c1 + y + |c1 - y|}{2} - \frac{d1 + y - |d1 - y|}{2}\right)^2}$$

$$z2 := \sqrt{\left(\frac{a2 + x + |a2 - x|}{2} - \frac{b2 + x - |b2 - x|}{2}\right)^2 + \left(\frac{c2 + y + |c2 - y|}{2} - \frac{d2 + y - |d2 - y|}{2}\right)^2}$$

$$z3 := \sqrt{\left(\frac{a3 + x + |a3 - x|}{2} - \frac{b3 + x - |b3 - x|}{2}\right)^2 + \left(\frac{c3 + y + |c3 - y|}{2} - \frac{d3 + y - |d3 - y|}{2}\right)^2}$$

$$z4 := \sqrt{\left(\frac{a4 + x + |a4 - x|}{2} - \frac{b4 + x - |b4 - x|}{2}\right)^2 + \left(\frac{c4 + y + |c4 - y|}{2} - \frac{d4 + y - |d4 - y|}{2}\right)^2}$$

$$z5 := \sqrt{\left(\frac{a5 + x + |a5 - x|}{2} - \frac{b5 + x - |b5 - x|}{2}\right)^2 + \left(\frac{c5 + y + |c5 - y|}{2} - \frac{d5 + y - |d5 - y|}{2}\right)^2}$$

plot({z1(t), z2(t), z3(t), z4(t), z5(t)}, t=-4..4, color=[gold, black, green, brown, blue], linestyle=[SOLID, DOT, DASH, DASHDOT], thickness=3, axesfont=[TIMES, ITALIC, 22]);

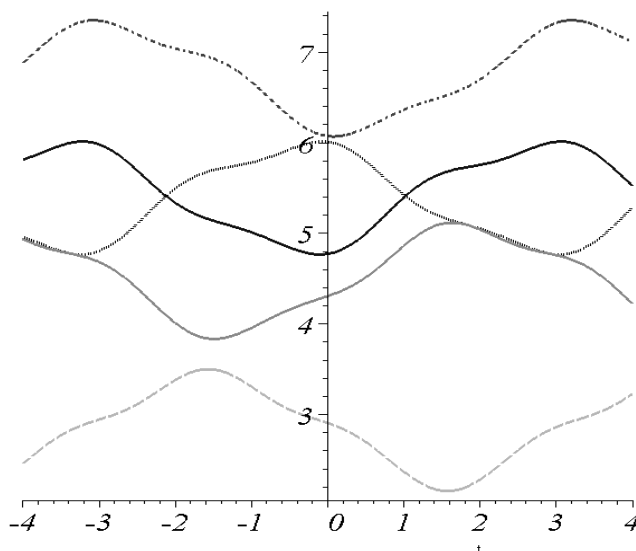


Рис. 5. Графік функцій $f_i(x, y)$

Z := p(p(p(z1(t), z2(t)), z3(t)), z4(t)), z5(t));
 plot(Z, t=-4..4, thickness=3, scaling=UNCONSTRAINED,
 axesfont=[TIMES, ITALIC, 22]); #, view=0..4);

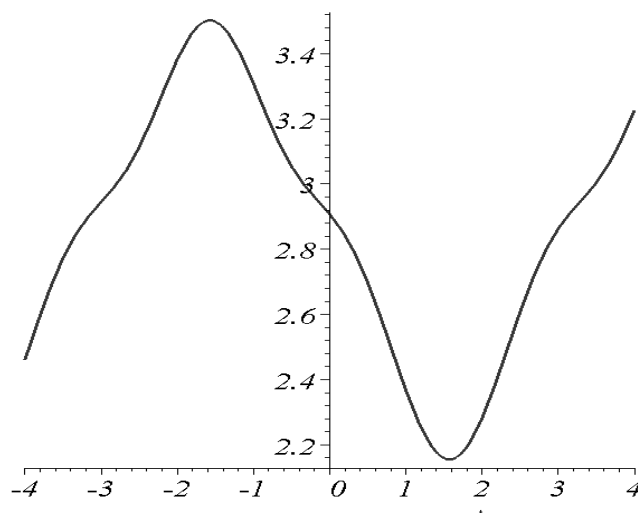


Рис. 6. Графік R – кон'юнкції

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Одержані програми, через опис та побудову графіку віртуальної потенціальної функції і смуги проходження серед перешкод, можуть

скласти основу варіанта автоматичного визначення траси мобільного автоматизованого транспортного засобу серед перешкод між точками площини з врахуванням цих перешкод.

Список використаних джерел

1. Антонов, Н. Новые возможности терминалов сбора данных [Текст] / Н. Антонов // Склад и техника. – 2006. – № 1. – С. 18-23.
2. Беспалов, Р.С. Транспортная логистика. Новейшие технологии построения эффективной системы доставки [Текст] / Р.С. Беспалов. – М.: Вершина, 2007. – 384 с.
3. Васильев, М.Ю. Логистика современных систем управления контейнерным терминалом [Текст] / М. Ю. Васильев, П.А. Аркин, И.Ю. Крылова. – СПб.: Известия СПбГТИ(ТУ). – 2008. – №3 (29). – С. 94-97.
4. Васильев, М.Ю. Использование информационно-логистических систем в управлении контейнерным терминалом [Текст] / М.Ю. Васильев // Проблемы современной экономики. – № 1(29). – 2009. – 0.35 п.л.
5. Васильев, М.Ю. Контейнерный терминал: логистика современных систем управления [Текст] / М.Ю. Васильев, И.Ю. Крылова // Экономика и менеджмент: сборник статей. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009. – Вып. 5. – 0.2 п.л.
6. Коган, Б.И. Автоматизированные транспортно-складские системы на участках механической обработки деталей [Текст]: учеб. пособие / Б.И. Коган. – Кемерово: КузГТУ, 2002. – 76 с.
7. Манжосов, Г.П. Современный склад. Организация и технология [Текст] / Г.П. Манжосов. – М.: КИА центр, 2003. – 224 с
8. Рикошинский, А. Решения по автоматизации управления складом [Текст] / А. Рикошинский // Современный склад. – 2007. – № 6. – С. 35-39.
9. Селифонов, Е. Path Tracing [Электронный ресурс] / Е. Селифонов, А.Тихомиров. – Режим доступа: <http://rain.ifmo.ru/cat>.
10. Платонов, А.К. Метод потенциалов в задаче прокладки трассы [Текст] / А.К. Платонов, И.И. Карпов, А.А. Кирильченко. – М.: Препринт Ин-та прикладной математики АН СССР, 1974. – 27 с.

11. Платонов, А.К. Метод потенциалов в задаче выбора пути: история и перспективы [Текст] / А.К. Платонов, А.А. Кирильченко, М.А. Колганов. – М.: И ПМ им. М.В. Келдыша, 2001. – 32 с.

12. Морозова, Г.В. Метод визначення траєкторії переміщення мобільного робота на площині серед перешкод [Текст] / Г.В. Морозова // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ, 2010. – Вып. 27. – С. 121-126.

Рецензент д-р техн. наук, професор Л.М. Куценко

Морозова Галина Вікторівна, канд. техн. наук, кафедра нарисної геометрії та комп'ютерної графіки Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-55. E-mail:galmor67@mail.ru.

Morozova Galina Viktorovna., Ph.D.. department of descriptive geometry and computer graphics Ukrainian State Academy Railway Transport. Tel.:(057)730-10-55. E-mail:galmor67@mail.ru.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА КОЛІЙНЕ ГОСПОДАРСТВО

УДК 528.1

МЕТОДИКА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КРИВИЗНЫ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАССЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Кандидаты техн. наук В.Н. Астахов, А.С. Саяпин, П.И. Лоцман

МЕТОДИКА ГЕОДЕЗИЧНОГО РОЗРАХУНКУ КРИВИЗНИ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАСИ ЗАЛІЗНИЦІ

Кандидаты техн. наук В.М. Астахов, О.С. Саяпін, П.І. Лоцман

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE GEODESIC CURVATURE OF THE STRUCTURAL ELEMENTS OF THE LINE OF THE RAILWAY

Cand. of tehn. sciences V.N. Astakhov, A.S. Sayapin, P.I. Lotsman

В работе показан расчет геодезических элементов площадных структур при трассировании. Установлены объективные факторы выделения границ таких структур. Детально раскрыт геометрический смысл кривизны территории. Математически обоснована классификация площадных объектов с учетом знаков горизонтальной и плановой кривизны.

Ключевые слова: геодезические элементы, плановая, вертикальная, горизонтальная кривизна, радиус, дуга, проекция Гаусса, уравнения кривизны.

У роботі показано розрахунок геодезичних елементів майданних структур при трасуванні. Встановлені об'єктивні чинники виділення меж таких структур. Детально розкрито геометричний сенс кривизни території. Математично обґрунтована класифікація майданних об'єктів з урахуванням знаків горизонтальної та планової кривизни.

Ключові слова: геодезичні елементи, планова, вертикальна, горизонтальна кривизна, радіус, дуга, проекція Гауса, рівняння кривизни.

The paper shows how to calculate the geodesic elements areal structures in tracing. Set of objective factors such as borders structures. Details disclosed geometric meaning of curvature territory. Mathematically justified the classification of polygon objects with signs of horizontal curvature and planning. The boundaries of the structural elements of the route are directly dependent on the value of the curvature described by the above differential equations. Thus, the selection of elements represent mathematical task and can be done by methods formalized track surface topographic analysis. background formalization available in classic definitions of curvature, and the feature points are not only the concept of characterizing the surface, important numerical characteristics of curvature. Objective result of the allocation of the boundaries of polygon objects can be obtained by taking into account the signs and magnitudes of the curvature of the track surface and the other morphometric variables.

Keywords: geodetic elements, planning, vertical, horizontal curvature, the radius of the arc, the projection of the Gauss curvature equation.

Постановка проблеми. Выделение структурных элементов территории проводимое при изысканиях трасс железных дорог начинается с камерального трассирования по топографической карте. При этом в выделенные элементы состоят из

массива характерных точек, одномерных элементов или структурных линий [2]. Каждая точка имеет различные численные характеристики, участки с близкими значениями характеристик объединяются в площадные объекты. Наиболее объективные

результаты при выделении таких объектов получаются с учетом знака и величины кривизны территории. Методика измерения кривизны современными геодезическими инструментами детально рассмотрена С.И. Матвеевым [3]. Геометрический смысл кривизны при этом раскрыт не был.

Анализ публикаций посвященных решению проблемы. Публикации посвященные проблеме расчета кривизны структурных элементов трассы основываются на данных о высоте, уклоне, ориентации структурных элементов. Расчет с учетом фактора кривизны производился фрагментарно. Хотя известно, что крутизна и ориентация структурных элементов являются составляющими одного целого, а именно взятого со знаком минус двухмерного вектора градиента высоты [4].

Целью исследования является расчет морфометрических факторов кривизны элементов трассы.

Основной материал. Для выяснения геометрического смысла рассмотрим произвольную плоскую кривую. Рассмотрим задачу нахождения длины дуги s кривой

$y=f(x)$ от точки $x=a$ до точки $x=b$, показанной на рис. 1, слева. Длину малого отрезка линии AC заменяем длиной отрезка прямой, соединяющей точки A и C . Мы рассматриваем только кривые без разрывов и изломов. Различием длины дуги от длины отрезка прямой порядка (Δx) и при переходе к пределу (к дифференциалам) можно пренебречь. Таким образом получим:

$$\Delta s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = (\Delta x) \sqrt{1 + \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)^2}. \quad (1)$$

Отсюда

$$\frac{\Delta s}{\Delta x} = \sqrt{1 + \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)^2}. \quad (2)$$

Переходим в последнем выражении к пределу, при $\Delta x \rightarrow 0$; при этом $\Delta y / \Delta x$ превращается в производную $y' = f'(x) = dy/dx$, где $f=f(x)$ — уравнение кривой линии. Таким образом получаем

$$ds = \sqrt{1 + f'^2(x)} dx = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (3)$$

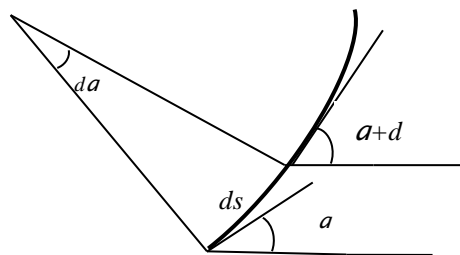
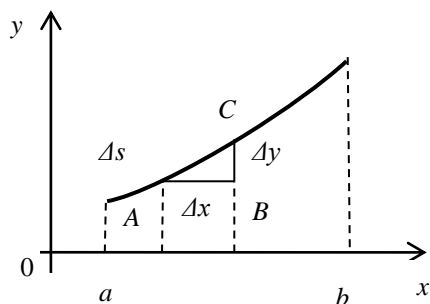


Рис. 1. Длина дуги и геометрический смысл дифференциала дуги и кривизны

Величина ds есть дифференциал дуги. В трехмерном случае дифференциал дуги равен:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}, \quad (4)$$

С длиной дуги связано определение радиуса кривизны R кривой в некоторой точке. Величину $1/R$ называют просто кривизной (чем

меньше радиус, тем круче заворачивается линия).

Возьмем малый участок кривой (рис. 1, справа) длиной ds и найдем угол между касательными к кривой в концах этого участка. Этот угол можно рассматривать как приращение da угла a наклона касательной к оси x . Проведем в двух соседних точках

нормали (перпендикуляры к касательным). Угол между нормальми равен углу da между касательными, согласно известной геометрической теореме. Отсюда можно найти расстояние R точки пересечения нормалей от кривой.

Будем рассматривать малый участок кривой как дугу окружности. Нормаль к окружности, очевидно, представляет собой радиус.

Точка пересечения нормалей есть центр окружности. Если бы кривая была окружностью, то $ds=Rda$ поскольку a - центральный угол равный длине дуги деленной на радиус на нее опирающийся, или

$$\frac{d\alpha}{ds} = \frac{1}{R}, \quad (5)$$

Эта величина постоянна для любого участка дуги окружности. Для бесконечно малого участка произвольной кривой эта величина является определением кривизны в данной точке. Пользуясь тем, что $a = \arctg y'$, следовательно:

$$d\alpha = d\arctg \frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dx}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \quad (6)$$

и формулой для ds можно найти выражение для кривизны

$$\frac{d\alpha}{dx} = \frac{1}{\left(1 + \frac{dy}{dx}\right)^{3/2}} \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{3/2}} = \frac{y''}{\left(1 + y'^2\right)^{3/2}}, \quad (7)$$

Знак кривизны da/ds совпадает со знаком второй производной y'' и характеризует направление выпуклости кривой. Если в точке x_0 величина $y'' > 0$ (рис. 2, а), то кривая вблизи

этой точки проходит выше касательной в этой точке и направлена выпуклостью вниз. Если $y''(x_0) < 0$ (рис. 2, б), то кривая проходит ниже касательной и направлена выпуклостью вверх.

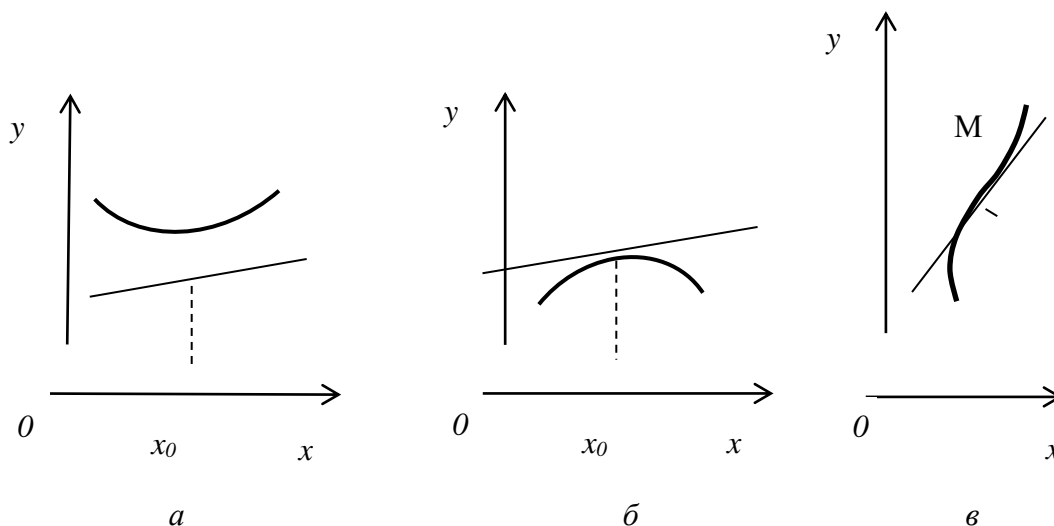


Рис. 2. Иллюстрация влияния знака кривизны на форму кривой

Может случиться, что $y''(x_0) = 0$, причем справа от x_0 (т. е. при $x > x_0$) $y''(x) > 0$, а при $x < x_0$ будет $y''(x) < 0$. Это значит, что справа от

точки x_0 кривая направлена выпуклостью вверх, а слева – выпуклостью вниз (рис. 2, в). В такой точке (точка M на рис. 2, в) кривая

переходит с одной стороны касательной на другую, в ней кривая меняет направление выпуклой «перегибается». Поэтому такие точки называют точками перегиба.

Доказано, что в трехмерном пространстве земной поверхности независимых кривых не две (горизонтальная и вертикальная), а три, и что для классификации форм земной поверхности требуется учесть знаки не менее чем пяти кривых.

К.Ф. Гаусс (1827) доказал, что введенная им так называемая полная (Гауссова) кривизна $K = k_{max}k_{min}$ не меняется при любом изгибании поверхности, не меняющем длины кривых на ней (т.е. когда поверхность не сминается и не растягивается). Эта теорема широко применяется в геодезии и картографии, например при проектировании объектов на Земле на поверхности типа конуса, разворачивающиеся в плоский лист без изменения длин кривых (так называемая проекция Гаусса) [5].

Дополнительно гравитационное поле выделяет в той же точке два других нормальных сечения – имеющее общую касательную с горизонталью и перпендикулярное ему, вдоль которого течет вода. Кривизны этих двух нормальных сечений и есть горизонтальная и вертикальная кривизны, соответственно.

Эти направления, как доказано выше, взаимно перпендикулярны, с ними вместе

взаимно перпендикулярны и эти выделенные нормальные сечения. Кривизна нормального сечения вдоль горизонтали называется горизонтальной кривизной, вдоль линии тока – вертикальной кривизной. В выборе знака кривизны имеется некоторый произвол; в науках о Земле принято считать кривизну положительной, если кривая нормального сечения обращена выпуклостью вверх и отрицательной – в противоположном случае.

Выведем вначале формулу для наделенной знаком кривизны горизонтали k_p , известной еще как плановая кривизна. Напомним, что абсолютное значение k_p есть $|d^2r/dv^2|$, или в векторном виде d^2r/dv^2 . Компоненты вектора d^2r/dv^2 можно найти, дифференцируя формулу; в результате находим для неособых точек $d^2r/dv^2 = -k_p dr/du$ где dr/du есть единичный вектор касательной к линии тока,

$$K_p = -(q^2r - 2pqs + p^2t) / (p^2 + q^2)^{3/2}, \quad (8)$$

где $r = d^2h/dx^2$, $s = d^2h/dxdy$, $t = d^2h/dy^2$.

Теперь формулу для горизонтальной кривизны k_h , можно найти по известной в дифференциальной геометрии поверхностей теореме Менье, согласно которой $k_h = k_p GF$; используя выведенное выше выражение для GF , находим для горизонтальной кривизны формулу

$$K = -(q^2r - 2pqs + p^2t) / [(p^2 + q^2)(1 + p^2 + q^2)^{1/2}], \quad (9)$$

знаки k_p и k_h , в неособых точках совпадают, но в отличие от k_h , плановая кривизна k_p (т.е. наделенная знаком кривизна горизонтали) стремится к бесконечности близ вершин холмов и лощин. Действительно вблизи этих особых точек горизонталь близка к окружности радиуса R , а потому $|k_p| \sim 1/R$, т.е. $|k_p|$ стремится к бесконечности при $R \rightarrow 0$. Это поведение k_p

делает на практике более предпочтительным использование горизонтальной кривизны k_h .

Из дифференциальной геометрии поверхностей известно, что средняя кривизна H в данной точке равна половине суммы любых двух взаимно перпендикулярных нормальных сечений, а потому $H = 1/2(k_v + k_h)$, где k_v есть вертикальная кривизна. Известная формула для H есть

$$H = -1/2 [(1 + q^2)r - 2pqs + (1 + p^2)t] / (1 + p^2 + q^2)^{3/2}, \quad (10)$$

откуда с помощью (3.5) и $H = 1/2(k_v + k_h)$ находим формулу для вертикальной кривизны

$$k_v = -(p^2r + 2pqs + q^2t) / [(p^2 + q^2)(1 + p^2 + q^2)^{3/2}], \quad (11)$$

т.е. кривизны профиля склона (в литературе ее называют еще профильной кривизной).

Выводы. Границы структурных элементов трассы напрямую зависят от значения кривизны описываемой приведенными выше дифференциальными уравнениями. Таким образом, выделение элементов представляют собой математическую задачу, и может быть проведено формализованными методами анализа топографической поверхности трассы.

Предпосылки формализации имеются в классических определениях кривизны, причем характерные точки являются не единственным понятием характеризующим поверхность, важны численные характеристики кривизны.

Объективный результат при выделении границ площадных объектов может быть получен с учетом знаков и величин кривизны поверхности трассы и других морфометрических величин.

Список использованных источников

1. Матвеев, С.И. Геометрия группового уравнения [Текст] / С.И. Матвеев // Геодезия и картография. – 1997. – №10. – С. 13-16.
2. Саяпін, О.С. Геодезичний контроль геометрії залізничної колії [Текст] / О.С. Саяпін, Ю.В. Щербина, П.І. Лоцман // Інженерна геодезія: наук.-техн. збірник. – 2008. – Вип. 52. – С. 172-176.
3. Зельдович, Я.Б. Элементы прикладной математики [Текст] / Я.Б. Зельдович, А.Д. Мишкис. – М.: Наука, 1972. – 78 с.
4. Цветков, В.Я. Геоинформационные системы и технологии [Текст] / В.Я. Цветков. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
5. Геодезія [Текст] / за ред. С.Г. Могильного, С.П. Войтенко. – 2-ге вид. – Донецьк, 2003. – Ч. 1. – 458 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.Н. Даренский

Астахов Віктор Миколайович, канд. техн. наук, професор кафедри колії та колійного господарства, перший проректор Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-01. E-mail: astahov@kart.edu.ua.

Саяпін Олександр Сергійович, канд. техн. наук, професор кафедри колії та колійного господарства, начальник центру оцінювання якості вищої освіти і дистанційного навчання Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-04. E-mail: sayapin_09@mail.ru.

Лоцман Павло Ігорович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту.

Astakhov Viktor, candidate of technical sciences, professor of Department "Road and Track facilities". Ukraine State Academy Transpor. E-mail:astahov@kart.edu.ua.

Sayapin Alexander, candidate of technical sciences, professor of Department "Road and Track facilities". Ukraine State Academy Transpor. E-mail: sayapin_09@mail.ru.

Lotsman Pavel, kand. tekhn. sciences, associate professor of Department "Road and Track facilities". Ukraine State Academy Transpor.

УДК 625.172:625.12(083.75)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОТЕКСТИЛЮ В КОНСТРУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Кандидати техн. наук О.М. Баль, В.В. Ковальчук,
інж. Б.В. Костик

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕКСТИЛЯ В КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Кандидаты техн. наук Е.М. Баль, В.В. Ковальчук,
инж. Б.В. Костык

INVESTIGATION OF EFFECTIVE USE OF GEOTEXTILES IN THE RAILWAY TRACK

Associate Professor Olena Bal, Ph.D. Vitaliy Kovalchuk, Bohdan Kostyk

Розроблено методику і побудовано алгоритм дослідження ефективності капітальних вкладень на підсилення конструкції колії за допомогою вкладання під баластний шар геотекстильних матеріалів. Проведено збір і опрацювання статистичного матеріалу для виконання експерименту. В результаті порівняння отриманих даних зроблено висновки, щодо доцільності використання геотекстильних матеріалів на ділянках в залежності від експлуатаційних та природних умов.

Ключові слова: геотекстиль, залізнична колія, земляне полотно.

Разработана методика и построен алгоритм исследования эффективности капитальных вложений на усиление конструкции пути с помощью вложения под балластный слой геотекстильных материалов. Проведен сбор и обработка статистического материала для выполнения эксперимента. В результате сравнения полученных данных сделаны выводы о целесообразности использования геотекстильных материалов на участках в зависимости от эксплуатационных и природных условий.

Ключевые слова: геотекстиль, железнодорожный путь, земляное полотно.

The method is developed and the algorithm of efficiency research of investments to strengthen railway track structures by means of laying in the ballast layer of geotextile materials is formed. Information gathering is conducted and processing of statistical data for the experiment. As a result of comparison of obtained data on the feasibility of using geotextile materials in areas depending on the operating and environmental conditions is made a conclusion.

Key words: geotextile, railway track, road bed.

Вступ. Застосування геотекстильних матеріалів в будівництві стрімко зростає. Вони використовуються у будівництві доріг, тунелів, залізниць, шляхопроводів для транспортування газів та рідин, для армування насипів, у гідротехнічному будівництві, будівництві дренажів і спортивних майданчиків.

Геотекстильними матеріалами називаються матеріали, у яких як мінімум одна зі складових частин виготовлена із синтетичних, або натуральних полімерів у вигляді плоских форм, стрічкових, або тривимірних структур, які використовуються в геотехніці, або застосовуються в інших

областях будівництва в контакт з ґрунтом та іншими будівельними матеріалами для підвищення технічних характеристик ґрунтів, або елементів будівельних конструкцій [1].

Найбільш характерними дефектами основної площадки є баластні заглиблення, які пов'язані з недостатньою міцністю ґрунтів земляного полотна. Що пояснюється збільшенням навантаження на земляне полотно та давністю побудованого земляного полотна. Для підвищення несучої здатності земляного полотна і попередження виникнення деформацій передбачаються заходи по глибокому очищенню щебеневого баласту,

плануванню основної площадки, а також влаштуванню захисних підбаластних шарів з геотекстилю.

Актуальність дослідження обґрунтовується необхідністю встановлення доцільності додаткових капітальних вкладень в підсилення конструкції залізничної колії геотекстильними матеріалами.

Постановка проблеми. Стабільність залізничної колії значною мірою залежить від стану земляного полотна. Одним із його важливих елементів є основна площадка, що визначає стабільність геометрії рейкової колії. Разом із тим, складні умови роботи ґрунтів основної площадки привели до широкого розповсюдження дефектів і деформацій цього елемента, що потребує збільшених витрат на поточне утримання колії. Одним із основних напрямків ресурсозбереження в колійному господарстві являється зменшення витрат на поточне утримання колії, яке можна досягти за рахунок використання нових ефективних матеріалів в конструкції залізничної колії.

В даній статті досліджується ефективність застосування геотекстильних матеріалів в конструкції залізничної колії в залежності від умов експлуатації. Оскільки на даний час практично не вивчено взаємозв'язок деформацій геометрії рейкової колії з наявністю і станом геотекстилю в її конструкції, а також відсутня кількісна оцінка ефективності використання геотекстилю на українських залізницях, не розроблені методи вибору матеріалу в залежності від експлуатаційних умов.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основою дослідження ефективності застосування геотекстильних матеріалів у конструкції залізничної колії є вивчення і аналіз попередніх праць стосовно властивостей, функцій, сфер застосування геотекстильних матеріалів, які висвітлені у роботах [1-6].

До геотекстильних матеріалів відносяться: геотекстилі, геосітки, георешітки, геомати, геомембрани, геотекстильні глиномати, геокомпозити [1].

Серед яких основними в застосуванні є геотекстилі. Це тонкі водопроникні еластичні полотна, отримані шляхом об'єднання ниток, або волокон із синтетичної сировини, величина вічок таких полотен менш 10 мм [3].

До основних функцій, які виконують геотекстильні матеріали можна віднести наступні:

1. *Поділ* – запобігання перемішуванню різних ґрунтів між собою на їх контакт при пошаровому укладанню.

При будівництві доріг зазвичай використовують щебінь. Але з часом на дорозі зі слабкою основою (глина, торф, або перезволожені ґрунти) утворюються колії або щебінь взагалі «тоне». Геотекстиль допомагає у вирішенні цих проблем, перешкоджаючи перемішуванню щебеневої засипки з основою, зберігаючи первинну товщину засипки, що в поєднанні зі значним модулем пружності самого геотекстилю дозволяє: значно збільшити несучу здатність такої конструкції; забезпечити підвищену ступінь ущільнення на етапі будівництва, запобігаючи втискуванню щебеню в м'яку основу; знизити руйнування доріг, що викликається дією морозу.

В результаті застосування геотекстилю, як розділового шару спостерігається зниження: витрат на укладання (зменшення використання щебеню для досягнення такої ж несучої здатності); часу будівництва за рахунок більш швидкого і якісного ущільнення; вартості технічного обслуговування і підвищення терміну працездатності конструкції.

Геотекстиль запобігає вимиванню піску, перемішування його з щебенем, або ґрунтовою основою, збільшує жорсткість конструкції і значно знижує ймовірність просадок, що полегшує ремонт і перепланування при значно менших матеріальних, трудових і часових затратах [4].

2. *Армування* – підвищення несучої здатності ґрунтів або ґрунтових конструкцій внаслідок перерозподілу в них розтягуючих напружень на геотекстиль або геотекстильподібні матеріали.

Поєднання високого початкового модуля пружності й видовження дає можливість матеріалу поглинати великі енергії. Це забезпечує йому підвищену міцність до руйнування під час укладання і виконує армуючу функцію при роботі. Крім того, геотекстильні матеріали не схильні до гниття, дії грибків і плісняви, проростання коренів [1].

Чистий баластний шар правильно передає навантаження з рейкової колії до основної площадки, рівномірно розподіляючи його по всій площині. При забрудненні, кут

внутрішнього тертя баласту зменшується і навантаження передається не на всю площину основної площадки, деформуючи баласт та земляне полотно.

Геотекстиль розділяє щебінь та ґрунт, перешкоджає проникненню забруднювачів із земляного полотна в баласт, а також протидіє проникненню фракцій баласту у земляне полотно. Геотекстиль також перерозподіляє напруження по всій площині основної площадки при забрудненому баласті, підвищує

несучу здатність колії, виконуючи армуючу функцію (рис. 1).

За результатами експериментальних досліджень моделей земляного полотна з різними варіантами армування основної площадки за допомогою геотекстилю В.Д. Петренка, В.Т. Гузченка, А.Л. Тюлькіна, А.М. Алхдура [6] доведено, що армування геотекстилем основної площадки земляного полотна дозволяє значно підвищити її міцність (до 1,5...1,6 разів).

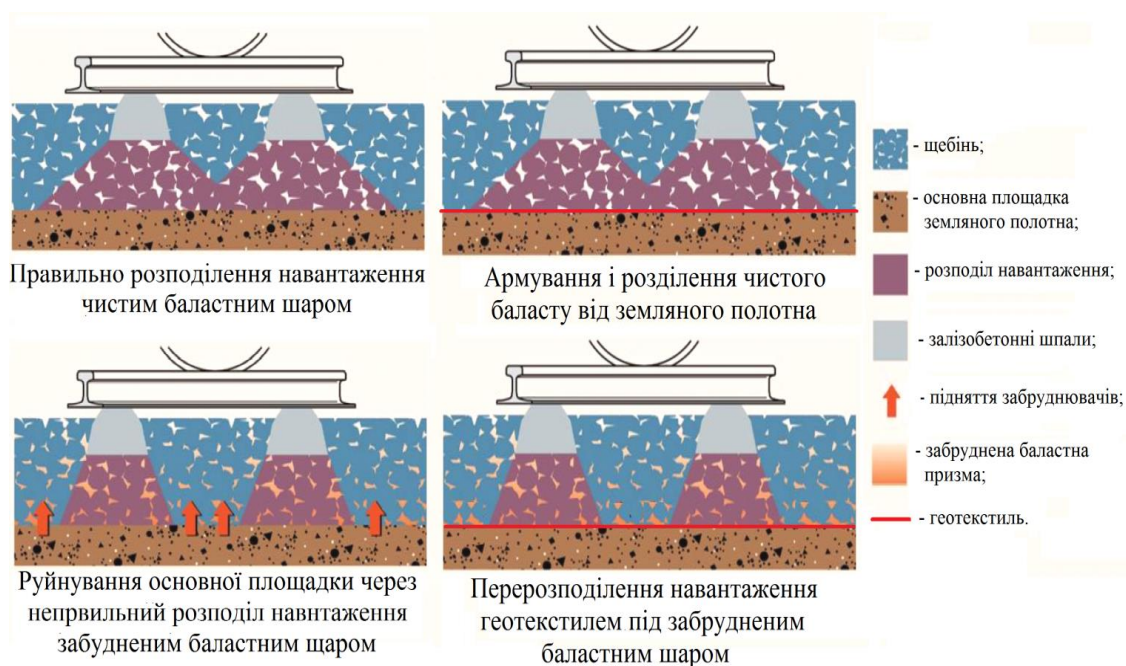


Рис. 1. Розподілення навантаження баластом від шпал до основної площадки земляного полотна і забруднення баласту часточками ґрунту

3. *Фільтрування* – затримування ґрунту або інших частинок, які під дією гідродинамічних сил потоку рідини можуть проникати чи проходити через геотекстиль або геотекстильоподібні матеріали. *Дренування* – збір і транспортування поверхневого стоку, ґрунтових вод чи інших рідин.

Фільтрація полягає в пропуску через геотекстиль ґрунтових вод із земляного полотна у верх до колійної структури без пропуску частинок ґрунту земляного полотна. Поперечний дренаж полягає у відведенні дощової води, яка проникає через баласт, а також води, яка піднімається перезволоженим ґрунтом основи у дренаючі кювети (рис. 2).

Найбільш ефективним технічним рішенням по попередженню забруднення баласту глинистими частинами та підсилення основної площадки, являється укладка підбаластного захисного шару із сортувального м'якого піску, поверх якого укладається геотекстиль. М'який пісок відфільтровує глинистий ґрунт, а геотекстиль – пісок. Потрібна для ефективного фільтрування товщина захисного шару – 0,2-0,4 м [3]. Таке рішення найдоцільніше при вологих ґрунтах та високому рівні ґрунтових вод і навіть в умовах артезіанських ґрунтових вод, які можуть знаходитися у виїмках.

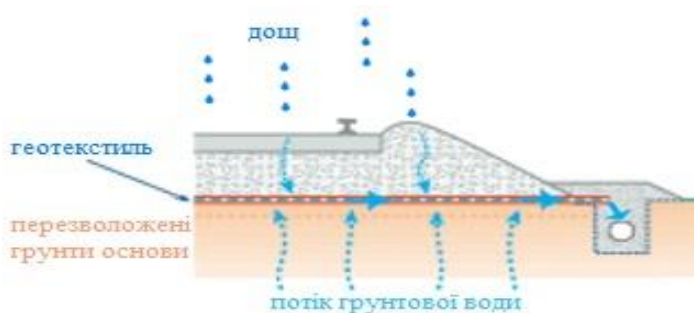


Рис. 2. Поперечний дренаж

4. *Захист* – запобігання або зниження можливості локального пошкодження певного елемента або матеріалу конструкції.

5. *Ізоляція* – запобігання міграції газу або рідини.

6. *Захист від ерозії* – стабілізація нестійких частин ґрунтів на похилих поверхнях [2].

Підсумовуючи попередні дослідження можна стверджувати наступне.

Проблеми накопичення пилу з ґрунтової основи, а також втрата несучої здатності основної площадки земляного полотна можуть бути вирішені застосуванням геотекстилю, в якості розділювача між ґрунтом основи та баластним шаром. При цьому геотекстиль виконує функції розполілу між ґрунтом основної площадки та баластним шаром, армування з ціллю утримання баластного шару, фільтрація ґрунтових вод, поперечного дренажу води, яка поступає зверху і знизу матеріалу всередині його площини, виводячи воду в дренажні канали [5].

У праці Бушуєва М. В. [7] проведено дослідження впливу геотекстилю на накопичення деформацій рейкових ниток за допомогою порівняння несправностей, зафіксованих на ділянках Октябрської залізниці протягом трьох років експлуатації [7]. Результати дослідження показали, що накопичення відступів у колії з геотекстилем протягом всього напрацювання тоннажу відбувається більш стабільно. При цьому кількість відступів залишається помітно меншою. Колія з геотекстилем не потребує ремонтів, які були виконані для колії без геотекстилю.

У даний час широко поширена думка, що застосування геотекстилю в конструкції баластної призми призводить до зниження кількості відступів другого і третього ступеня і зменшення витрат на поточне утримання колії.

Однак, як показує практика експлуатації, на ділянках з геотекстилем спостерігаються відступи другого і третього ступеня, причому навіть при невеликих напрацюваннях тоннажу. Практично не вивчено взаємозв'язок цих відступів з наявністю і станом геотекстилю. А також відсутня кількісна оцінка ефективності використання геотекстилю на українських залізницях, не розроблені методи вибору матеріалу і технології.

Враховуючи, що укладання геотекстилю пов'язане з додатковими капітальними вкладеннями, необхідно провести оцінку ефективності цих вкладень. Кількісну оцінку можна провести за результатами показань колієвимірвальних вагонів, порівнянням кількості несправностей геометрії рейкової колії на ділянках, де вже вкладений геотекстиль, і на ділянках, де він відсутній за однакових напрацювань тоннажу.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є оцінка ефективності застосування геотекстилю в конструкції верхньої будови колії.

Завданням дослідження є розробити методіку і програму дослідження ефективності геотекстилю в конструкції залізничної колії; зібрати і опрацювати статистичну інформацію стосовно роботи залізничної колії із геотекстильними матеріалами, проаналізувати отриману інформацію і сформулювати висновки.

Основна частина дослідження. Методика дослідження ефективності геотекстилю в конструкції залізничної колії розроблена на основі [8] і висвітлена в роботі [9].

Дослідження ефективності застосування геотекстилю в конструкції залізничної колії виконується згідно розробленого алгоритму досліджень зображеного на рис. 3.

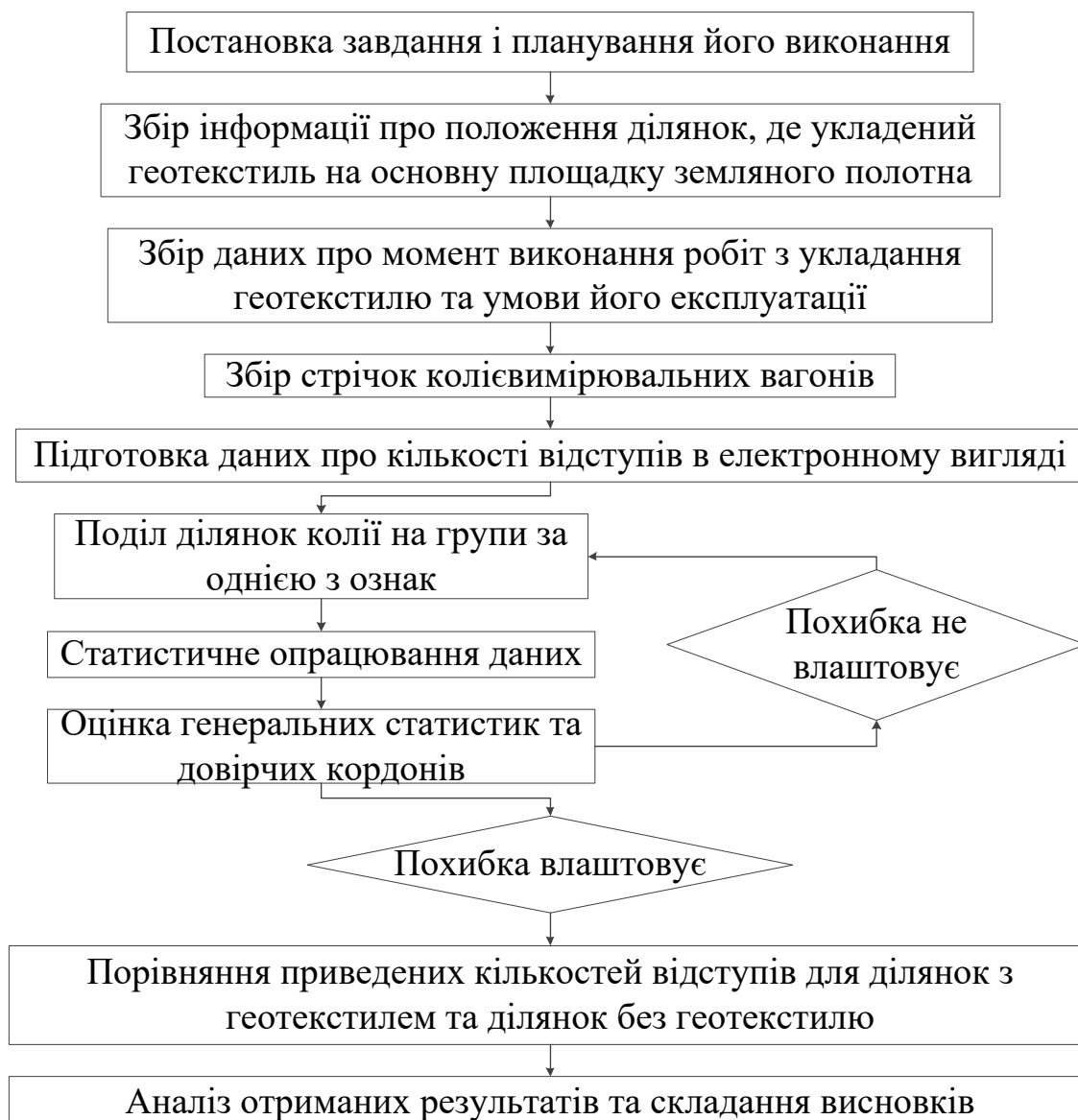


Рис. 3. Алгоритм проведення дослідження

Аналіз даних при цьому буде проводитись по сумі відступів за рівнем (перекуси і плавні відхилення) та осіданням. Для досягнення якнайбільшої однорідності зовнішніх умов експерименту ділянки залізниці, які порівнюються, необхідно групувати за умовами експлуатації, та природними умовами (рис. 4).

Економічний ефект від застосування геотекстилю в конструкції колії визначатиметься як різниця сум затрат на поточне утримання і ремонт колії у міжремонтному циклі при використанні геотекстилю та без нього.

Приклад практичних рішень. Для проведення дослідження проведено збір ділянок, на яких виконувався ремонт колії з вкладанням на основну площадку земляного полотна геотекстилю. Ділянки відібрані шляхом аналізу проектів виконання робіт з капітального ремонту чи модернізації колії. А саме у 2012 році при виконанні модернізації ділянок колії на наступних ділянках під очищений баласт вкрито геотекстиль: парна колія від 1644 км ПК3 + 49,8 м до ПК4 + 52 м та від 1646 км ПК8 + 61 м до 1647 км ПК0 + 09 м перегону Скотарське-Воловець; непарна колія від 84 км ПК9 + 14,7 м до ПК9 + 44,7 м та від 92 км ПК 5 + 48,7 м до ПК5 + 93,7 м перегону

Верба-Кам'яниця; непарна колія від 1449 км ПКЗ + 09 м до ПК4 + 29 м перегону Задвір'я-Борщовичі. Досліджувані ділянки знаходяться

в межах приблизно однакових природних умов. У табл. 1 приведено характеристики дослідних ділянок.

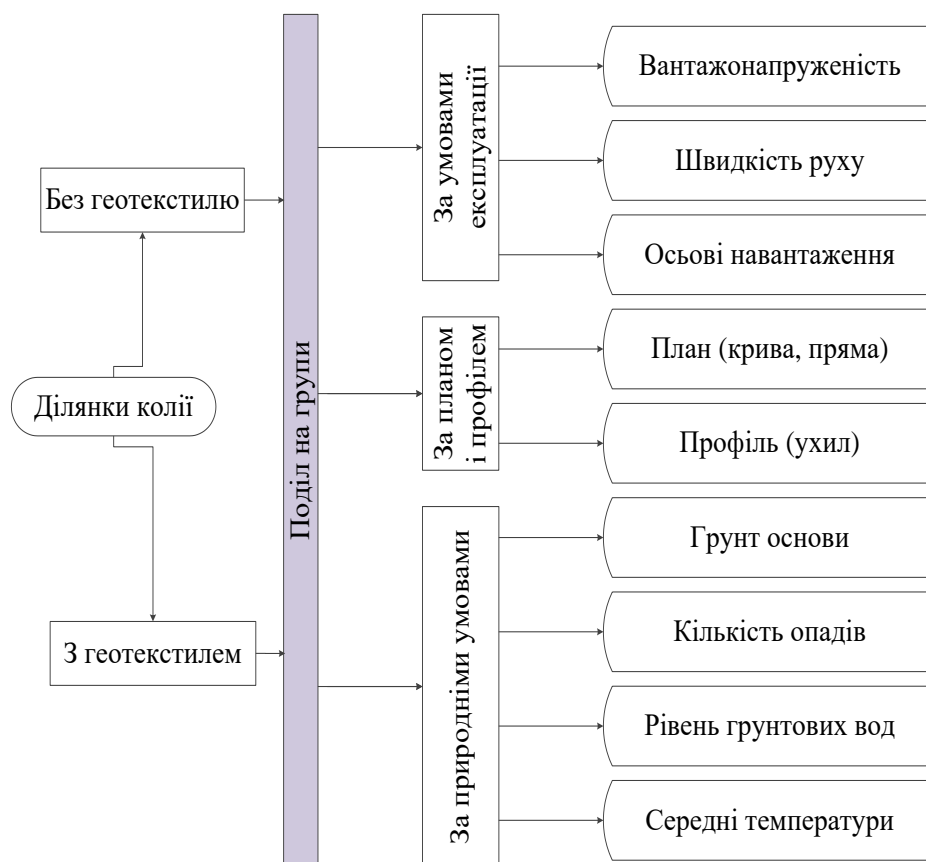


Рис. 4. Поділ досліджуваних ділянок колії на групи за характеристиками

Таблиця 1

Експлуатаційні умови досліджуваних ділянок

Перегін	Рік укладання геотекстилю	Вантажна напруженість, млн т км брутто/рік	Швидкості руху пас./вант., км/год	Локомотиви, що обертаються
Верба-Кам'яниця	2012	36	120/90	ВЛ80, ВЛ60, ЧС8, ЧС4
Задвір'я-Борщовичі	2012	45	120/90	ВЛ80, ВЛ60, ЧС8, ЧС4
Скотарське-Воловець	2012	32	80/60	ВЛ11

Для приведених вище ділянок зібрані стрічки колієвимірального вагона після виконання модернізації колії з вкладанням геотекстилю на кожен рік експлуатації. В якості ділянок без геотекстилю з аналогічними

експлуатаційними та природними умовами взято інші ділянки тих же напрямків, на яких виконувалась модернізація колії одночасно з досліджуваними ділянками. Для них теж зібрані стрічки колієвимірального вагона.

Зібрані стрічки є результатами вимірювань одного і того ж вагона колієвимірювача за один прохід на ділянках з геотекстилем та без нього. Зібрані стрічки колієвимірювального вагона проаналізовані за [10].

На дослідних ділянках вкрито геотекстиль невеликої довжини (30-120 м), тому показник, яким оцінюється кількість відступів другого і третього ступенів на кілометр колії замінено на показник, який оцінює кількість відступів на одну ланку залізничної колії, тобто на 25 м, тому формула для даного дослідження буде мати вигляд

$$B_{np} = \frac{\sum B_i}{n}, \quad (1)$$

де $\sum B_i$ – сума відступів другого і третього ступеня на всіх ланках; n – кількість ланок колії.

Дисперсія обчислюватиметься відповідно за формулою

$$D = \frac{\sum (B_i - B_{np})^2}{n - 1}. \quad (2)$$

Кількість відступів на ділянках при певному напрацюванні приведена в табл. 2.

Таблиця 2

Кількість відступів в залежності від напрацювання

Напрямок	Напрацювання t_i , млн т км брутто	Кількість відступів B_i	
		з геотекстилем	без геотекстилю
Скотарське-Воловець	10,67	1	7
	42,67	3	13
	74,67	0	9
Верба-Кам'яниця	12	1	14
	48	0	17
	84	1	15
Задвір'я-Борщовичі	15	0	40
	60	0	78

Під час проведення експерименту під спостереженням знаходиться група ланок колії, які працюють в однакових умовах. Період нагляду (напрацювання) з $t_1 = 10,76$ млн.т до $t_2 = 86$ млн.т, тобто $t = 73,24$ млн.т. За цей час зафіксовано відступів: на ланках з геотекстилем $\sum B_i = 6$ відступів, на ланках без геотекстилю $\sum B_i = 193$ відступів.

Таким чином, середнє напрацювання на відмову та довірчі кордони для ділянок з геотекстилем склали:

$$38,15 \leq 44,45 \leq 50,75 \text{ млн.т.}$$

Статистична похибка при цьому складає 14,17 %.

Середнє напрацювання на відмову та довірчі кордони для ділянок без геотекстилю склали:

$$43,62 \leq 43,67 \leq 43,72 \text{ млн.т}$$

Статистична похибка при цьому складає 0,11 %.

Як видно з проведеного розрахунку середні напрацювання на відмову на дослідних ділянках практично однакові. Проте на сьогодні ще не достатньо статистичної інформації для формування висновків.

З даного дослідження не можна зробити глобальних висновків про ефективність застосування геотекстилю для підсилення основної площадки земляного полотна через обмежену кількість статистичної інформації,

але продовження збору даних про поведінку колії на ділянках з геотекстилем, пошук нових ділянок та проведення інших досліджень можуть дати ґрунтовні результати і створити можливість суттєво зменшити експлуатаційні витрати, збільшити надійність колії шляхом застосування геотекстилю. Подальше проведення експериментів та аналіз досвіду використання геотекстилю на залізницях інших країн світу дозволить систематизувати поширені матеріали, які придатні для підсилення земляного полотна і дають найбільший економічний ефект, а також перевірити конкретні конструкції з використання в якості армування геотекстилю в різні умовах роботи.

Висновки з дослідження, перспективи, подальший розвиток. Розроблено методику і побудовано алгоритм дослідження ефективності капітальних вкладень на підсилення конструкції колії за допомогою вкладання під баластний шар геотекстилю. Дана методика передбачає аналіз накопичення відступів за рівнем, зафіксованих колієвимірвальним вагоном на ділянках, де вкладений геотекстиль, та на ділянках, де він відсутній, які діляться на групи з однаковими експлуатаційними і кліматичними умовами.

Проведено збір і опрацювання статистичного матеріалу для виконання

експерименту. В результаті проведення розрахунків виявилось, що застосування геотекстилю для підсилення основної площадки земляного полотна за три роки експлуатації конструкцій призвело до утворення меншої кількості деформацій колії за рівнем, ніж у ідентичних ділянках без застосування геотекстилю на 7,4 %. Це говорить про наявність позитивного ефекту у використанні геотекстилю для підсилення основної площадки земляного полотна.

Також визначено, що використання геотекстилю в конструкції колії за обмежений період дослідження дає приблизно однакове напрацювання.

Попередні результати свідчать про можливість збільшення надійності конструкції колії за допомогою геотекстилю, створення можливості суттєвого зменшення витрат на утримання колії. Продовження проведення експериментів з використанням геотекстилю для підсилення конструкцій колії, аналіз досвіду інших країн світу дозволять отримати ґрунтовні результати щодо економічної ефективності застосування геотекстилю та систематизувати конструкції колії з геотекстилем і поширені гетекстильні матеріали в залежності від умов роботи колії.

Список використаних джерел

1. Торик, Д.Р. Применение геосинтетических материалов для борьбы с растительностью [Текст] / Д.Р. Трорик, В.С. Желновач, В.А. Шахматов // Наук.-техн. зб. ХНАГХ – Харьков: ОАО «Укргідропроєкт», 2010. – № 97. – С. 106-112.
2. Мануйленко, В.Г. Геосинтетические материалы: классификация, свойства, область применения [Текст] / В.Г. Мануйленко, Е.Ф. Орел, О.В. Кабернюк, О.В. Слотюк // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 126. – С. 234-238.
3. Рекомендації щодо застосування геотекстильних матеріалів для капітального ремонту земляного полотна [Текст]: Затв. 14.04.2003 р., ЦП-3/14 / В.Д. Петренко, В.Т. Гузченко, О.Л. Тютькін, В.П. Купрій. – К., 2007. – 33 с.
4. Перков, Ю.Р. Повышение надежности дорожных конструкций путем армирования земляного полотна синтетическими материалами [Текст] / Ю.Р. Перков, А.П. Фомин // Труды ГипродорНИИ. – М., 1980. – №30 – С. 9-18.
5. Применение тканого геотекстиля «Геоспан» при строительстве железных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.domcomfort.ru/index.php?id=106>.
6. Результаты анализа параметров экспериментальных исследований армирования геотекстилем земляного полотна [Текст] / В.Д. Петренко, В.Т. Гузченко, А.Л. Тютькин, А.М. Алхдур // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту заліз. трансп. ім. академіка В. Лазаряна: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2010. – С. 131-135.
7. Бушуев, М.В. Эффективность применения геотекстиля в конструкции железнодорожного пути [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: специальность ВАК РФ 05.22.06 «Железнодорожный путь, изыскание» / М. В. Бушуев. – СПб., 2008.

8. Планирование эксперимента и анализ данных [Текст]: пер. с англ. / научн. ред. С.Б. Барон. – Л.: Судностроение, 1980. – 384 с.

9. Баль, О.М. Ефективність застосування геотекстилю в конструкції залізничної колії [Текст] / О.М. Баль, Б.В. Костик // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – Львів: Каменяр, 2014. – Вип. 10. – С. 221-228.

10. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії [Текст]: ЦП-0020. Затв. 01.05.2012. – К., 2012. – 168 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Й.Й. Лучко

Баль Олена МIRONIVNA, канд. техн. наук, доцент кафедри рухомого складу і колії Львівської філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел. 093-751-50-22. E-mail: olenabal@mail.ru.

Ковальчук Віталій Володимирович, канд. техн. наук, асистент кафедри рухомого складу і колії Львівської філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел. 097-223-72-43. E-mail: kovalchuk.diit@mail.ru.

Костик Богдан Васильович, майстер монтажних та будівельних робіт відокремленого підрозділу «Мостобудівельний поїзд № 63» Державного територіально-галузевого об'єднання «Львівська залізниця» Державної адміністрації залізничного транспорту України. Тел. 0938682262. E-mail: bodiakost@rambler.ru.

Bal Olena, PhD, Associate Professor, Associate Professor of rolling stock and railway truck department of Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lasarian.

Vitaliy Kovalchuk, Ph.D., assistant of rolling stock and railway truck department of Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lasarian.

Bohdan Kostyk, master installation works and construction works. The State Administration of Railway Transport of Ukraine "Ukrzaliznytsia", State Territorial Branch Association "Lviv Railway" (Derzhavne terytorialno-galuzeve obiednannya "Lvivska zaliznytsia"), Separated Subdivision "Bridge Building Train № 63" (Vidokremlenyi pidrozdil "Mostobudivelnii poizd № 63").

УДК 625.142

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В РЕЙКОШПАЛЬНІЙ ОСНОВІ КОЛІЙ НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Канд. техн. наук Н.В. Бугаєць

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕЛЬСОШПАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Канд. техн. наук Н.В. Бугаец

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF VIBRATION PROCESSES IN RAIL AND TIE ROAD BASE OF NON-PUBLIC TRACKS

Cand. of techn. sciences N.V. Bugaec

У статті приведені результати експериментальних досліджень по визначенню просторових вібрацій в баласті і на основній площадці земляного полотна для колій незагального користування. Показаний вплив на показники вібрацій технічних та експлуатаційних характеристик колії. Приведені основні етапи проведення цих експериментів.

Ключові слова: рейкошпальна основа, колії незагального користування, вібраційні процеси.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по определению пространственных вибраций в балласте и на основной площадке земляного полотна для путей

необщего пользования. Показано влияние на показатели вибраций технических и эксплуатационных характеристик пути. Приведенные основные этапы проведения этих экспериментов.

Ключевые слова: рельсошпальное основание, пути необщего пользования, вибрационные процессы.

In the article the basic results of experimental researches of spatial vibrating acceleration in a ballast and on the basic ground of earthen linen are resulted. Basic facilities of measuring are shown through which these experiments and methods of their check were carried out. The analysis of influence on the values of vibrating acceleration in a ballast and on the basic ground of earthen linen of rates of movement, axial loading and place of location of wheel in relation to a rail, and also size of joint gap is conducted. The changes of amplitude - frequency descriptions of vibrating acceleration depending on these parameters are shown.

Keywords: of the rail and tie bases, non-public tracks, vibration processes.

Вступ. В результаті досліджень [1,2], які проводилися на магістральних залізницях, було встановлено, що на інтенсивність накопичення залишкових деформацій впливає не тільки напружено-деформований стан елементів верхньої будови колії, але і вібрації, джерелом виникнення яких є різні нерівності на поверхні катання рейок.

На основі цих досліджень було встановлено, що при ізольованих синусоїдальних нерівностях на рейках з ухилом 2 і 8‰ швидкість накопичення осідань в рейковій основі при залізобетонних шпалах збільшується, відповідно, в 1,3 і 3,6 рази в порівнянні з осіданням ділянок колії з рівними рейками. Інформації щодо вібраційних процесів в рейкошпальній основі колій незагального користування в сучасній фаховій літературі немає.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Таким чином, ціллю експериментальних досліджень було визначено: встановлення рівня просторових вібрацій в баластному шарі та на основній площадці земляного полотна та встановлення впливу технічних та експлуатаційних характеристик колій незагального користування на вібраційні процеси в цих елементах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для умов магістральних залізниць експериментальні дослідження вібраційних процесів в баластному шарі та земляному полотні виконувалися в ВНДІЗТ протягом 70-80 років ХХ сторіччя [1,3,4].

Встановлено, що амплітудні значення прискорень в цих елементах залежать від швидкостей руху практично лінійно. Вплив

інших чинників – осьових навантажень, конструкцій колії, наявності рейкових стиків не встановлено [5,6,7].

Основна частина. Віброприскорення в баласті і на основній площадці земляного полотна вимірювались за допомогою датчиків ИС-312, загальний вид яких приведений на рис. 1.



Рис. 1. Вібродатчик ИС-312 С з жидкісним демпфуванням

Вібродатчик складається з пружної консольної балки рівного опору, що виконує роль пружини, одним кінцем жорстко закладена в основу, а на іншому закріплений вантаж. При русі основи датчика з прискоренням, підлягаюча вимірюванню сила інерції маси вантажу, згинає балку. Напруження вигину вимірюються за допомогою тензорезисторів ВЕ 350-10 АА з базою 10 мм, які були з'єднанні по напівмостовій схемі. В корпус вібродатчика заливалася демпфуюча кремнійорганічна рідина, в'язкість якої мало змінюється в межах широкого діапазону температур. Вібродатчики

підключалися через підсилювач типа TDA до вимірювального модуля Sigma USB.

Для прискорення проведення робіт два вібродатчики були поміщені в сталевий циліндровий корпус, який закривався герметично. Робочі площини вібродатчиків при установці в захисний корпус розташовувалися під кутом 90° , що дозволяло одночасно проводити вимірювання віброприскорень або у вертикальному і горизонтальному поперечному напрямках або, у вертикальному і горизонтальному повздовжньому.

Тарировка вібродатчиків була виконана в лабораторних умовах на електродинамічному стенді типа ВЕД-100 Б (рис. 2).



Рис. 2. Вібростенд ВЕД-100 Б

Тарировка полягала в установці залежності між величиною прискорення і відповідними числовими значеннями вимірюваних параметрів сили струму в тензорезисторах, при різних частотах гармонійних коливань. Тарировочні залежності була занесена в пам'ять комп'ютера.

Зміна середніх значень прискорення коливань баласту під приймаючим і віддаючим кінцями рейок зростає при зростанні швидкостей руху. В цілому, при швидкостях руху рухомого складу 5, 25 і 40 км/год прискорення коливань баласту, направлені вгору, під приймаючим кінцем рейок, відповідно в 1,5; 1,1-1,5 і 1,6-2,1 рази більше, ніж під віддаючим. Для прискорень коливань баласту, направлених вниз ці величини відповідно склали 1,5; 1,3 і 1,2 рази.

При збільшенні стикового зазора зростають прискорення коливань в зонах

стиків. Наприклад, при швидкості руху рухомого складу 40 км/год і зміні величини стикового зазора від 10 до 20 мм прискорення коливань шпал і баласту, розташованого під ним, зростають в 1,1-1,2 рази. Із збільшенням величини стикового зазора від 10 до 30 і від 10 до 40 мм ці прискорення зростають в 1,2; 1,1; 1,3 і 1,2; 1,8 і 1,4 рази. Отже, перевищення конструктивної величини стикового зазора в значній мірі сприяє втраті стабільності рейкової основи.

Для досліджень віброприскорень основної площадки земляного полотна вібродатчики, поміщені в захисний корпус, встановлювалися під рейкошпальну решітку на рівні основної площадки у основі баластної призми, для цього відкопувався баласт в шпальному ящику на повну глибину баластної призми, після установки вібродатчиків баласт засипався і ущільнювався, уздовж колії датчики встановлювалися в зоні стикових зазорів і в середній частині ланки. На рис. 3 представлені результати досліджень просторових вібрацій основної площадки колії із залізобетонними шпалами в зоні рейкових стиків від дії навантажених шлаковозів з об'ємом ковша 11 м^3 . Осьове навантаження складало 211 кН, швидкість руху 1,7 м/с. Вертикальна складова віброприскорень основної площадки характерна для частот 1-180 Гц, для горизонтальних складових окрім безперервного спектру співпадаючих по частотному діапазону з вертикальними відзначені максимальні спектри при більш високих частотах (260-280 Гц, 340-360 Гц). Більш чітко ця особливість виявляється для горизонтальних коливань уздовж колії.

Для виявлення більш характерних частот вібраційного процесу розрахований рівень вірогідності появи амплітуд віброприскорень на основній площадці (рис. 4). Найбільш інтенсивні вертикальні віброприскорення при частотах від 40-60 Гц. Вірогідність появи в загальному спектрі складає 41,7 %. Для горизонтальної складової віброприскорень зафіксовано декількох максимальних, з вірогідністю P_k для поперечників, при частотах 60-80 Гц – вірогідність $P_k=35,2\%$, при частотах 120-140 Гц $P_k = 18,8 \%$.

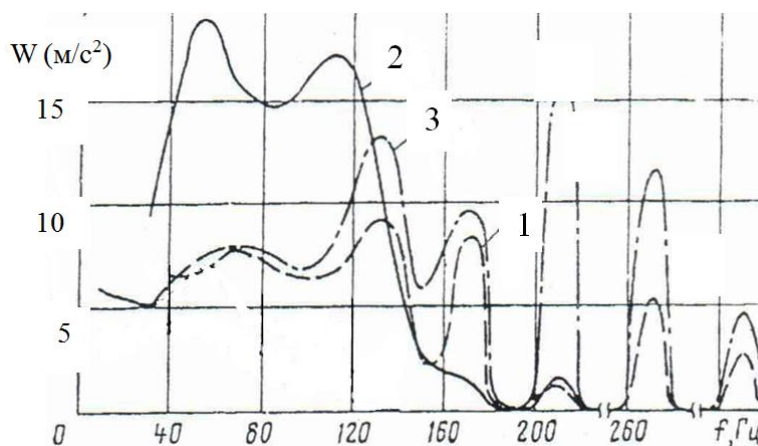


Рис. 3. Амплітудно-частотні спектри просторових віброприскорень основної площадки в перетині під рейкою:

- 1 – вертикальна складова коливань ґрунту;
- 2 – горизонтальна поперечна складова коливань ґрунту;
- 3 – повздовжня складова коливань ґрунту

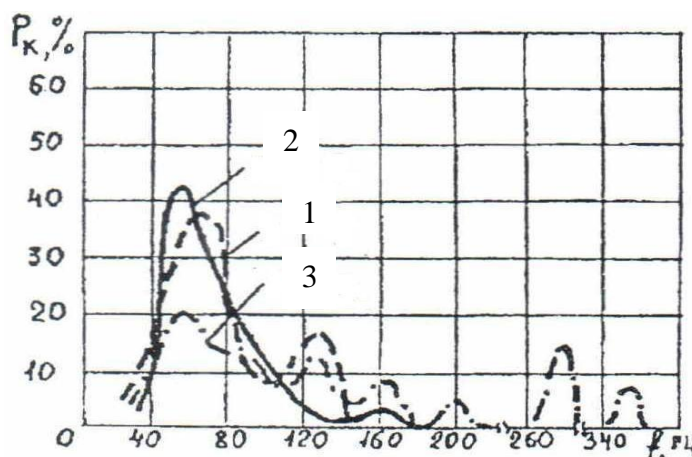


Рис. 4. Ймовірність P_k появи складових амплітуд віброприскорень в ґрунтах основної площадки в залежності від частоти коливань

В повздовжньому напрямку при частотах 40-60 Гц $P_k = 17,4 \%$, при частотах 120-140 Гц $P_k = 12,5\%$, при частотах 260-280 Гц $P_k = 13,9 \%$.

В кривих ділянках колії, особливо в кривих з радіусом менше 400 м, горизонтальні поперечні віброприскорення починають перевищувати значення віброприскорень у вертикальній площині. Так, в кривій $R=350$ м амплітуди віброприскорень горизонтальних поперечних коливань основної площадки земляного полотна в 2-3 рази перевищує амплітуди вертикальних складових. Очевидно це пов'язано з появою в кривих направляючих сил, що приводять до збільшення коливань на

основній площадці земляного полотна в поперечному напрямі. Підвищення швидкостей руху приводить до збільшення амплітуд віброприскорень на основній площадці земляного полотна по залежності, яка близька до лінійної. Так, зміна швидкості руху чавуновоза вантажопідйомністю 80 т, з осьовими навантаженнями 230 кН від 0,8 м/с до 1,7 м/с викликає збільшення вертикальних віброприскорень на 9%, від 1,7-3,4 м/с при зміні швидкостей на 8,5%. В зоні рейкових стиків при русі спеціальних і спеціалізованих вагонів, вертикальні віброприскорення в середньому в 4,8 рази більше, ніж в середній

частині ланки, приблизно так само стики впливають і на горизонтальні поперечні коливання основної площадки (збільшена в 3,6-4,2 рази).

Осьові навантаження чинять значний вплив на величини віброприскорень основної площадки [8]. На ділянках по яких обертається рухомий склад з осьовими навантаженнями до

353 кН вертикальні віброприскорення зросли на 35% в середині ланки, 45% в зоні стику в порівнянні з ділянками на яких обертається рухомий склад з осьовими навантаженнями до 216 кН. Залежність змін віброприскорень від величини осьових навантажень близька до лінійної (рис. 5).

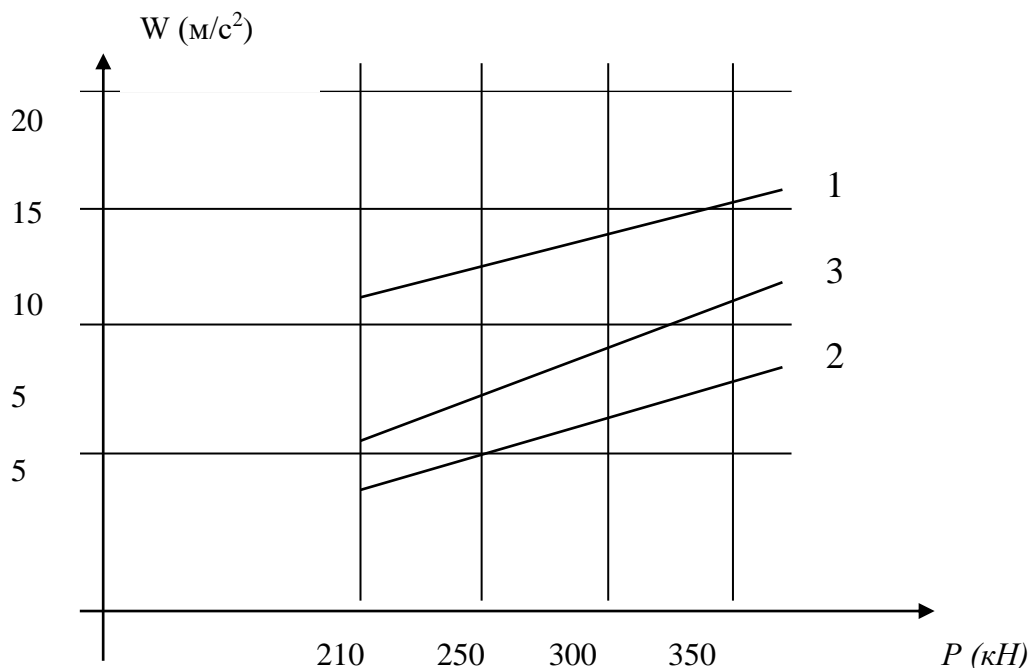


Рис. 5. Графік залежностей середньостатистичних значень віброприскорень на основній площадці земляного полотна від величини осьових навантажень: 1 – вертикальні; 2 – горизонтальні повздожні; 3 – горизонтальні поперечні

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, в результаті експериментальних досліджень встановлено рівень вібраційних прискорень в елементах рейкошпальної основи колій незагального користування.

Встановлено вплив, як конструктивних особливостей колії так і експлуатаційних

характеристик залізниць незагального користування на зміни цих параметрів. Це дає можливість більш обґрунтовано визначати напружений стан рейкошпальної основи, зокрема рівень допустимих напружень в цих елементах.

Список використаних джерел

1. Содержание балластной призмы железнодорожного пути [Текст] / под. ред. Е.С. Варызгина. – М.: Транспорт, 1978. – 142 с.
2. Холодецкий, А.А. Исследование влияния внешних сил на верхнее строение железнодорожного пути [Текст] / А.А. Холодецкий // Инженер. – 1896. - № 12. – С. 507-517, 1897. - № 1. – С. 8-22, № 2. – С. 66-76, № 3. – С. 124-131, № 4. – С. 183-193.
3. Вибрации грунта земляного полотна [Текст] / Г.Г. Коншин, А.П. Шмаков // Путь и путевое хозяйство. – 2011. - № 11. – С. 31-34.

4. Улучшение виброзащитных свойств пути с железобетонными шпалами [Текст] / В.Ф. Барабошин, В.С. Лысюк // Вестник ВНИИЖТ. – 1980. – № 1. – С. 48-51.

5. Земляное полотно железных дорог [Текст]: учеб. пособие / М.А. Фришман, И.Н. Хохлов, В.П. Титов. – М.: Транспорт, 1972. – 287 с.

6. Яковлев, В.Ф. Определение расчетных параметров пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью вибромашины [Текст] / В.Ф. Яковлев, И.И. Семенов, В.И. Абросимов // Труды ЛИИЖТа. – Л.: ЛИИЖТ, 1971. – Вып. 326. – С. 66-85.

7. Фришман, М.А. Экспериментальные определения жесткостей и неупругих сопротивлений пути [Текст] / М.А. Фришман, Л.Я. Воробейчик, Р.С. Липовской // Вестник ЦНИИ МПС. – М., 1970. – №8. – С. 31-35.

8. Бурчак, Г.П. Определение инерционных и диссипативных характеристик пути из опыта на вынужденном колебании [Текст] / Г.П. Бурчак, М.В. Вольнов // Труды МИИТ. – М.: МИИТ, 1976. – Вып. 542. – С.43- 68.

Рецензент д-р техн. наук, профессор О.М. Даренський

Бугаєць Наталія Володимирівна, канд. техн. наук, асистент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 730-10-50.

Bugaec Natalya Vladimirovna, cand. of techn. sciences, assistant of Department "Road and Track facilities" Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. 730-10-50.

УДК 625.14

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ ТИПУ СБ 3-0 МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Канд. техн. наук В.Г. Вітольберг

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ ТИПА СБ 3-0 МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Канд. техн. наук В.Г. Витольберг

MODELING OF WORK CONCRETE SLEEPERS TYPE SB 3-0 FINITE ELEMENT METHOD

Cand. of techn. sciences V.G. Vitolberg

За допомогою метода скінчених елементів розроблено моделі шпал типу СБ 3-0, скріплення типу КПП-5 та баласту, які дозволяють визначити напружено-деформований стан шпал цього типу, в тому числі в особливих умовах експлуатації колій незагального користування.

Ключові слова: скінчені елементи, проміжне рейкове скріплення, залізобетонна шпала, баласт

При помощи метода конечных элементов разработаны модели железобетонных шпал типа СБ 3-0, скрепления типа КПП-5 и балласта, которые позволяют определять напряженно-деформированное состояние этих элементов, в том числе в особых условиях эксплуатации путей необщего пользования.

Ключевые слова: конечные элементы, промежуточное рельсовое скрепление, железобетонная шпала, балласт.

Using the finite element method developed models of concrete sleepers type SB 3-0, fasteners type KPP-5 and ballast. Was modeled contact problem between the elements of the intermediate node bonds, as

well as the interaction of concrete tie ballast. The utilization of these models allows us to determine the stress-strain state of all the elements, including the special conditions of private usage.

Keywords: *finite elements, intermediate rail fasteners, concrete sleepers, ballast.*

Вступ. Математична модель просторової динамічної системи «екіпаж-колія» і її реалізація в програмній системі *Mathcad* дозволяє визначати просторові сили дії рухомого складу на колію, отримати значення навантажень від рейок на шпали у вертикальній і горизонтальній поперечній площинах [1, 2].

Проте, для визначення працездатності залізобетонних шпал та сфер їх застосування на ділянках залізниць незагального користування потрібно знати їх напружений стан.

Аналіз досліджень та публікацій. В цей час розрахунки залізобетонних шпал [3, 4, 5], які використовуються в інженерній практиці для визначення їх працездатності при високих осьових навантаженнях, обмежуються, як правило, визначенням напружень в підрейкової зоні при вертикальних навантаженнях. Рідше, в основному на стадії конструювання, виконуються розрахунки напружено-деформованого стану залізобетонних шпал з використанням розрахункової схеми у вигляді балки змінного (три ділянки) перетину, що спирається на суцільну пружну основу Вінклеровського типу. Тертя по нижній постелі і бічним граням, однобічність зв'язків шпал і баласту, нелінійність характеристик основи не враховуються. Дія горизонтальних поперечних сил замінюється дією зосереджених моментів, прикладених по середині підрейкової площадки [4, 6].

Таким чином, прийняті в даний час в практиці розрахунків напруженого стану залізобетонних шпал способи і моделі розрахунків мають високий ступінь ідеалізації і допущень, які можуть істотно викривляти реальний стан, давати занижені результати.

Постановка задачі. З урахуванням висловленого, в основу вибору методу і моделі розрахунку були прийняті наступні основні положення і допущення.

1. Рейки спираються на окремі опори-шпали, просторові сили взаємодії рейок і шпал мають пружно-дисипативний характер, у ряді випадків існує їх одностороння дія.

2. Залізобетонні шпали мають достатню складну форму, яка може істотно впливати на виникаючі в них напруги і деформації.

3. Залізобетонні шпали виготовляються заздалегідь напруженими. Попереднє напруження арматури складає 1170 МПа, загальна сила напруги всієї арматури – не менше 364 кН [4], що необхідно враховувати при розрахунках.

4. Між бічними і нижніми поверхнями шпал і баластом виникають як нелінійні пружні сили, так і сили зчеплення і тертя.

5. Матеріал баласту підкоряється нелінійному закону деформації з різними межами опору розтягуванню і стисненню.

6. Грунти основної площадки земляного полотна, як і баласт, мають нелінійні характеристики.

Основна частина. Цим положенням відповідає метод скінченних елементів (МСЕ) [7, 8], що є розвитком енергетичних методів розрахунків інженерних конструкцій.

Для вирішення задач тривимірного напруженого стану масивних конструкцій найбільш споживані скінченні елементи (СЕ) у вигляді тетраедра, призми, паралелепіпеда, мають по три невідомі вузлові переміщення в кожному вузлі і полілінійну апроксимацію переміщень u_x , u_y і u_z .

Матриці жорсткостей таких елементів приведені у ряді публікацій, наприклад [9, 10, 11]. Бібліотека скінченних елементів, вбудована в програмний комплекс [12], дозволяє виконувати моделювання залізобетонних шпал.

Таким чином, МСЕ відповідає викладеним вище вимогам, положенням і допущенням розрахунків просторового напружено-деформованого стану шпал в нелінійній постановці задачі з урахуванням виникаючих односторонніх сил моделі системи «екіпаж-колія».

Як комп'ютерна реалізація методу скінченних елементів в роботі був використаний програмний комплекс для розрахунків і проектування конструкцій "ЛІРА", версія 9.6 [13, 14, 15].

Контактна задача взаємодії усіх елементів скріплення вирішена за допомогою СЕ 265. Цей скінченний елемент об'єднує в спільну роботу суміжні вузли по поверхні підшви рейки і прокладки. За допомогою

цього СЕ між вузлами можна призначати 3 лінійні і 3 кутові зв'язки щодо осей X, Y, Z місцевої системи координат. В даному випадку в параметри жорсткості СЕ 265 входить одностороння жорсткість (тільки на стиснення) уздовж осі Z, перпендикулярної площини контакту, і жорсткості в площині контакту ХОУ, моделюючи в даному випадку тертя між нижньою гранню підшви рейки і підрейковою

прокладкою. Значення жорсткостей прокладок визначено в роботі раніше і залежить від рівня напруженого стану конструкції. Три зв'язки (на поворот щодо осей X, Y, Z), що залишилися, задано з «нульовою» жорсткістю, що аналогічно установці шарнірів. Розміщення ряду СЕ 265 в перетині при контакті підшви рейки та прокладки показано на рис. 1.

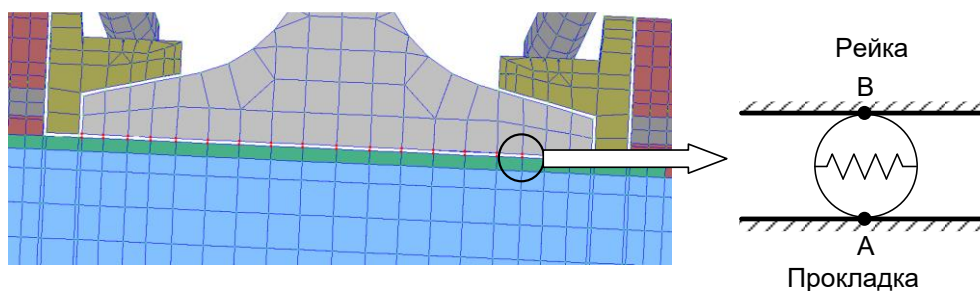


Рис. 1. Моделювання контакту підшви рейки з підрейковою прокладкою

В загальному випадку СЕ 265 – це двовузловий скінченний елемент односторонніх пружних зв'язків, дозволяє враховувати нерівні граничні (прямі і протилежні) зусилля в зв'язках, наприклад, граничне зусилля розтягування в зв'язку можна задавати нерівним зусиллю стиснення. При розрахунках в моделях в цих скінченних елементах визначаються зусилля в зв'язках, накладених уподовж відповідних осей системи. Знаки цих зусиль визначаються знаками різниць відповідних переміщень або поворотів.

Скінченні елементи 265 дозволили також виконати моделювання контакту між бічними гранями підшви рейки і ізолюючими

вкладишами та анкера (рис. 2). При цьому задавалася нескінченна одностороння жорсткість (тільки на стиснення) із зазором (щоб уникнути ефекту заклинювання підшви рейки при поворотах рейки) в напрямі перпендикулярному осі рейки. Залишені 5 зв'язків (лінійна вертикальна, лінійна горизонтальна у напрямі осі рейки, на поворот щодо осей X, Y, Z), задано з «нульовою» жорсткістю, що аналогічно установці шарнірів. Величина зазору була прийнята рівною 1 мм, що відповідає конструктивному зазору між бічними гранями підшви рейки і анкерами. Тільки після вибірки заданого зазору СЕ включається в роботу.

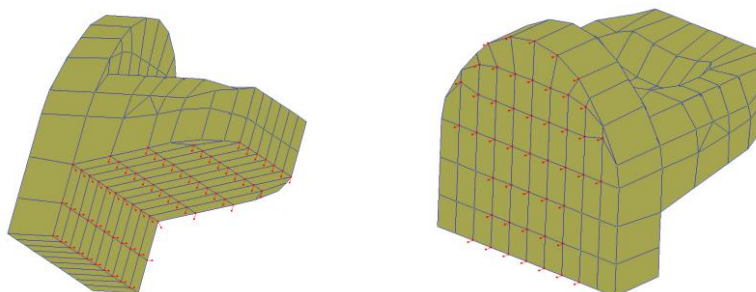


Рис. 2. Моделювання контактної задачі між боковими гранями підшви рейки і ізолюючого вкладиша та анкера

Підрейкова прокладка (рис. 3) моделювались з використанням SE 34 і SE 36 – універсальні просторові ізопараметричні шести і восьмиузлові скінченні елементи. При цьому коефіцієнт Пуассона, з урахуванням рифлений прокладок, приймався рівним 0.32÷0.41, а приведений модуль пружності прокладки визначався як

$$E = \frac{U_{pr}^{дин} \cdot h}{F},$$

де $U_{pr}^{дин}$ – жорсткість прокладки при її динамічному стисканні;

F – опорна площадка прокладки;

h – товщина прокладки.

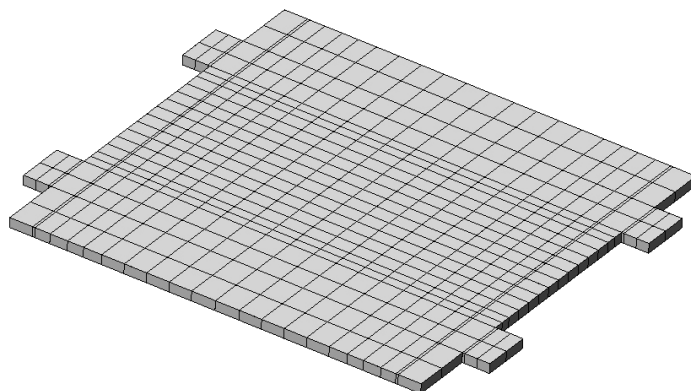


Рис. 3. Моделі підрейкової прокладки

При моделюванні залізобетонної шпали (рис. 4.) були використано три типи скінченних елементів: SE 34, SE 36 і SE 10. В параметри жорсткості SE 34 і SE 36, про які вже мовилося вище, в даному випадку були включені модуль

пружності, коефіцієнт Пуассона і густина бетону. SE 10 – це універсальний стержньовий елемент, який модулює роботу арматури з урахуванням зусиль попереднього натягнення.

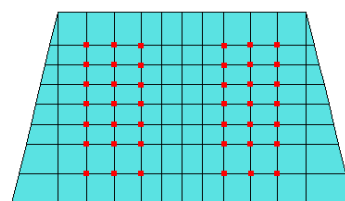
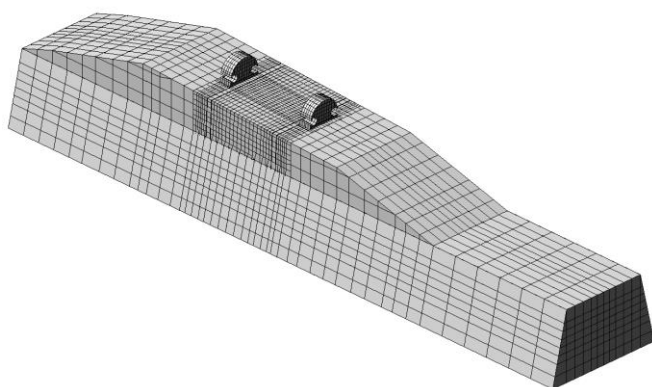


Рис. 4. Модель залізобетонних шпал СБ 3-0

Баласт моделювався із застосуванням трьох типів SE (рис. 5.):

– SE 274 – фізично нелінійний об'ємний шестивузловий ізопараметричний елемент ґрунту (довільна трикутна призма);

– SE 274 – фізично нелінійний об'ємний восьмиузловий ізопараметричний елемент ґрунту (довільний гексаедр);

– СЕ 56 – одновузловий скінченний елемент пружних зв'язків (для моделювання земляного полотна).

СЕ 274 і СЕ 276 призначені для моделювання односторонньої роботи, в даному випадку, баласту на стиснення з урахуванням зсуву. В параметрах жорсткості цих СЕ задаються:

- модуль деформації баласту по гілці первинного завантаження;
- коефіцієнт Пуассона;
- коефіцієнт переходу до модуля деформації по вітці вторичного навантаження;
- зчеплення баласта;
- гранична напруга при розтягуванні;
- кут внутрішнього тертя баласту;
- гранична напруга стискання.

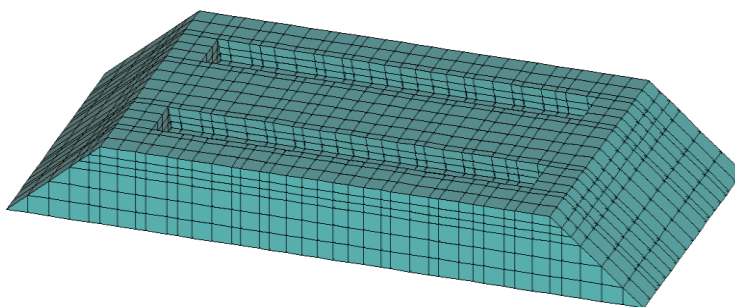


Рис. 5. Модель баласта

Контактна задача взаємодії поверхонь шпали (підшви і бічної поверхні) з баластом також вирішена за допомогою СЕ 265, властивості якого були розглянуті вище. В даному випадку в параметри жорсткості СЕ 265 входить одностороння жорсткість (тільки на стиснення) уздовж місцевої осі Z, завжди направленої перпендикулярно площини контакту, і жорсткості в площині самого

контакту XOY, що моделює тертя між поверхнею шпали і баластом.

Висновки. Таким чином, розроблені моделі, які на відміну від існуючих, дозволяють досліджувати об'ємний напружено-деформований стан залізобетонних шпал типу СБ 3-0 в умовах роботи колій як на магістральних залізницях, так і в особливих умовах експлуатації залізничних колій незагального користування.

Список використаних джерел

1. Даренський, О.М. Визначення приведеної вертикальної жорсткості рейкової нитки при використанні розрахункової схеми як балки на пружних опорах з випадковими характеристиками [Текст] / О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2010. – №115. – С. 151-162.
2. Darenkiy A., Vitolberg V. Results of researches by the numeral methods of vertical influences on the way of carriages of industrial transport at the railroad ties SB 3-0 // ТЕКА – Vol.12. – №4. – Р. 36-40.
3. Даніленко, Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст]: підручник для вищих навчальних закладів; у 2х томах / Е.І. Даніленко. – К.: Інпрес, 2010. – Том 2. – 456 с.
4. Железобетонные шпалы для рельсового пути [Текст] / А.Ф. Золотарский, Б.А. Евдокимов, Л.Г. Исаев, Л.Г. Крысанов [и др.]; под ред. А.Ф. Золотарского. – М.: Транспорт, 1980. – 270 с.
5. Шахунянц, Г.М. Железнодорожный путь [Текст]: монография / Г.М. Шахунянц. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
6. Исследование работ железобетонных шпал на промышленном железнодорожном транспорте [Текст]: сб. трудов / под. ред. Б.А. Евдокимова. – М.: Стройиздат, 1982. – 132 с.
7. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2005. – 343 с.

8. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных расчетах пространственных железобетонных конструкций [Текст] / С.Ф. Клованич, Д.И. Безушко. – ОНМУ, 2009. – 89 с.
9. Зенкевич, О.К. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О.К. Зенкевич. – М.: МИР, 1975. – 541 с.
10. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений [Текст] / А.С. Городецкий, В.И. Заварицкий, А.А. Рассказов, А.И. Лантух-Ляшенко. – М.: Транспорт, 1981. – 142 с.
11. Шайдуров, В.В. Многосеточные методы конечных элементов [Текст] / В.В. Шайдуров. – М.: Наука, 1989. – 349 с.
12. Программный комплекс “ЛИРА - Windows” III 1-8 [Текст]. – К.: НИИ АС, 1997. – 254 с.
13. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Кн. 1. Основные теоретические и расчетные положения [Текст]: руководство пользователя. – К.: НИИ АС, 2002. – 147 с.
14. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Кн. 2. Путеводитель [Текст]: руководство пользователя. – К.: НИИ АС, 2002. – 189 с.
15. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Кн. 3. Примеры расчета и проектирования [Текст]: руководство пользователя. – К.: НИИ АС, 2002. – 99 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор О.М. Даренський

Вітольберг Володимир Геннадійович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 730-10-60.

Vitolberg Vladimir Gennadievich, cand. of techn. science Department «Road and track facilities» Ukraine State of Railway Transport Tel.: (057) 730-10-60

УДК 622.822

ДИФУЗИОННАЯ МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

**Кандидаты техн. наук С.В. Воронин, А.А. Скорик,
студ. К.П. Лоцман**

ДИФУЗІЙНА МОДЕЛЬ СТІЙКОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

**Кандидати техн. наук С.В. Воронін, О.О. Скорик,
студ. К.П. Лоцман**

DIFFUSION MODEL OF SUBGRADE STABILITY

Cand. of techn. sciences S.V. Voronin, Cand. of techn. sciences O.O. Skoryk, Student K.P. Lotsman

В процессе эксплуатации железнодорожного пути, в результате ряда природных факторов и действующих нагрузок земляное полотно теряет устойчивость. Для оценки устойчивости предложена диффузионная модель, при расчете которой решаются задачи выявления главных факторов устойчивости и эволюции устойчивости, как склонов, так и земляного полотна в целом.

Ключевые слова: диффузия, координаты, ряд Фурье, уравнение баланса, профиль, уклон, балластная призма, склон, устойчивость.

У процесі експлуатації залізничної колії, в результаті ряду природних факторів і діючих навантажень земляне полотно втрачає стійкість. Для оцінки стійкості запропонована дифузійна модель при розрахунку якої вирішуються завдання виявлення головних факторів стійкості і еволюції стійкості як схилів так і земляного полотна в цілому.

Ключові слова: дифузія, координати, ряд Фур'є, рівняння балансу, профіль, ухил, баластна призма, схил, стійкість.

In the operation of the railway line, as a result of a number of natural factors and downloads terzetto roadbed stability. To assess the sustainability of proposed diffusion model in the calculation of which solves the problem to identify the main factors of stability and evolution of the stability of the slopes as well as the subgrade as a whole. These results give a clear mathematical formulation of the specific methods and approaches to the characterization of the stability of the roadbed. A solution to the problem of the roadbed on the basis of the diffusion model. Spatial coordinates of the model coefficients are variable, depending on many factors, chief among them the intensity of the dynamic effects of train loads. The model allows us to construct the concept of evolution of the subgrade, and to calculate the rate of undercutting, highlight the unstable mode of sustainable development.

Keywords: diffusion, coordinates, Fourier series, the balance equation, profil, slope, ballast prism slope.

Актуальность проблемы. При изучении состояния земляного полотна так или иначе возникает необходимость выявления причин его деформаций. Особенно велико количество обрушений, сплывов и т.д. на насыпях из глинистых грунтов. Причин нарушения устойчивости много и изучены они достаточно хорошо [4]. Но при этом оценка устойчивости насыпи производится на основе статистических расчетных схем, полученные при этом коэффициенты устойчивости не позволяют прогнозировать возможность возникновения деформаций.

В этом случае построения диффузионных моделей длительно эксплуатируемых насыпей, которые позволят выявить причину и кинетику деформаций.

Цель статьи. Построить систему уравнений диффузионной модели земляного полотна, позволяющих выделить основные факторы устойчивости данного объекта

Основу диффузионной модели составляет уравнение баланса материала [3]

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x} \quad (1)$$

где $q(x, t)$ — расход материала в каждой точке склона в произвольный момент времени t ;

$y(x, t)$ — координата относительной высоты в точке x на профиле земляного полотна в произвольный момент времени t .

Уравнение выводится на основании вывода баланса материала в элементарном объеме подвижного слоя грунта или потока воды. Принимая условие, что расход материала пропорционален градиенту высот (уклону)

имеем

$$q = -K(x, t) \frac{\partial y}{\partial x} \quad (2)$$

после подстановки выражения (1) в уравнение баланса (2) выводим диффузионную модель развития склона насыпи земляного полотна.

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(x, t) \frac{\partial y}{\partial x} \right). \quad (3)$$

Модель по своей структуре аналогична тем моделям, которые используются в теориях теплопроводности и диффузии, при этом выражение (3) аналогично эмпирическим законам Фурье и Фика, соответственно, в теориях теплопроводности и диффузии. Коэффициент в уравнении постоянен, что соответствует случаю постоянства интенсивности увлажнения грунта. Его структуры и свойств. Как оказалось, [5] эта модель хорошо описывает долговременную эволюцию склонов земляного полотна, выполаживание сплывы или оползание откосов. Диффузионные модели являются наиболее адекватными качественной концепции развития насыпи [4].

Коншиным Г.Г. приведен широкий круг краевых задач для уравнения диффузии с постоянным коэффициентом

$$\frac{\partial y}{\partial t} = K \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}. \quad (4)$$

Уравнение соответствует определенным схемам (изменение структуры, свойства и

состояния грунта, появление трещин и ослабленных по прочности зон, образование балластных корыт и др). Им также рассмотрен ряд пространственных задач. Математические решения всех задач взяты из фундаментальной работы по теории теплопроводности твердых тел [3].

В уравнениях частная производная отметок высот по времени $\frac{\partial y}{\partial t}$ в зависимости от своего знака характеризует скорость деформации (денудации или аккумуляции) на склоне. Так, если расход материала q вниз по склону на некотором его участке нарастает, то правая часть уравнения баланса будет отрицательной ($-\frac{\partial q}{\partial x} < 0$) и, следовательно,

произойдет денудация участка склона ($\frac{\partial y}{\partial t} < 0$).

В противоположном случае происходит аккумуляция материала. При этом предполагается, что ось X направлена от балластной призмы (или бровки склона) к основной площадке земляного полотна

Вторая частная производная в уравнении характеризует выпуклость или вогнутость профиля склона в зависимости от своего знака. Характер кривизны профиля связан однозначно со скоростью деформации согласно уравнению (4) следующим образом. Из анализа этого уравнения следует, как известно, что условие $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} < 0$ соответствует выпуклому участку профиля склона. Тогда из этого уравнения получаем $\frac{\partial y}{\partial t} < 0$, а это, как было показано

выше, соответствует наличию на этом участке денудации. Таким образом, на выпуклом участке склона происходит денудация.

При $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} > 0$, соответствующей

вогнутому участку профиля склона, имеем $\frac{\partial y}{\partial t} > 0$ и по данной модели на вогнутом участке склона происходит аккумуляция. Указанное справедливо только в случае постоянного коэффициента K .

Однако вышеприведенные уравнения учитывают не все факторы. Интенсивность динамического воздействия поездных нагрузок, расползание и др. приводит к необратимым деформациям. Для учета этих факторов мы решали задачу моделирования развития склонов насыпей на ограниченном отрезке с переменным по оси X коэффициентов, при этом было получено два типа рядов Фурье [1].

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (K_0 X \frac{\partial y}{\partial x}), y(l, t) = 0, y(x, 0) = f(x), \quad (5)$$

где X — расстояние, отсчитываемое вниз по склону в горизонтальном направлении;

$y(x, t)$ — высота соответствующая точке X и моменту времени t ;

l — общая длина моделируемого склона;

$f(x)$ — начальный профиль склона;

K_0 — постоянная величина зависящая от интенсивности нагрузок, интенсивности осадков, физических свойств поверхности склона и транспортируемых потоком частиц.

Решение задачи получим в виде

$$y(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \exp\left(\frac{K_0 \mu_n^2 t}{4l}\right) I_0\left(\mu_n \sqrt{\frac{x}{l}}\right); \quad (6)$$

$$C_n = \frac{2}{I_1^2(\mu_n)} \int_0^1 z f(lz^2) I_0(\mu_n z) dz,$$

где μ_n - корни уравнения Бесселя $I_0(z) = 0$ [2].

Из последнего решения получим решение при большом t когда члены ряда, начиная со

второго, пренебрежимо малы из-за экспоненциального характера, важное при анализе долговременной эволюции склонов.

$$y_{per}(x, t) = C_1 \exp\left(-\frac{K_0 \mu_n^2 t}{4l}\right) I_0\left(\mu_1 \sqrt{\frac{x}{l}}\right). \quad (7)$$

Такое решение называется регулярным. Оно показывает, что профиль склона со временем, сохраняет выпуклую форму (форму описываемую бесселевой функцией) понижается, выполаживается и все медленнее и медленнее стремится к горизонтальной поверхности, соответствующей предельному выравниванию склона.

Исследуем некоторые варианты формирования предельных профилей, исходя из стационарного уравнения (5), которое получается в случае, если положить $\frac{\partial y}{\partial t} = 0$, и их соответствие продольному профилю, полученному выше из анализа нестационарного регулярного решения (7). Рассмотрим два варианта при нулевом и ненулевом расходе воды в начальной (верхней) точке земляного полотна.

Первый интеграл стационарного уравнения при нулевом расходе воды в верхней точке склона равен $K_0 X \frac{\partial y}{\partial x} = C_1$ и так как при $X=0$ уклон ограничен, то $C_1=0$, а значит при $X>0$ уклон склона должен быть везде нулевым $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$, чтобы соблюдалось условие $C_1=0$. Таким образом, продольный профиль полностью должен выравниваться $y(x)=C_2=0$ при дополнительном условии наличия постоянного нулевого базиса денудации $y(l)=0$. Решение нестационарного уравнения (7) показывает, что уже в стадии регулярного режима уклон в начальной водораздельной точке становится равным нулю, что следует из анализа регулярного решения (5). Понижение отметок $y(X=0)$ при нулевом уклоне и при постоянном базисе денудации приведет к более быстрому понижению верхних частей земполотна. Это в свою очередь приведет к формированию выпуклой формы склона и дальнейшему полному выравниванию.

Предположим, что расход воды в верхней (начальной) точке не равен нулю $q(x)=\alpha X+q_0$. При этом формируется постоянный расход воды q_0 . В этом случае решение будет в корне

отличаться от предыдущего и будет формироваться вогнутый устойчивый профиль с предельной формой

$$y(x) = \frac{q_0}{\alpha \kappa} \ln\left(\frac{q_0 + \alpha l}{q_0 + \alpha X}\right), \quad (8)$$

где q_0 — значение расхода материала в точке $X=0$.

Здесь первая константа интегрирования связана с уклоном выражением $\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{C_1}{\kappa(\alpha x + Q_0)}$, то есть уклон вниз по склону убывает ($C_1 \neq 0$), что аналогично формированию вогнутого профиля. Но, чтобы C_1 была константой, необходимо предположить постоянный расход материала в точке, $X=0$ или задать постоянную высоту профиля в этой точке. И то и другое в процессе долговременной эволюции реальных склонов не соблюдается. Ясно, что поступление материала в точку $X=0$ (в процессе саморазвития) может только уменьшаться из-за выколачивания, что будет соответствовать стремлению к нулю расхода материала в точке, $X=0$ и мы снова придем к первому варианту модели $q = -\alpha \kappa x \frac{\partial y}{\partial x}$. Допустим, что все-таки расход материала, поступающий на склон с основной площадки, постоянен. Тогда следует предположить прогрессивное понижение этой области, а вместе с ней и высоты начальной точки склона, то есть опять, в итоге, приходим к полному выравниванию склона $y(x)=0$. Таким образом, отсюда следует, что выработанный (устойчивый) вогнутый профиль сам эволюционирует в сторону выпрямления и выколачивания.

Отметим, что согласно модели с линейно возрастающим расходом воды, вогнутые склоны будут размываться до тех пор, пока они не достигнут устойчивого (динамически-равновесного) состояния, которое соответствует предельному решению нестационарного уравнения или решению стационарного уравнения, которые совпадают. В то же время, если предположить, что

исходный профиль лежит ниже устойчивого при заданном на него поступлении материала с постоянным расходом q_0 с основной площадки земляного полотна, то на нем будет происходить аккумуляция этого материала до тех пор, пока он не достигнет равновесного состояния.

Выводы:

1. Полученные результаты дают четкую математическую постановку, конкретные методы и подходы к определению параметров устойчивости земляного полотна.

2. Получено решение задачи развития деформаций земляного полотна, исходя из

диффузионной модели. Пространственные координаты коэффициента модели переменны, зависят от многих факторов, главные из которых интенсивность динамического воздействия поездных нагрузок.

3. Модель позволяет построить концепцию эволюции земляного полотна, а также рассчитать скорость подрезания, выделить неустойчивый режим развития от устойчивого, а также сформировать подходы к управлению устойчивостью земляного полотна при эксплуатации железных дорог.

Список использованы источников

1. Зельдович, Я.Б. Элементы математической физики [Текст] / Я.Б. Зельдович, А.Д. Мышкинс. – М.: Наука, 1973. – 325 с.
2. Камке, Э. Справочник по дифференциальным уравнениям в частных производных первого порядка [Текст] / Э. Камке. – М.: Наука, 1966. – 260 с.
3. Карслоу, Г. Теплопроводность твердых тел [Текст] / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 487 с.
4. Коншин, Г.Г. Прогнозирование внезапных деформаций насыпей под поездами [Текст] / Г.Г. Коншин // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – №12. – С. 28-31.
5. Пикалов, А.С. Координатные методы контроля геометрии земляного полотна [Текст] / А.С. Пикалов, В.В. Щербаков, В.М. Круглов // Весник ПГУПС. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2010. – С. 121-124.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Н.П. Ремарчук

Воронін Сергій Володимирович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-66. E-mail: voronin.serгей@ukr.net.

Скорик Олексій Олексійович, канд. техн. наук, декан будівельного факультету, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту.
Лотцман К.П., студентка Української державної академії залізничного транспорту.

Voronin Sergey, kand. tekhn. sciences, associate professor, manager of department of build, travel and freight-unloading machines. Ukrainian state academy of railway transport. E-mail: voronin.serгей@ukr.net.

Skoryk Alexei, dean building department, kand. tekhn. sciences, associate professor of Department "Road and Track facilities". Ukrainian state academy of railway transport.

Lotsman K., student of Ukrainian state academy of railway transport.

УДК 625.143

АНАЛІЗ РОБОТИ СКРІПЛЕНЬ ТИПУ КПП-5 ПРИ КРУЧЕННІ РЕЙКИ

Д-р техн. наук О.М. Даренський,
магістранти Я.В. Бойко, В.І. Дувалко

АНАЛИЗ РАБОТЫ СКРЕПЛЕНИЙ ТИПА КПП-5 ПРИ КРУЧЕНИИ РЕЛЬСА

Д-р техн. наук А.Н. Даренский,
магистранты Я.В. Бойко, В.И. Дувалко

AN ANALYSIS OF WORK OF FASTENINGS IS AS KPP-5 AT TWISTING OF RAIL

Doct. of techn. sciences A. Darenskiy,
magistrants Y.Boiko, V. Duvalko

Розглянуто роботу проміжного скріплення типу КПП-5 при крученні рейки. Отримано розрахункові рівняння, які дозволяють визначити крутний момент, сили натиснення клем при повороті рейки, жорсткість вузла скріплення при крученні рейки, а також розрахункову схему для визначення жорсткості скріплення типу КПП – 5 при крученні рейки.

Ключові слова: проміжне скріплення КПП-5, жорсткість при крученні.

Рассмотрена работа промежуточного скрепления типа КПП-5 при кручении рельса. Получены расчетные уравнения, которые позволяют определить крутящий момент, силы нажатия клемм при повороте рельса, жесткость узла скрепления при кручении рельса, а также расчетную схему, для определения жесткости скрепления типа КПП – 5 при кручении рельса.

Ключевые слова: промежуточное скрепление КПП-5, жесткость при кручении.

Work of the intermediate cleating of type of KPP-5 is considered at twisting of rail. Calculation equalizations, which allow to define a twisting moment, forces of pressure of terminals at the turn of rail, are got, inflexibility of knot clamps at twisting of rail, and also calculation chart, for determination of inflexibility of cleating of type of KPP – 5 at twisting of rail. Calculations of claotype filaments on twisting at application of fastenings as KPP-5 restrains temper in connection with null information both about work of fastenings at twisting of rail and actual value of inflexibilities of subclaotype basis at twisting. Therefore an analysis of work of fastening of KPP-5 at twisting of rail is a pressing question. Boltless intermediate binding to the resilient terminals as KPP- 5 does not contain the row of failings which are present at fastening as KB. Therefore a technical policy from the improvement of construction of RRG foresees expansion of ground of conclusion and exploitation exactly of such construction of the intermediate fastening .

Keywords: intermediate cleating of KPP-5, inflexibility at twisting.

Вступ. Проміжні рейкові скріплення КПП-5 дозволені до використання на магістральних залізницях України з 2003 року. Нормативні документи дозволяють укладання безстикової колії з цими скріпленнями на ділянках з будь-якою вантажонапруженістю в прямих і кривих ділянках з радіусами 350 м і більше.

Враховуючи, що скріплення КПП-5 має суттєві переваги в порівнянні з скріпленням КБ – малоелементність, економія металу, відсутність різьбових з'єднань, використання

пружних клем, можна припустити, що така конструкція знайде використання і на промисловому транспорті в певних умовах експлуатації.

Постановка проблеми. При дії на залізничну колію горизонтальних поперечних сил рейкова нитка працює не тільки на згин, але і на кручення. Нормальне та дотичне напруження в рейках, які викликають саме кручення можуть досягати 30-45% від загального напруження, які викликаються саме поперечними силами. Але розрахунки рейкових

ниток на кручення при застосуванні скріплень типу КПП-5 стримуються в зв'язку з відсутністю інформації як про роботу скріплень при крученні рейки, так і фактичне значення жорсткостей підрейкової основи при крученні. Тому аналіз роботи скріплення КПП-5 при крученні рейки є актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання, що стосуються жорсткостей підрейкової основи при вертикальних горизонтальних повздовжніх та горизонтальних поперечних силах розглядалось в роботах багатьох вчених, а саме: Членова М.Т., Когана А.Я., Клинова С.І., Боченкова М.С., Альбрехта В.Г., Карпуценка М.І. Розглядалися підрейкові основи при дерев'яних та залізобетонних шпалах зі скріпленням КБ [1-5,7,9]. У роботах [6] та [7] розглянута жорсткість підрейкової основи або рейкових опор, в тому числі при шпалах СБ-30 зі скріпленням КПП-5, однак у

зазначених роботах питання роботи скріплень КПП-5 при крученні рейок не розглядалось.

Формулювання мети статті. Метою статті є аналіз роботи скріплення КПП-5 при крученні рейки та встановлення впливу жорсткостей пружних елементів цього скріплення на формування параметру, що досліджується.

Основна частина дослідження. При дії на вузол скріплення крутного моменту $M_{кр}$, перетин рейки обернеться на кут $\Delta\varphi$, величину якого, з причини малості, можна отримати (рис. 1):

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{b}, \text{ (рад)} \quad (1)$$

де Δy_1 і Δy_2 - додаткові переміщення кромки підосви рейки при повороті перетину (m);
 b - ширина підосви рейки (m).

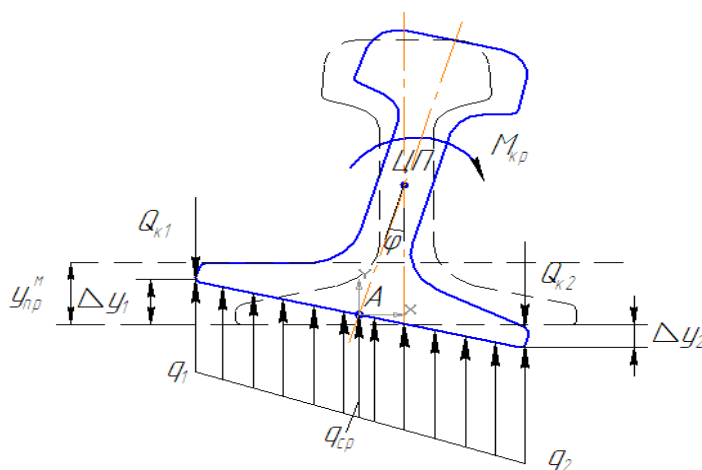


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення жорсткості скріплення типу КПП-5 при крученні рейки

Жорсткість вузла скріпляє при крученні:

$$C_\varphi = \frac{M_{кр}}{\Delta\varphi} \text{ (кН/рад)}$$

Умови рівноваги моменту $M_{кр}$, моментів

сил клемного натиснення $Q_{к1}$ і $Q_{к2}$ і моменту нерівномірно розподіленого опору підрейкової прокладки стисненню, відносно центру повороту перетину рейки (ЦП) має вигляд

$$M_{кр} + Q_{к2} \frac{b}{2} - \frac{q_2 - q_{cp}}{2} \frac{b^2}{8} + \frac{q_{cp} + q_1}{2} \frac{b^2}{8} - Q_{к1} \frac{b}{2} = 0$$

Після перетворень отримаємо:

$$M_{кр} = (Q_{к2} - Q_{к1}) \frac{\vartheta}{2} + (q_2 - q_1) \frac{\vartheta^2}{16}, \quad (2)$$

де $Q_{к1}$ і $Q_{к2}$ - сили натиснення клем при повороті рейки, кН;

q_1 і q_2 - інтенсивності по кромках підшови нерівномірно розподіленого опору підрейкової прокладки при її нерівномірному стисненню, кН/м.

Сили натиснення клем при повороті рейки

$$Q_{к1} = Q_{кл}^M - \Delta Q_{к1} = Q_{кл}^M - \mathcal{J}_{кл} \cdot \Delta y_1;$$

$$Q_{к2} = Q_{кл}^M - \Delta Q_{к2} = Q_{кл}^M - \mathcal{J}_{кл} \cdot \Delta y_2.$$

Тоді

$$Q_{к2} - Q_{к1} = \mathcal{J}_{кл} (\Delta y_1 + \Delta y_2).$$

Аналогічно можна отримати:

$$q_2 - q_1 = \frac{u_{пр}^{дин}}{\vartheta} (\Delta y_1 + \Delta y_2)$$

Тоді рівняння (2) матиме вигляд:

$$M_{кр} = \mathcal{J}_{кл} (\Delta y_1 + \Delta y_2) \frac{\vartheta}{2} + u_{пр}^{дин} \frac{(\Delta y_1 + \Delta y_2) \vartheta^2}{\vartheta \cdot 16}$$

Підставляючи значення $\Delta \varphi$ з рівняння (1) отримаємо:

$$M_{кр} = \mathcal{J}_{кл} \Delta \varphi \frac{\vartheta^2}{2} + u_{пр}^{дин} \Delta \varphi \frac{\vartheta^2}{16}.$$

Переходячи до жорсткості скріплення при крученні:

$$C_{\varphi} = \mathcal{J}_{кл} \frac{\vartheta^2}{2} + u_{пр}^{дин} \frac{\vartheta^2}{16}, \text{ кН/рад} \quad (3)$$

Висновок. Таким чином, просторова жорсткість скріплення типу КПП-5 визначається жорсткістю пружинних клем $\mathcal{J}_{кл}$, жорсткістю підрейкових прокладок при стисненні при статичному $u_{пр}^{ст}$ і динамічному $u_{пр}^{дин}$ завантаженні, жорсткістю ізолюючого вкладиша при зрушенні рейки $u_{вк}$ і жорсткостями підрейкових прокладок при їх зрушенні в поперечному $u_{пр}^{\Gamma z}$ і подовжньому $u_{пр}^{\Gamma x}$ напрямках.

Список використаних джерел

1. Членов, М.Т. Длинные рельсы [Текст] / М.Т. Членов. – М.: Трансжелдориздат, 1950. – 203 с.
2. Коган, А.Я. Продольные силы в железнодорожном пути [Текст] / А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1967. – 166 с.
3. Клинов, С.И. Метод определения погонного сопротивления по характеру продольных перемещений в бесстыковой рельсовой плети [Текст] / С.И. Клинов. – М.: ТР. МИИТ, 1969. – 144 с.
4. Боченков, М.С. Определение стыковых и погонных сопротивлений температурным деформациям рельсовых плетей [Текст] / М.С. Боченков, В.А. Грищенко. – М.: Новосибирск, 1976. – С. 51-56.
5. Влияние эксплуатации и работ по содержанию бесстыкового пути на поперечное сопротивление балластного слоя [Текст] // Бюллетень технико-экономической информации ЦНИИТЭИ МПС. – М., 1972. – № 3. – С. 55-58.
6. Даніленко, Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст] / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
7. Альбрехт, В.Г. Угон железнодорожного пути и борьба с ним [Текст] / В.Г. Альбрехт, А.Я Коган. – М.: Транспорт, 1996. – 160 с.

8. Даренский, А.Н. Экспериментальное определение сопротивлений скреплений КБ и КПП-5 перемещениям рельсов в продольной плоскости [Текст] / А.Н. Даренский, В.Г. Витольберг // Зб. наук. праць ДонНІИЖТ. – 2008. - № 15. – С. 112-124.

9. Иванова, Л.И. Экспериментальные исследования перемещений элементов рельсошпальной решетки под поездной нагрузкой [Текст] / Л.И. Иванова, М.И. Карпущенко // Труды НИИЖТ. – 1971. - № 129. – С. 61- 67.

Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри колії та колійного господарства Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-58.

Бойко Ярослав Вячеславович, студент VI курсу будівельного факультету (магістр), Українська державна академія залізничного транспорту. E-mail: YarBoys@mail.ru.

Дувалко Віталій Іванович, студент VI курсу будівельного факультету (магістр) Українська державна академія залізничного транспорту.

Darensky Oleksandr Mykolajovych, d-r science, professor, head department kolii that koliynogo gospodarstva Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-58.

Boiko Yaroslav Vyacheslavovich, Student Course VI Building Department (MA) Ukraine State Academy of Railway Transport. E-mail: YarBoys@mail.ru.

Duvalko Vitaliy., Student Course VI Building Department (MA) Ukraine State Academy of Railway Transport.

УДК 625.143

АНАЛІЗ РОБОТИ СКРІПЛЕННЯ КПП-5 ПРИ ВЕРТИКАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

**Д-р техн. наук О.М. Даренський,
магістранти Ю.О. Васильченко, Є.В. Назаров**

АНАЛИЗ РАБОТЫ СКРЕПЛЕНИЯ КПП-5 ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

**Д-р техн. наук А.Н. Даренский,
магистранты Ю.А. Васильченко, Е.В. Назаров**

BINDING ANALYSIS WORK KPP-5 VERTICAL LOAD

**Doct. of techn. sciences A. Darenskiy,
magystrant Yu. Vasilchenko, E. Nzarov**

Розглядаються питання, що стосуються вертикальної жорсткості проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 в процесі експлуатації. При дії на вузол скріплення вертикальної динамічної сили в цьому вузлі виникають такі сили як: сила опору прокладки стисненню і сила клемного натискання. Таким чином, вертикальна жорсткість скріплення КПП-5 визначається жорсткістю пружинних клем, жорсткістю підрейкових прокладок при стисканні при статичному і динамічному навантаженні.

Ключові слова: безстикова колія, проміжне скріплення КПП-5, вертикальна жорсткість, пружинна клема, вертикальна динамічна сила.

Рассматриваются вопросы, касающиеся вертикальной жесткости промежуточного рельсового скрепления типа КПП-5 в процессе эксплуатации. При действии на узел скрепления вертикальной динамической силы в этом узле возникают такие силы как: сила сопротивления прокладки сжатию и сила клемного нажатия. Таким образом, вертикальная жесткость скрепления КПП-5 определяется жесткостью пружинных клемм, жесткостью подрельсовых прокладок при сжатии при статическом и динамическом нагружении.

Ключевые слова: бесстыковый путь, промежуточное скрепление КПП-5, вертикальная жесткость, пружинная клемма, вертикальная динамическая сила.

Addresses issues related to the vertical stiffness of the intermediate rail fastening type KPP-5 during operation. Under the action of node bonding vertical dynamic force in this site there are such force as the force of resistance to compression gaskets and power terminal depression. Thus, the vertical stiffness of the bonding KPP-5 determined by the stiffness of the spring terminals, rail pads stiffness in compression under static and dynamic loading. Intermediate rail fasteners KPP-5 approved for use on the main railways of Ukraine since 2003. Regulations allow laying of jointless track on these binding sites with any traffic density in straight and curved sections with a radius of 350 m or more. Length raft jointless track can reach the length of the block-areas or race (extra-long raft). Given that the binding of KPP-5 has significant advantages over staple KB - small elements saving metal, no threaded connections using elastic terminals, we can assume that this design will be used in the industrial and transport in certain conditions.

Keywords: welded railway track, an intermediate bond KPP-5, vertical stiffness, spring clamp terminal, the vertical dynamic force.

Вступ. Проміжні рейкові скріплення КПП-5 дозволені до застосування на магістральних залізницях України з 2003 року. Нормативні документи [1-3] дозволяють укладку безстыкової колії з цими скріпленнями на ділянках з будь-якою вантажонапруженістю в прямих і кривих ділянках з радіусами 350 м і більше. Довжина плітей безстыкової колії може досягати довжини блок-ділянок або перегону (наддовгі пліті).

Враховуючи, що скріплення КПП-5 має суттєві переваги порівняно зі скріпленням КБ – малоелементність, економія металу, відсутність різьбових з'єднань, використання пружних клем, можна припускати, що така конструкція знайде застосування і на промисловому транспорті в певних умовах експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безстыкова колія на залізобетонних шпалах (БК) температурно-напруженого типу є основною конструкцією верхньої будови на залізницях України. На сьогодні її протяжність складає понад 70 % розгорнутої довжини головних колій [4].

Рейко-шпальна решітка (РШР) існуючої конструкції БК, що експлуатується на мережі залізниць, змонтована в основному з проміжним скріпленням типу КБ. Сучасна конструкція проміжного скріплення (безболтове з пружними клемами) застосована поки що на 3,3 тис. км, тобто на 11 % розгорнутої довжини головних колій [4].

Безболтове проміжне скріплення з пружними клемами типу КПП-5 не містить ряд недоліків які присутні при скріпленні типу КБ. Тому технічна політика з удосконалення конструкції РШР передбачає розширення

полігону укладання та експлуатації саме такої конструкції проміжного скріплення.

Як свідчить практичний досвід, «життєвий» строк РШР напряму залежить від терміну служби вузлів проміжного скріплення. У зв'язку з цим питання щодо оцінки працездатності проміжного скріплення (у цілому вузла й окремих його елементів) набуває певної актуальності в рамках системи технічного обслуговування конструкції залізничної колії.

Скріплення типу КПП-5 є аналогом проміжного скріплення типу СБ-3, яке експлуатується на залізницях Польщі та Білорусі. Конструкція вузла скріплення типу СБ-3 (як і скріплення типу КПП-5) складається з двох анкерів, які замонолічуються у шпалу, двох пружних клем, полімерної прокладки, яка укладається на шпалу під подошву рейки, і двох електроізолюючих вкладишів, що встановлюються між пружною клемою і подошвою рейки. Працездатність скріплення типу СБ-3 у свій час була експериментально перевірена [5].

Постановка проблеми у загальному вигляді. Для виконання розрахунків залізничної колії у вигляді просторової конструкції як балок рейок, що спираються на пружні опори шпали, слід враховувати суттєві нелінійності залежностей пружних деформацій від величин навантажень на вузли скріплення, в тому числі скріплення КПП-5. Слід також враховувати можливі зазори і люфти, які можуть виникати в вузлах цих скріплення у процесі експлуатації колії. Це можна зробити якщо отримати аналітичні залежності вертикальної жорсткості вузла скріплення КПП-5 від вертикальних навантажень.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даної статті є аналіз роботи вузла проміжного рейкового скріплення з пружними клемами типу КПП-5 при вертикальних навантаженнях.

Основна частина дослідження. У роботі [6] розглянута вертикальна жорсткість вузла скріплення КПП-5 і дані чисельні характеристики жорсткостей пружних елементів цього скріплення. Однак в якості підрейкової прийнята гумова прокладка, що не відповідає типовій конструкції даного скріплення [6].

При монтажі вузла скріплення КПП-5 відбувається початкова вертикальна деформація пружинної клеми $y_{кл}^{нач}$ (рис. 1), яка може досягати, з урахуванням конструктивних розмірів клем, анкерів, прокладки, ізолюючого вкладиша і розмірів підшви рейки, 6мм. При цьому кожна клема притискає підшву рейки до шпали з силою $Q_{кл}^{нач}$, кН:

$$Q_{кл}^{нач} = y_{кл}^{нач} \cdot \mathcal{J}_{кл}, \quad (1)$$

де $\mathcal{J}_{кл}$ - жорсткість пружинної клеми при вертикальних деформаціях, кН/м.

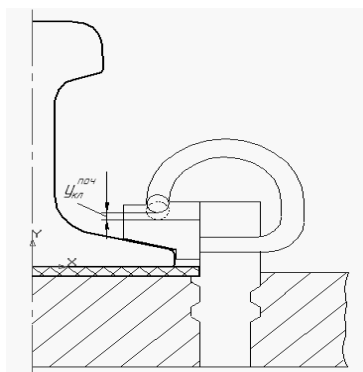


Рис. 1. Початкова вертикальна деформація пружинної клеми скріплення КПП-5

Під дією сил клемного натискання $2Q_{кл}^{нач}$ підрейкова прокладка стискається і виробляє пружний опір цьому стисненню силою $Q_{пр}^M$.

$$Q_{пр}^M = u_{пр}^{ст} \cdot y_{пр}^M, \quad (2)$$

де $u_{пр}^{ст}$ - жорсткість прокладки при статичному стисненні, кН/м;

$y_{пр}^M$ - деформація стиснення прокладки при монтажі, м.

Силу $Q_{пр}^M$ можна представити (рис. 2) у вигляді розподіленого пружного опору стиску з інтенсивністю $q_{пр}^M$:

$$q_{пр}^M = \frac{Q_{пр}^M}{b}, \quad (3)$$

де b – ширина підшви рейки, м.

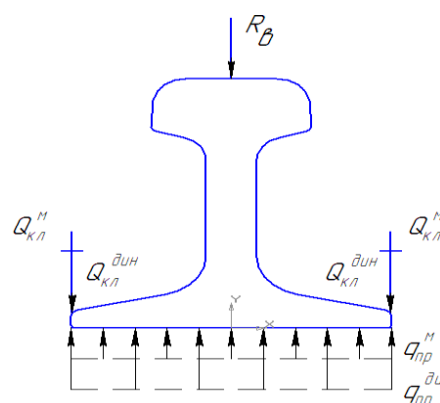


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення вертикальної жорсткості скріплення КПП-5

При стисканні підрейкової прокладки на величину $y_{пр}^M$ відбувається зворотна пружна деформація пружинних клем, в результаті цього зменшується сила клемного натискання. Залишкова монтажна сила клемного натискання буде дорівнює:

$$Q_{км}^M = (y_{кл}^{нач} - y_{пр}^M) \mathcal{J}_{кл}. \quad (4)$$

Рівновага сил у вузлі скріплення настане тоді, коли залишкові монтажні сили клемного натискання будуть рівні пружному опору прокладки:

$$2Q_{км}^M = Q_{пр}^M = q_{пр}^M \cdot b. \quad (5)$$

Підставимо в формулу (5) рівняння (3) і (4):

$$2(y_{кл}^{нач} - y_{пр}^м) \cdot \mathcal{J}_{кл} = y_{пр}^м \cdot u_{пр}^{ст} \quad (6)$$

При дії на вузол скріплення вертикальної динамічної сили R_y , умову рівноваги сил (рис. 2) можна записати як:

$$R_y = Q_{пр}^{дин} - 2Q_{кл}^{дин} \quad (7)$$

де $Q_{пр}^{дин}$ - сила опору прокладки стисненню динамічним навантаженням і натискання клемами, кН;

$Q_{кл}^{дин}$ - сила клемного натискання при дії на вузол скріплення динамічного навантаження R_y , кН.

Величина $Q_{пр}^{дин}$ буде дорівнювати:

$$R_y = \Delta y u_{пр}^{дин} + y_{пр}^м u_{пр}^{ст} - 2(y_{кл}^{нач} - y_{пр}^м) \mathcal{J}_{кл} + 2\Delta y \mathcal{J}_{кл}$$

Заміняючи в цій формулі $2(y_{кл}^{нач} - y_{пр}^м) \mathcal{J}_{кл}$ на $y_{пр}^м u_{пр}^{ст}$ з виразу (6), отримаємо

$$R_y = \Delta y (u_{пр}^{дин} + 2\mathcal{J}_{кл})$$

Або переходячи до вертикальної жорсткості вузла скріплення КПП-5 $C_y = \frac{R_y}{\Delta y}$ остаточно отримаємо:

$$Q_{пр}^{дин} = y_{пр}^м u_{пр}^{ст} + \Delta y_{пр}^{дин} \cdot u_{пр}^{дин} \quad (8)$$

де $\Delta y_{пр}^{дин}$ - додатково динамічне стиснення прокладки під дією сили R_y , м;

$u_{пр}^{дин}$ - жорсткість підрейкової прокладки при динамічному стисненні, кН/м.

Сила клемного натискання при дії вертикальної динамічного навантаження R_y зменшиться за рахунок зворотного пружної деформації клеми на величину Δy :

$$Q_{кл}^{дин} = (y_{кл}^{нач} - y_{пр}^м) \mathcal{J}_{кл} - \Delta y \mathcal{J}_{кл} \quad (9)$$

Тоді формулу (7) можна представити у вигляді:

$$C_y = u_{пр}^{дин} + 2\mathcal{J}_{кл} \quad (10)$$

Висновок. Таким чином, вертикальна жорсткість скріплення КПП-5 визначається жорсткістю пружинних клем $\mathcal{J}_{кл}$, жорсткістю підрейкових прокладок при стисканні при статичному $u_{пр}^{ст}$ і динамічному $u_{пр}^{дин}$ завантаженні.

Список використаних джерел

1. Даніленко, Е.І. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст] / Е.І. Даніленко, В.О. Яковлев, А.М. Орловський, М.І. Карпов [та ін.]. – К.: Транспорт України, 2006. – 336 с.
2. Даніленко, Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість (ЦП-0117) [Текст] / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
3. Даніленко Е.І. Сучасні рейкові пружні скріплення і особливості вимог до вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах [Текст] / Е.І. Даніленко, М.Д. Костюк, О.М. Жученко // Залізничний транспорт України. – 2002. - № 6. – С. 3-12.
4. Алейник, В.С. Будівництво та реконструкція залізничної мережі України для збільшення пропускної спроможності та запровадження швидкісного руху поїздів [Текст] / В.С. Алейник, В.В. Козак, М.Д. Костюк [та ін.] // Залізничний транспорт України. – 2010. - № 5. – С. 3-12.

5. Шварц, Ю.Ф. Результаты испытаний польских конструкций пути на Экспериментальном кольце ВНИИЖТа [Текст] / Ю.Ф. Шварц, В.В. Серебренников, Н.В. Ресина // Железные дороги мира. – 1996. - № 7. – С. 43-49.

6. Говоруха, В.В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений [Текст]: монография / В.В. Говоруха. – Днепропетровск: Изд. «Лира ЛТД», 2005. – 388 с.

Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-58.

Васильченко Юрій Олександрович, студент VI курсу будівельного факультету (магістр) Української державної академії залізничного транспорту. E-mail: yuravasilchenko@mail.ru.

Назаров Євгеній Володимирович, студент VI курсу будівельного факультету (магістр) Української державної академії залізничного транспорту.

Darensky Oleksandr Mykolajovych d-r science, professor, head department kolii that koliynogo gospodarstva Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-58.

Vasilchenko Yuriy Oleksandroovich Student Course VI Building Department (MA) Ukraine State Academy of Railway Transport. E-mail: yuravasilchenko@mail.ru.

Nazarov Evgeniy, Student Course VI Building Department (MA) Ukraine State Academy of Railway Transport.

УДК 624.073

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КВАДРАТНИХ СТАЛЕБЕТОННИХ ПЛИТ З РІЗНИМИ УМОВАМИ ОПОРУ ТА КРОКОМ АНКЕРНИХ УПОРІВ

Кандидати техн. наук А.А. Петрушевська, Є.В. Ігнатенко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КВАДРАТНЫХ СТАЛЕБЕТОННЫХ ПЛИТ С РАЗЛИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ ОПИРАНИЯ И ШАГОМ АНКЕРНЫХ УПОРОВ

Кандидаты техн. наук А.А. Петрушевская, Е.В. Игнатенко

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF STEEL CONCRETE SQUARE SLABS WITH DIFFERENT SUPPORT CONDITIONS AND THE PITCH ANCHOR STOPS

Cand. of techn. sciences A.A Petrushevskaya, E.V. Ignatenko

У роботі наведено результати експериментальних досліджень квадратних сталобетонних плит із зовнішньою листовою арматурою, яка поєднана із бетоном за допомогою петлевих анкерів. За способом опирання розглянуті зразки, як з вільним опиранням по кутах, так і з жорстким закріпленням кутів.

Ключові слова: сталобетон, плити, армування, анкера, деформування, руйнування, напруження.

В работе приведены результаты экспериментальных исследований квадратных сталобетонных плит с внешним листовым армированием, которое объединено с бетоном с помощью петлевых анкеров. По способу опирання рассмотрены образцы, как со свободным опиранием по углам, так и с жестким закреплением углов.

Ключевые слова: сталобетон, плиты, армирование, анкера, деформирование, разрушение, напряжение.

The paper presents the results of experimental studies of square steel-concrete slabs reinforced with an external sheet, which combined with the concrete using a loop anchors. In the present work, reinforced concrete slabs with step anchors 50 and 100 mm. Plates were studied under two conditions support - hinged and rigid

clamping angles. Results of experimental studies are: data on the nature of the stress-strain state at various stages of loading, as well as data on the nature of the fracture and limit state design, the relationship between the carrier plate and the ability to move the anchors at various ways support, the experimental curves of deformation of plates.

Keywords: steel concrete, slabs, reinforcing, anchors, deformation, destruction, pressure.

Вступ. Сучасне проектування вимагає забезпечення надійності будівель і споруд при одночасному зниженні їх матеріалоемності, трудомісткості та вартості на етапах проектування, монтажу й експлуатації. До числа таких конструкцій відносяться конструкції з зовнішнім армуванням листовою сталлю – сталебетонні конструкції. Найбільший ефект при зниженні ресурсоемності мають плити перекриття та покриття з зовнішнім армуванням, що згинаються в двох напрямках.

Постановка проблеми. Проблема розрахунку сталебетонних плит на силові впливи на сьогоднішній день полягає в необхідності врахування наступних факторів: неоднорідного напруженого стану, особливостей обпирання плит, нелінійності деформування бетону в умовах плоского напруженого стану і його анізотропних властивостей, залежності характеристик жорсткості від деформованого стану, податливості контакту, довільного навантаження і т.д. У зв'язку з цим розробка нових конструктивних рішень і методики розрахунку сталебетонних плит, що враховують зазначені фактори, і дослідження їх роботи є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Плоский сталевий лист працює в умовах двоосового

напруженого стану, завдяки чому підвищується жорсткість і несуча здатність плити при однаковій витраті металу в порівнянні із залізобетонною [1-6].

Основна частина досліджень. Для вивчення питань, покладених в основу експериментальних досліджень, було виготовлено вісім дослідних зразків, що є квадратними в плані плитами зі стороною 1000 мм і завтовшки 62 мм. Кожен зразок складався з наступних складових частин: армоопалубочного елемента, виконаного з плоского металевого листа завтовшки 2 мм, петлевих анкерів і бетонного шару. Конструктивне рішення зразків наведено на рис. 1, 2.

Зразки П-1, П-2, П-5 та П-6 запроєктовані і виготовлені у вигляді бетонної плити із зовнішнім армуванням з листової сталі 1 (рис. 1). Для спільної роботи листова арматура об'єднана з бетоном похилими петлевими анкерами 3, розташованими за діагоналлю та у середині в напрямі краю кроком 100 мм. Їх нахил до горизонтальної поверхні складає 45° в напрямі від центру до краю плити.

Зразки П-3, П-4, П-7, П-8 (рис. 2) відрізняються від П-1,2,5,6 тим, що петлеві анкери 3 розташовані з кроком 50 мм.

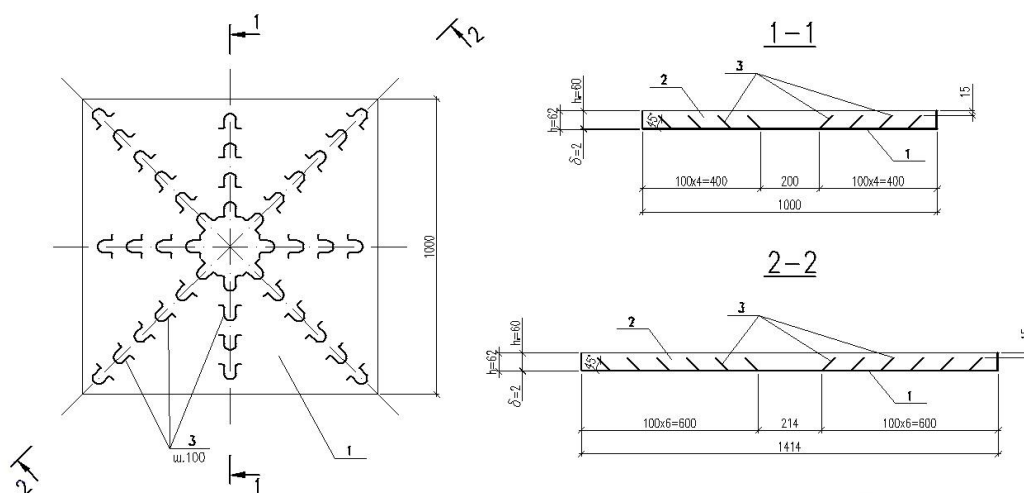


Рис. 1. Конструкція сталебетонних плит П-1, П-2, П-5, П-6:
1 – сталевий лист, 2 – бетон, 3 – петлеві анкери

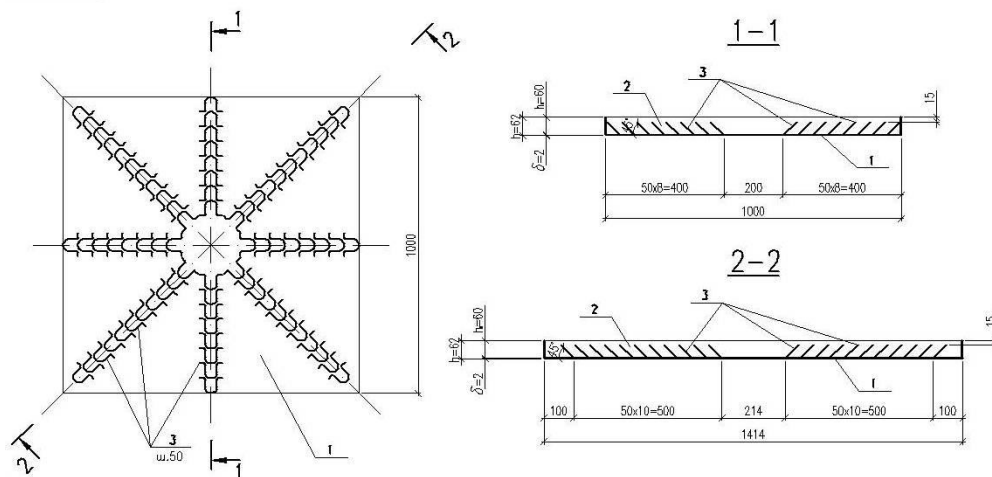


Рис. 2. Конструкція сталобетонних плит П-3, П-4, П-7, П-8:
1 – сталевий лист, 2 – бетон, 3 – петлеві анкери

Для анкерівки використовували дрітвяну рифлену арматуру діаметром 4 мм класу Вр-1. Анкери приварювалися до сталевих листів ручним напівавтоматичним зварюванням.

Бетонування дослідних зразків було виконане у лабораторії кафедри «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» Української

державної академії залізничного транспорту. Для виготовлення бетонної суміші використовували дрібнозернистий бетон з В:Ц=0,43. Для визначення фізико-механічних характеристик бетону та сталі були проведені стандартні випробування [7, 8, 9, 10]. Результати випробувань наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики матеріалів

Характеристики сталі				
Межа плинності σ_T , МПа	Межа міцності σ_b , МПа	Модуль пружності $E_s \times 10^5$, МПа	Коефіцієнт поперечної деформації ν_s	
221	295	2,02	0,30	
Характеристики бетону				
Номер плити	Межа міцності на стиск R_b , МПа	Межа міцності на розтягнення R_{bt} , МПа	Модуль пружності $E_b \times 10^4$, МПа	Коефіцієнт поперечної деформації ν_b
П-1, П-2	40,7	5,69	3,37	0,18
П-3, П-4, П-5, П-6, П-7, П-8	40,1	5,43	3,29	0,18

Випробування зразків виконувалися ступенями приблизно по 0,4 т. За нульовий відлік брали свідчення реєструючих приладів під навантаженням тільки від власної ваги. Після кожного витриманого ступеня

навантаження оцінювався стан бетонної поверхні і сталевих листів плити. Ознаки руйнування матеріалу фіксувалися в журналі випробувань і позначалися крейдою на поверхні плити. Вертикальні переміщення

точок плити фіксувалися вздовж осі симетрії і по кутах індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм і прогиномірами Аістова.

Деформації плити визначалися методом електротензометрії. Показання тензорезисторів реєструвалися за допомогою багатоканальної вимірювальної системи ВПП-9.

Після завершення випробування зразка виконувався розтин зовнішнього армування, що дало можливість оцінити руйнування бетону в місці контакту зі сталевим листом. У всіх плитах бетон руйнувався тріщинами, що

йдуть по осі симетрії від штампа (місця прикладання навантаження) до краю плити, також утворювалася тріщина по висоті плити до сталевого листа.

В результаті випробування дослідних зразків плит були отримані дані їх деформування під навантаженням. Аналіз діаграми «навантаження-прогин» (рис. 3), отриманої для центральної точки плити, дозволяє відзначити, що переміщення плит кожної серії носили різний характер. Найбільше навантаження витримують плити з кроком анкерів 50 мм.

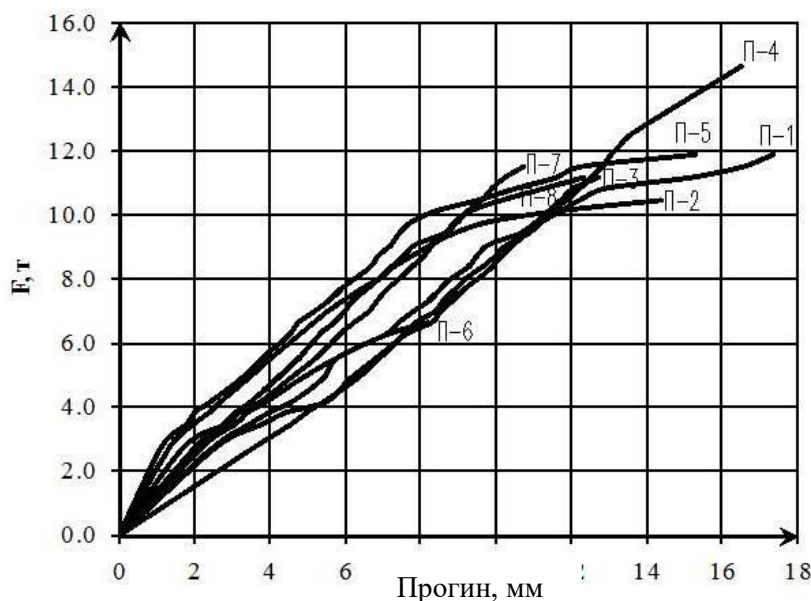


Рис. 3. Експериментальні криві деформування плит:
 П-1, П-2 – крок анкерів 100 мм, вільне обпирання по кутах
 П-3, П-4 – крок анкерів 50 мм, вільне обпирання по кутах;
 П-5, П-6 – крок анкерів 100 мм, кути затиснені;
 П-7, П-8 – крок анкерів 50 мм, кути затиснені

Згідно рис. 3 діаграми «навантаження-прогин» для всіх зразків мають нелінійний характер, котрий обумовлений утворенням тріщин в розтягненій зоні бетону та розвитком деформацій в шарах перетину.

Висновки. Результати вимірювання деформацій в сталобетонних зразках показали, що пластичні деформації в сталевому листі з'являються при навантаженні 8 т, а при навантаженні 10-12 т відбувається руйнування верхнього шару бетону в середині плити. Це

супроводжується зростанням прогинів плити в середині.

В результаті випробування квадратних сталобетонних плит були отримані дані про характер їх напружено-деформованого стану на різних етапах навантаження, а також дані про характер тріщиноутворення і граничного стану конструкції. Дослідження отриманих даних дозволило оцінити вплив кроку анкерних упорів на несучу здатність і деформативність сталобетонних плит.

Список використаних джерел

1. Чихладзе, Э.Д. Теория деформирования сталебетонных плит [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Совершенствование методов расчёта и проектирования конструкций и сооружений: сб. науч. трудов. – Харьков, ХарГАЖТ, 1996. – Вып. 27 – С. 4-39.
2. Chikhladze E.D. Experimental Researches of Steel-Concrete Plates [Text] / Chikhladze E.D., Vatulya G.L. // Shells and spatial structures: from resent past to the next millennium // Proceedings of the IASS 40th Anniversary Congress – Madrid, – 1999. – Vol. 1. – P.13-18.
3. Чихладзе, Э.Д. Экспериментальные исследования сталебетонных плит [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1991. - №5. – С. 125-128.
4. Чихладзе, Э.Д. Напряжённо-деформированное состояние сталебетонных пластинок [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.А. Шевченко, А.А. Петрушевская // Напряжённо-деформированное состояние сталебетонных пластинок: зб. науч. праць. – Харків, УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 125. – С. 5-12.
5. Чихладзе, Э.Д. Экспериментальные исследования сталебетонных балок [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов, Э.И. Борисов // Известия вузов. Строительство. – 2000. – № 12. – С. 4-7.
6. Орёл, Е.Ф. Напряжённо-деформированное состояние сталебетонных плит с различными условиями опирания [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Е.Ф. Орёл. – Харьков, 2006. – 253 с.
7. Конструкції будинків і споруд. Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості: ДСТУ Б В.2.6-7-95 (ГОСТ 8829-94). – [Чинний від 1996-01-01] – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 45 с. – (Державний стандарт України).
8. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками: ДСТУ Б В.2.7-214:2009. – [Чинний від 2010-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 43 с. – (Національний стандарт України).
9. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение: ГОСТ 12004-81. – [Введен в действие от 1983-07-01]. – М.: Государственный стандарт союза ССР, 1995. – 10 с. – (Межгосударственный стандарт).
10. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки: ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005. – [Чинний від 2005-11-25]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 22 с.– (Національний стандарт України).

Рецензент д-р техн. наук, професор О.М. Даренський

Петрушевська Алла Андріївна, канд. техн. наук, кафедра колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: +38 (057) 730-10-59, e-mail: alla_p1986@mail.ru.
Ігнатенко Євгеній Вікторович, канд. техн. наук, кафедра колії та колійного господарства, секція «Вишукування», Українська державна академія залізничного транспорту. Тел.: +38 (057) 730-10-67. E-mail: evgenignatenko@ukr.net.

Petrushevskaya Alla, Candidate of Technical Sciences, Department of Track and Track Maintenance, Ukrainian State Academy of Railway Transport, tel.: +38 (057) 730-10-59, e-mail: alla_p1986@mail.ru.
Ignatenko Eugeny, Candidate of Technical Sciences, Department of Track and Track Maintenance, section «Researches», Ukrainian State Academy of Railway Transport, tel.: +38 (057) 730-10-67, e-mail: evgenignatenko@ukr.net.

УДК 625.42:624.011

**РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ
ДЕРЕВ'ЯНИХ ШПАЛ МЕТРОПОЛІТЕНУ ПЛАСТМАСОЮ АКРИЛОВОЮ
САМОТВЕРДНОЮ АСТ-Т**

Канд. техн. наук Д.А. Фаст

**РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ
ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ МЕТРОПОЛИТЕНА ПЛАСТМАССОЙ АКРИЛОВОЙ
САМОТВЕРДЕЮЩЕЙ АСТ-Т**

Канд. техн. наук Д.А. Фаст

**CALCULATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY AT RENEWAL OF
WOODEN RAILROAD TIES OF UNDERGROUND PASSAGE BY PLASTIC OF ACRYLIC
SELFHARDENING AST-T**

Cand. of techn. sciences D.A. Fast

Відновлення експлуатаційних властивостей дерев'яних шпал у тунелі метрополітену є актуальною проблемою. В даній статті наведено розрахунок техніко-економічної ефективності при виконанні робіт по їх ремонту за допомогою такого полімерного матеріалу як пластмаса акрилова самотвердна АСТ-Т. Розраховано найбільш доцільну кількість полімерного матеріалу, який необхідно для відновлення дерев'яної шпали.

Ключові слова: відновлення, дерев'яна шпала метрополітену, пластмаса акрилова, техніко-економічна ефективність.

Восстановление эксплуатационных свойств деревянных шпал в туннеле метрополитена является актуальной проблемой. В данной статье приведен расчет технико-экономической эффективности при выполнении работ по их ремонту с помощью такого полимерного материала как пластмасса акриловая самотвердеющая АСТ-Т. Рассчитано наиболее целесообразное количество полимерного материала, необходимого для восстановления деревянной шпалы.

Ключевые слова: восстановление, деревянная шпала метрополитена, пластмасса акриловая, технико-экономическая эффективность.

A basic distinguishing feature of overhead structure of track is in underground passages in that railsleeper a grate lies on concrete basis. One of principle differences of work of railroad ties in the tunnels of underground passage there is that they are sunk in a concrete. Such construction of track leads to that character of work of railroad ties and their replacement changes is a difficult operation which requires the considerable charges of hand labour and money. Replacement of one railroad tie in a tunnel tenfold more money needs than on overhead railways.

Proceeding in operating properties of wooden railroad ties in the tunnel of underground passage is the issue of the day. In this article the calculation of technical and economic efficiency is resulted at implementation of works on their repair by such polymeric material as a plastic acrylic selfhardening of AST-T. The most expedient amount of polymeric material which it is necessary for proceeding in a wooden railroad tie is expected.

A renewal of useless wooden railroad tie cost was for this purpose certain on new and by comparison to the cost of their renewal by polymeric material

Keywords: renewal, wooden railroad tie of underground passage, a plastic is acrylic, technical and economic efficiency.

Вступ. У великих містах найбільш зручним і економічно вигідним пасажирським

транспортom є метрополітени, перевагою яких є більша швидкість перевезення і здатність

освоювати масові пасажиропотоки. У містах, де є метрополітени, гостро стоїть проблема захисту споруджень від шуму і вібрацій. Основна відмінна риса верхньої будови колії у метрополітенах в тому, що рейко-шпальна решітка лежить на бетонній основі. Тому найбільш ефективною є конструкція залізничної колії на дерев'яних шпалах. Конструкція колії на бетонній основі з дерев'яними шпалами забезпечує необхідну її пружність і має високий електричний опір, що відіграє велике значення при наявності контактної рейки, яка перебуває під високою напругою у вологому середовищі [1-3].

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

Основна відмінна риса верхньої будови колії у метрополітенах в тому, що рейкошпальна решітка лежить на бетонній основі. Однією з принципових відмінностей роботи шпал в тунелях метрополітену є те, що вони утоплені в бетон. Така конструкція колії приводить до того, що змінюється характер роботи шпал та їх заміна є складною й дорогою операцією, що вимагає значних витрат ручної праці та коштів. Заміна однієї шпали в тунелі в десять разів дорожче, ніж на наземних залізницях. Тому дослідження можливих способів відновлення їх у тунелі метрополітену є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом дослідження у тунелі метрополітену, в основному, направлені на удосконалення зони проміжного скріплення, а також пошук нових конструкцій підрейкової основи [4-8]. Проблемам відновлення експлуатаційних властивостей дерев'яних шпал приділяється недостатньо уваги. Тому дослідження можливості відновлення їх за допомогою наповнення порожнеч і тріщин, що утворилися, полімерним матеріалом є перспективним напрямком вирішення даної проблеми.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою даних досліджень є розрахунок техніко-економічної ефективності відновлення дерев'яної шпали метрополітену шляхом використання полімерного матеріалу, пластмаси акрилової самотвердної АСТ-Т. Задачами досліджень є визначення вартості ремонту шпал метрополітену полімерним матеріалом і вартості її заміни на нову. На

основі отриманих даних розрахувати найбільш доцільну кількість полімерного матеріалу для виконання ремонтних робіт.

Основна частина дослідження. Відновлення дерев'яних шпал у тунелі метрополітену виконується без порушення цілісності колійного бетону. Це можливо завдяки використанню полімерного матеріалу, пластмаси акрилової самотвердної АСТ-Т. Її застосування забезпечує необхідну міцність і рівнопружність підрейкової основи у колії метрополітену та дозволяє виконувати колійні роботи по ремонту шпал без вилучення їх з бетону безпосередньо у тунелі.

Для визначення доцільної кількості полімерного матеріалу необхідно розрахувати техніко-економічну ефективність технології відновлення. Для цього було довільно обрано п'ять дерев'яних шпал у тунелі Харківського метрополітену та проведені колійні роботи по їх ремонту з використанням пластмаси акрилової самотвердної АСТ-Т.

Роботи поділяються на три періоди:

1. Підготовчий (один день):

– розшивання однієї нитки колії на ушкоджених шпалах;

– зачищення поверхні шпал від бруду за допомогою металевих щіток і шкребків на ділянці довжиною 800 мм від торця; видалення бруду до здорової деревини, приблизно на 1–2 мм;

– вирізання на кінці шпали віконця з розмірами 140×140 мм; з тіла шпали прибирають гнилу деревину;

– свердлення чотирьох вертикальних отворів \varnothing 20 мм глибиною 100 мм.

2. Основний (при необхідності заливання великого об'єму полімерного матеріалу даний період розбивається на два дні):

Перший день.

– замішування розчину (2 кг акрилового порошку + 2 л затверджувача);

– заливання розчину в отвори й віконце шпали № 1, перехід до шпали № 2;

– замішування розчину (2 кг акрилового порошку + 2 л затверджувача);

– заливання розчину в отвори й віконце шпали № 2, перехід до шпали № 3;

– замішування розчину (2 кг акрилового порошку + 2 л затверджувача);

– заливання розчину в отвори й віконце шпали № 3, перехід до шпали № 4;

- замішування розчину (2 кг акрилового порошку + 2 л затверджувача);
- заливання розчину в отвори й віконце шпали № 4, перехід до шпали № 5;
- замішування розчину (2 кг акрилового порошку + 2 л затверджувача);
- заливання розчину в отвори й віконце шпали № 5;
- в залежності від порожнин, які утворилися, вся послідовність робіт першого

дня повторюється до заливання половини необхідного об'єму.

Другий день (послідовність робіт другого дня аналогічна як для першого дня до заливання повного об'єму).

3.

- постановка підкладки та прокладки;
- свердлення отвору \varnothing 17 мм на глибину 125 мм і зверху \varnothing 20 мм на глибину 20 мм;
- закріплення нитки колії шурупами.

Витрати оперативного часу на відновлення п'яти шпал полімерним розчином дорівнюють:

Шпала № 1: підготовчі роботи – 16 хв.;

основні роботи – 54 хв.;

опоряджувальні роботи – 12 хв.;

вартість матеріалу – $11,5 \text{ л} \times 86,4 \text{ грн} = 993,6 \text{ грн}$.

Шпала № 2: підготовчі роботи – 18 хв.;

основні роботи – 52 хв.;

опоряджувальні роботи – 14 хв.;

вартість матеріалу – $11,2 \text{ л} \times 86,4 \text{ грн} = 967,7 \text{ грн}$.

Шпала № 3: підготовчі роботи – 26 хв.;

основні роботи – 60 хв.;

опоряджувальні роботи – 12 хв.;

вартість матеріалу – $12,6 \text{ л} \times 86,4 \text{ грн} = 1088,6 \text{ грн}$.

Шпала № 4: підготовчі роботи – 28 хв.;

основні роботи – 59 хв.;

опоряджувальні роботи – 15 хв.;

вартість матеріалу – $20,55 \text{ л} \times 86,4 \text{ грн} = 1775,5 \text{ грн}$.

Шпала № 5: підготовчі роботи – 28 хв.;

основні роботи – 89 хв.;

опоряджувальні роботи – 19 хв.;

вартість матеріалу – $27,6 \text{ л} \times 86,4 \text{ грн} = 2384,7 \text{ грн}$.

Середня витрата оперативного часу для відновлення п'яти шпал:

– на підготовчі роботи – $(16 + 18 + 26 + 28 + 28)/5 = 23,2 \text{ хв.}$;

– на основні роботи – $(54 + 52 + 60 + 59 + 89)/5 = 62,8 \text{ хв.}$;

– на опоряджувальні роботи – $(12 + 14 + 12 + 15 + 19)/5 = 14,4 \text{ хв.}$;

– загальна середня витрата часу на відновлення однієї шпали – 101 хв.

Середня вартість використаного полімерного матеріалу для відновлення однієї шпали:

$$(993,6 + 967,7 + 1088,6 + 1775,5 + 2384,7)/5 = 1442 \text{ грн.}$$

Для того щоб визначити техніко-економічну ефективність відновлення експлуатаційних властивостей дерев'яних шпал у тунелі метрополітену за допомогою використання полімерного матеріалу, пластмаси акрилової самотвердної АСТ-Т, необхідно знати його оптимальну кількість. Для цього необхідно підрахувати та порівняти вартість заміни однієї непридатної шпали на

нову, з урахуванням вартостей нової просоченої соснової шпали та витрат на заробітну платню [9, 10], з вартістю робіт при відновленні експлуатаційних властивостей старопритатної шпали з урахуванням вартості полімерного матеріалу, що використовується.

Отримані результати розрахунку зводяться в табл. 1.

Техніко-економічна ефективність ремонту шпал (станом на 2013 р.)

№ з/п	Витрата полімерної сполуки на шпалу, м ³	Вартість сполуки, грн.	Зарплата робітників за ремонту шпали, грн	Загальна вартість ремонту, грн	Вартість заміни шпали, грн	Техніко-економічна ефективність, грн
1	0,001	86,4	311,16	397,56	844,21 + 160 = = 1004,21	+606,65
2	0,002	172,8		483,96		+520,25
3	0,003	259,2		570,36		+433,85
4	0,004	345,6		656,76		+347,45
5	0,005	432		743,16		+261,05
6	0,006	518,4		829,56		+174,65
7	0,007	604,8		915,96		+88,25
8	0,008	691,2		1002,36		+1,85
9	0,009	777,60		1088,76		-84,55
10	0,010	864		1175,16		-170,95
11	0,011	950,4		1261,56		-257,35

Примітка. Вартість нової просоченої соснової шпали становить 160 грн.

Висновки з дослідження. Виконано розрахунок техніко-економічної ефективності для визначення використання найбільш оптимальної кількості полімерного матеріалу для відновлення дерев'яної шпали. Результати

показали, що ремонт однієї шпали і продовження її строків служби доцільно виконувати за загального обсягу витраченого полімерного розчину не більше 0,008 м³ (за об'єму шпали, що дорівнює 0,106 м³).

Список використаних джерел

1. Клинов, С. И. Железнодорожный путь на искусственных сооружениях [Текст] / С.И. Клинов. – М.: Транспорт, 1990. – 144 с.
2. Фролов, Ю. С. Метрополитены. [Текст] / Ю.С. Фролов, Д.М. Голицынский, А.П. Ледяев. – М.: Желдориздат, 2001. – 528 с.
3. Лысюк, В.С. Износ деревянных шпал и борьба с ним : труды ЦНИИ МПС [Текст] / В.С. Лысюк. – М., 1971. – № 445. – 224 с.
4. Кравченко, Н.Д. Новые конструкции железнодорожного пути для метрополитенов [Текст] / Н.Д. Кравченко. – М.: Транспорт, 1994. – 143 с.
5. Выбор типа верхнего строения пути для метрополитенов [Текст] / В.М. Круглов, Н.Д. Кравченко [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – №4. – С. 26-29.
6. Замуховский, А.В. Шпалы-коротыши в путевом бетоне [Текст] / А.В. Замуховский // Путь и путевое хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 24-26.
7. Машкович, О.Н. Железнодорожные шпалы из альтернативных материалов [Текст] / О.Н. Машкович // Железнодорожный транспорт за рубежом. Путь и путевое хозяйство. Проектир. и стр-во ЭИ / ЦНИИТЭИ. – 2005. – С. 11-15.
8. Шамаев, В.А. Увеличение срока службы деревянных шпал [Текст] / В.А. Шамаев, В.С. Овчинников // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 8. – С. 9-10.
9. Технологічний процес заміни дерев'яних шпал у тунелі. Служба колії і тунельних споруд Київського метрополітену [Текст]. – К., 2001. – 11 с.
10. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих [Текст]. Ч. 2. – М., 1985. – Вып. 3. – 217 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.М. Даренський

Фаст Денис Андрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-59. E-mail: denia007@mail.ru.

Fast Denis Andreevich, candidate of technical sciences, associate professor of department of track and travel economy. Ukrainian state academy of railway transport. Tel.: (057) 730-10-59. E-mail: denia007@mail.ru.

УДК 656.032

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТА «КОЛЕСО-РЕЛЬС» ПО БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПУТИ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ

Канд. техн. наук С.В. Воронин, инж. С.С. Карпенко, асп. Е.Н. Коростелёв

МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТУ «КОЛЕСО-РЕЙКА» ПО БОКОВІЙ ПОВЕРХНІ КОЛІ НА МАШИНИ ТЕРТЯ

Канд. техн. наук С.В. Воронін, інж. С.С. Карпенко, асп. Є.М. Коростельов

SIMULATION OF «WHEEL-RAIL» CONTACT ON THE SIDE OF THE ROAD BY CAR FRICTION

Candidate of techn. sciences S.V. Voronin, engineer S.S. Karpenko, graduate student Y.N. Korostelyov

Рассмотрена задача контакта двух упругих тел, имеющих одинаковые характеристики упругости. Получены геометрические параметры моделей колеса и рельса, а также рассчитаны значения нагрузки модели колеса на модель рельса для испытаний на машине трения.

***Ключевые слова:** контакт, модель, нормальная задача, радиус кривизны поверхности, машина трения.*

Розглянуто задачу контакту двох пружних тіл, які мають однакові характеристики пружності. Отримано геометричні параметри моделей колеса та рейки, а також розраховані значення навантаження моделі колеса на модель рейки для випробування на машині тертя.

***Ключові слова:** контакт, модель, нормальна задача, радіус кривизни поверхні, машина тертя.*

The problem of contact of two elastic bodies that have the same characteristics of elasticity. The recalculation was made of real parameters in laboratory, which in turn will provide the dimensions of the real models of wheel and rail.

Derived geometric parameters of wheel and rail models, as well as the calculated load value model wheels on the rail model for car friction. The value of normal stress on roller has a real look and can serve as a proof that the studies will be maximally approximated to real conditions of loading of wheel and rail between the lateral surface of the rail and the surface of the wheel in a curvilinear section of subway.

***Key words:** contact, task, standard model, the radius of curvature of the surface friction machine.*

Введение. Механика контактного взаимодействия колеса и рельса – это раздел науки о связях между напряжениями, крипом и геометрическими параметрами системы «колесо - рельс». Пользуясь ранее накопленным опытом в данном разделе науки и применяя его на практике, мы смоделируем контакт, который возникает между боковой поверхностью головки рельса и гребнем колеса при движении тележки подвижного состава в криволинейном участке пути метрополитена.

Задача контакта качения двух упругих тел, имеющих одинаковые характеристики упругости, как это имеет место для колеса и рельса, может быть представлена отдельно в виде нормальной и тангенциальной задач.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ последних исследований и публикаций показал, что Г. Герц впервые рассмотрел контактную задачу и дал надёжное математическое решение нормальной контактной задачи. Результаты этих исследований широко применяются для решения контактных задач, в частности в области контакта двух упругих тел, имеющих одинаковые характеристики упругости, как это имеет место для колеса и рельса.

Цель исследований. Цель данной работы заключается в решении задачи контакта двух упругих тел, получении геометрических параметров моделей колеса и рельса, а также в нахождении значения нагрузки, которая

передається в умовах испытаний на машині трия, с модели колеса на модель рельса.

Основной материал. Г. Герц дал первое надежное математическое решение нормальной задачи, которая формулируется следующим образом. Два ненагруженных тела (поверхности катания колеса и рельса) касаются в одной точке (рис. 1).

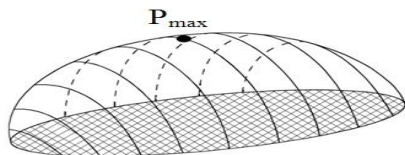


Рис. 1. Распределение нормальных герцевских напряжений на площадке контакта

Когда колесная пара движется в кривой, при определенном угле набегания колесо может контактировать с рельсом в двух различных точках [1]. Двухточечный контакт приводит к образованию двух площадок контакта: А на поверхности катания рельса и В на боковой поверхности головки рельса в районе выкружки (рис. 2).

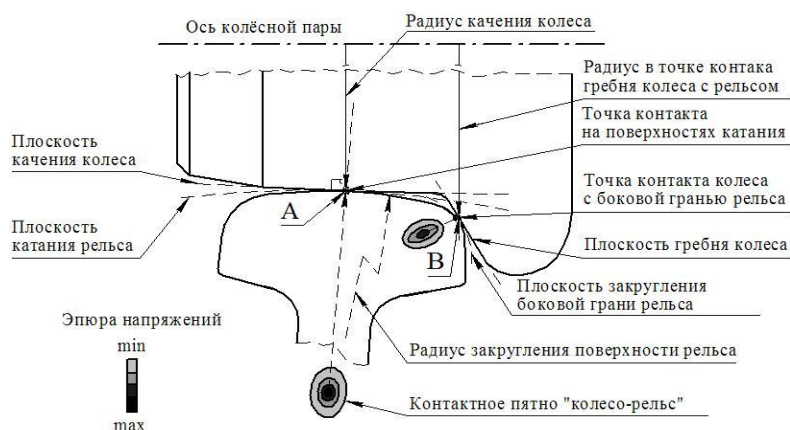


Рис. 2. Определение радиусов взаимодействующих площадок контактирования колеса и рельса

В точке контакта боковой поверхности рельса и гребня колеса во время движения по криволинейному участку пути возникает нормальная сила реакции рельса на давление гребня N_z , которая в силу упругости контакта «колесо-рельс» равна F – нормальной силе нагружения рельса $N_z = F$. Её вертикальная составляющая V стремится переместить колесо, которое движется, вверх по боковой поверхности рельса, а горизонтальная составляющая

Если в области контакта имеет место один радиус кривизны поверхности, то для определения площадки контакта можно использовать решение Герца. Если в области контакта имеются два или несколько радиусов кривизны, например r_{11} и r_{12} (рис. 3), решение Герца несправедливо, и для определения площадки контакта следует использовать негерцевское решение. Это особенно важно при разнообразных сочетаниях изношенных профилей колеса и рельса.

С целью получения максимально-точных результатов, необходимо смоделировать контакт колеса и рельса так, чтобы условия исследований соответствовали реальным условиям контактирования колеса с рельсом во время движения подвижной единицы в криволинейном участке пути. Для этого в данной работе был выполнен перерасчёт реальных параметров контакта на лабораторные, что в свою очередь даст возможность получить размеры реальных моделей колеса и рельса.

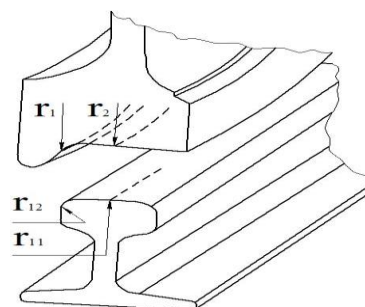


Рис. 3. Геометрия контакта колеса и рельса: x, y, z – оси системы координат; r_1, r_2, r_{11}, r_{12} – характерные радиусы контактирующих поверхностей

Y_n направляет экипаж рельсовой колёй и называется направляющей силой (рис. 4).

Выражение для направляющей силы через боковую силу имеет вид [2]

$$Y_n = \frac{tg\beta}{tg\beta - \mu}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент трения между колесом и рельсом (для данной схемы принимается $\mu = 0,25$).

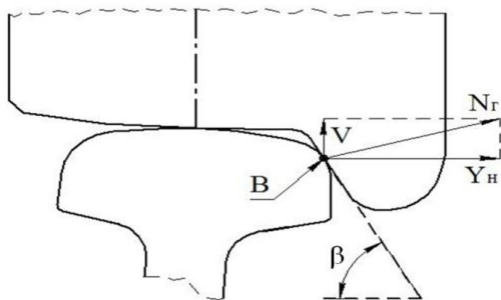


Рис. 4. Схема сил взаємодії між колесом і рейсом в точці В

Во время движения вагонов метро в криволинейных участках пути на внешний рельс действуют боковые силы Y_b , величина которых зависит от центростремительного непогашенного ускорения $\alpha_{нп}$ [3]:

$$Y_b = \alpha + B_{нп} \cdot \alpha_{нп}, \quad (2)$$

где $\alpha = 4200$ кгс – эмпирическая величина с графика-паспорта действия боковых сил тележки вагона метро;

$B_{нп} = 1700$ кгс/см² – эмпирический коэффициент;

$\alpha_{нп}$ – величина непогашенного центростремительного ускорения [$\alpha_{нп}$] = 0,7 м/с².

Пользуясь формулой (2) получим

$$Y_b = 5390 \text{ кгс} = 52857,84 \text{ Н.}$$

Величина направляющей силы

$$Y_n = 61774,48 \text{ Н.}$$

Из рис. 4. следует, что нормальную силу реакции рельса на давление гребня N_r получим, решив следующее уравнение:

$$N_r = \frac{Y_n}{\sin \beta}. \quad (3)$$

Нормальная сила реакции рельса на давление гребня колеса вагона метро $N_r = 71333$ Н.

Максимальное контактное напряжение P_{max} может быть рассчитано по формуле [4]:

$$P_{max} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot F \cdot E^2}{2 \cdot \pi^3 \cdot r_e^2 \cdot (1 - \nu^2)^2}}, \quad (4)$$

где F – нормальная сила нагружения колеса и

рельса, которая равна нормальной силе реакции рельса на давление гребня $F = N_r = 71333$ Н;

E – модуль упругости материала, $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па;

r_e – эквивалентный радиус, зависящий от характерных радиусов взаимодействия колеса и рельса в месте контакта;

ν – коэффициент Пуассона, $\nu = 0,3$.

Вычислим эквивалентный радиус контактирующих поверхностей по формуле:

$$r_e = \sqrt{r_k \cdot r_p^{гол}}, \quad (5)$$

где r_k – радиус кривизны поверхности катания колеса [5], $r_k = 0,400$ м;

$r_p^{гол}$ – радиус кривизны поверхности катания головки рельса, $r_p = 0,015$ м.

Эквивалентный радиус поверхностей $r_e = 0,0775$ м.

Подставляя полученное значение эквивалентного радиуса поверхностей в (1) имеем $P_{max} = 3129,49$ МПа.

Зная величину максимального напряжения, можно решить обратную задачу. В этом случае, если задать величину нагрузки усилием, которое развивает машина трения СМЦ-2, то мы сможем рассчитать величину эквивалентного радиуса кривизны контактирующих поверхностей.

В случае обратной задачи формула (1) будет иметь следующий вид:

$$r_e = \sqrt[2]{\frac{3 \cdot F \cdot E^2}{P_{max}^3 \cdot 2 \cdot \pi^3 \cdot (1 - \nu^2)^2}}. \quad (6)$$

Принимая для расчётов усилие нагрузки равное $F = 1500$ Н, имеем $r_e = 0,011$ м.

Положим, что отношение радиусов кривизны контактирующих поверхностей составляет 26,67 ($r_k/r_p = 0,400/0,015 = 26,67$), то можно решить данное уравнение обозначив один из радиусов переменной x .

$$r_e^2 = x \cdot 26,67 \cdot x, \text{ откуда } x = 0,002 \text{ м.}$$

Рассчитаем радиус ведущей модели (поверхность гребня колеса) $r_k = 0,053$ м, а радиус поверхности ведомой модели (боковая поверхность головки рельса) $r_p^r = 0,002$ м.

Исходя из конструкционных соображений, необходимо принять рациональное значение моделей: $r_k = 0,04$ м, $r_p^r = 0,010$ м.

Выполним перерасчёт нагрузок для проведения исследований на машине трения:

$$r_p^r = 0,01 \text{ м.}; \quad r_k = 26,67 \cdot 0,01 = 0,267 \text{ м.}$$

$$r_e = \sqrt{0,010 \cdot 0,267} = 0,052 \text{ м.}$$

Формула для определения нагрузки на машине трения будет иметь вид:

$$F_m = \frac{P_{\max}^2 \cdot 2 \cdot \pi^3 \cdot r_e^2 \cdot (1 - \nu^2)^2}{3 \cdot E^2}, \quad (7)$$

Полученное значение нормальной нагрузки на ролик $F_m = 31740$ Н имеет реальный вид и может послужить доказательством того, что проведённые исследования будут максимально приближёнными к реальным условиям нагружения колеса и рельса между боковой

выкружкой рельса и гребнём колеса в криволинейном участке пути метрополитена.

Выводы:

1. Исходя из геометрии контакта колеса и рельса при расчете действующих напряжений для рассмотренных условий контактирования гребня колеса и боковой выкружки рельса может быть использовано решение контактной задачи Герца. В этом случае рассматривается контакт упругих цилиндрических тел, одно из которых имеет радиус кривизны боковой поверхности рельса в точке контакта, а другое – радиус кривизны поверхности гребня колеса.

2. В ходе решения герцевской задачи были рассчитаны значения действующих напряжений в контакте «колесо-рельс» в криволинейном участке пути метрополитена.

3. Полученные результаты расчетов позволяют смоделировать исследуемый точечный контакт на машине трения СМЦ-2. Также были рассчитаны геометрические параметры моделей колеса и рельса и величина внешней нагрузки прилагаемой в зоне контакта колеса и рельса.

Список использованных источников

1. Коган, А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом [Текст] / А.Я.Коган. – М.: Транспорт, 1997. – 326 с.
2. Даніленко, Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст]: підручник для вищих навчальних закладів; у 2-х т. / Е.І. Даніленко. – К.: Інпрес, 2010. – Том 2. – 456 с.
3. Овчинников, О.О. Підвищення ресурсу підрейкових підкладок на криволінійних ділянках залізничної колії метрополітену шляхом застосування пластичного змащення [Текст]: дис... канд. техн. наук 05.22.06 / О.О. Овчинников. – К.: ДЕГУТ, 2012. – 200 с.
4. Харрис, У. Дж. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса [Текст]: пер. с англ. / У. Дж. Харрис, С. М. Захаров, Дж. Ландарен, Х. Торне, В. Эберсен. – М.: Интест, 2002. – 408 с.
5. Сементовский, Э.А. Устройство и ремонт электропоездов метрополитена [Текст] / Э.А. Сементовский, А.А. Богданов, В.С. Гусев, Ю.Я. Могильнер. – М.: Транспорт, 1991. – 335 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Н.П. Ремарчук

Карпенко Сергій Степанович, перший заступник генерального директора КП «Харківський метрополітен». Тел.: (057) 731-59-83.

Воронін Сергій Володимирович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-66. E-mail: voronin.servey@ukr.net.

Коростельов Євген Миколайович, аспірант кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-25.

Karpenko Sergey, First deputy general director KP "Kharkov metropoliten". Tel.: (057) 731-59-83

Voronin Sergey, cand. techn. sciences, associate professor, manager of department of build, travel and freight-unloading machines. Ukrainian state academy of railway transport. E-mail: voronin.servey@ukr.net.

Korostelyov Eugenie, graduate student of department of build, travel and freight-unloading machines. Ukrainian state academy of railway transport. Tel.: (057) 730-10-25.

УДК 625.42:625.143

ОСНОВНИ ПРОЦЕСИ, ЩО ВИКЛИКАЮТЬ ЗНОШЕННЯ ПІДКЛАДКИ У СКРІПЛЕННІ ТИПУ «МЕТРО»

Канд. техн. наук О.О. Овчинніков

ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ ИЗНОС ПОДКЛАДКИ В СКРЕПЛЕНИИ ТИПА «МЕТРО»

Канд. техн. наук А.А. Овчинников

BASIC PROCESSES WHICH CAUSE WEAR'S FASTENING IN «SUBWAY» TYPE LININGS

Cand. of techn. sciences O. Ovchinnicov

На основі аналізу існуючих уявлень про природу зношення елементів подібних технічних систем та умов експлуатації скріплення типу «Метро» визначено, що процесу зношення реборди підкладки притаманні ознаки, характерні для фреттинг-корозії. Наведено можливі групи методів захисту від такого виду зношення та характеристика їх з погляду захисту реборди підкладки розглянутого скріплення, виділено найбільш доцільний зважаючи на особливості експлуатації в метрополітені – змащення поверхні тертя реборди підкладки.

Ключові слова: зношення реборди підкладки, тертя, фреттинг-корозія, змащення.

На основе анализа существующих представлений о природе износа элементов подобных технических систем и условий эксплуатации скрепления типа «Метро» установлено, что процессу износа реборды подкладки присущи признаки, характерные для фреттинг-коррозии. Приведены возможные группы методов защиты от такого вида износа и характеристика их с точки зрения защиты реборды подкладки рассматриваемого скрепления, выделен наиболее целесообразный исходя из условий эксплуатации в метрополитене – смазывание поверхности трения реборды подкладки.

Ключевые слова: износ реборды подкладки, трение, фреттинг-коррозия, смазывание.

Railway intermediate cleatings, , executing the function of connective element between rails and sleepers, also have to provide project position of cleatype filaments during great while. However operating observings testify, that in curved sections of the underground railways size of wear in persistent rebord of linings under the outward rail achieves critical sizes, according to the terms of the train's motion safety, because of admittances on the width of track violation, long before achievement of normative term of lining's use.

In the article on the basis of analysis of existent pictures it is set of nature of wear of elements of the similar technical systems and external of cleating of type «Subway» environments, that prcessu wear of lining rebordy signs, characteristic for frettage-corrosion, are inherent. The possible groups of methods of protecting from such kind of wear of surfaces of friction and description are resulted them from point of defence of rebordy of lining of the examined cleating, the most expedient is selected from them coming from external environments in underground passage is greasing of surface of friction of lining rebordy.

Keywords: railway, underground, lining's rebord wear, friction, frettage-corrosion, greasing.

Особливу небезпеку для метрополітенів, причому незрівнянно більшу, ніж для магістральних залізниць, являє собою уширення колії у кривих ділянках внаслідок зношення упорних реборд підрейкових підкладок типу «Метро» на зовнішній рейковій

нитці (рис. 1). Причиною цього є конструктивні особливості скріплення та великі навантаження ударного характеру, вплив тертя за наявності абразивних продуктів зношення елементів колії та забруднення тунелю, що виникають при проходженні поїздів метрополітену.

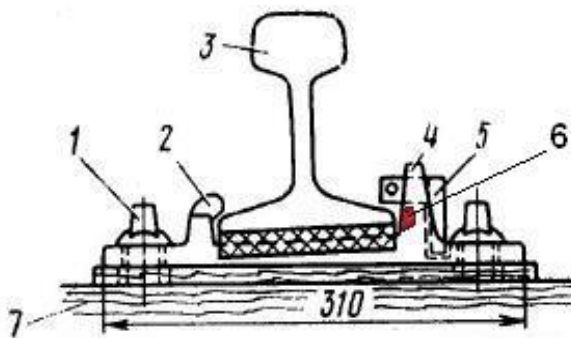


Рис. 1. Схема скріплення типу «Метро»:

1 – шуруп; 2 – лапа; 3 – рейка; 4 – висока реборда підкладки;
5 – маятниковий штир; 6 – місце зносу підкладки; 7 – дерев'яна шпала або коротиш

У зв'язку з цим особливої актуальності для безпеки руху поїздів набуває проблема забезпечення уповільнення зношення упорних реборд підрейкових підкладок типу «Метро» у кривих ділянках колії метрополітену.

Відомо багато тверджень щодо позитивного впливу мастил на характер роботи металевих пар тертя, зокрема на прикладах підшипників ковзання та кочення [1, 2, 3, 4 та ін.] та взаємодії у системі «колесо-рейка» [7, 8, 9, 10 та ін.].

Для наукового обґрунтування вирішення практичних завдань, пов'язаних з підвищенням довговічності елементів сполучення «кромка підшви рейки – реборда підкладки» в кривих ділянках колії метрополітену, необхідно мати уявлення про розподіл фізичного зносу реборди підкладки за видами впливів.

Аналіз існуючих уявлень про природу зношення в подібних технічних системах [6, с. 9-12] дозволяє віднести до процесу зношення реборди підрейкової підкладки в скріпленні типу «Метро» такі особливості, характерні для фреттинг-корозії:

1) швидкість відносного переміщення контактуючих поверхонь є малою в порівнянні зі швидкостями при звичайному терті ковзання;

2) мала амплітуда зсувів ускладнює видалення продуктів зношення із зони контакту;

3) процес взаємодії у сполученні «кромка підшви рейки – реборда підкладки» відрізняється високою інтенсивністю, причому в умовах високої вологості в тунелі кисень збільшує пошкодження;

4) продуктами зношення реборди підкладки є, в основному, їх окиси.

Численні дослідження, присвячені процесу фреттинг-корозії, дозволили розробити різні методи захисту деталей машин від такого виду зношення. Умовно їх можна поділити на дві групи:

1) методи запобігання відносного переміщення поверхонь (конструктивно-технологічні);

2) методи захисту поверхонь від провідних процесів пошкодження при фреттинг-корозії.

Такі методи, при узагальненні результатів дослідження механізму зношення при фреттинг-корозії, наведено на схемі (рис. 2).

Дамо коротку характеристику цих двох груп методів з погляду захисту сполучення «кромка підшви рейки – реборда підкладки».

Перша група складається зі способів запобігання відносному переміщенню поверхонь або зменшення цього переміщення і включає, у тому числі, й використання демпфуючих пристроїв. Такий метод може бути використаний і в процесі експлуатації сполучення «кромка підшви рейки – підкладка» за відомих параметрів амплітуди, частоти коливань і контактних тисків, однак він не повною мірою сприяє усуненню фреттинг-корозії, тому що основні процеси механізму зношення при фреттинг-корозії відбуваються не тільки через наявність зворотно-поступального руху. Проте в умовах експлуатації існуючого сполучення не можна виключити доцільність використання проміжних шарів між його поверхнями тертя (каучук, полімери та ін.).



Рис. 2. Класифікація методів захисту від фреттинг-корозії

Друга група методів захисту присвячена способам обробки поверхонь тертя у сполученнях, що зазнають фреттинг-корозії, для запобігання окремим впливам.

Тому стосовно сполучення «кромка підшви рейки – реборда підкладки» необхідно провести дослідження, присвячені визначенню провідного процесу і згодом застосувати той або інший спосіб уповільнення або запобігання цьому процесу.

Аналізуючи умови роботи сполучення «кромка підшви рейки – реборда підкладки», конструктивні особливості скріплення, характер взаємодії його елементів в колії, в тому числі за допомогою відеоспостереження в умовах експлуатації метрополітену, можна дійти висновку, що в розглянутому сполученні зношення реборда підкладки супроводжується такими процесами: схоплюванням поверхонь взаємодії, механічними втомлювальними, корозійно-втомлювальними, абразивним руйнуванням. Всі ці процеси відбуваються у поверхневих шарах сполучення «кромка підшви рейки – реборда підкладки» [11, с. 207], що дає підстави для таких висновків:

1. Оскільки всі основні процеси відбуваються в поверхневих шарах сполучення, то є потреба у розділенні їх плівкою, що сповільнить їх зношення.

2. Створення такої плівки досягається різними методами: хіміко-термічною обробкою, нанесенням покриттів із різних матеріалів, що сприяють зменшенню коефіцієнта тертя, застосуванням мастил.

3. Шляхом формування плівки на поверхнях тертя у сполученні зменшується або виключається окисне середовище в зоні контакту і, як результат, окиснювальні процеси, що супроводжують руйнування, практично виключаються.

4. Стосовно умов експлуатації сполучення «кромка підшви рейки – реборда підкладки» у метро найбільш доцільним, з позицій трудомісткості впровадження у виробничих умовах, є використання змащення поверхонь тертя як способу (у припущенні) найменш дорогого, в порівнянні з іншими. Шляхом створення мастильної плівки між поверхнями тертя у сполученні «кромка підшви рейки – реборда підкладки» пара тертя переходить із режиму сухого тертя в режим граничного змащення [5, 6], що сприяє зниженню втомлювальних процесів у поверхневих шарах, а також формуванню захисного шару від корозійного впливу навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. Алябьев, А.Я. Методы защиты деталей от фреттинг-коррозии [Текст] / А.Я. Алябьев // Надежность и долговечность авиационных газотурбинных двигателей: сб. науч. тр. – К.: Изд-во КИИГА, 1971. – Вып. 1. – С. 58-62.
2. Голего, Н.Л. Исследование механизма фреттинг-коррозии [Текст] / Н.Л. Голего [и др.] // Проблемы трения и изнашивания: сб. науч. тр. – К.: Техника, 1971. – Вып. 1. – С. 119-127.
3. Зорин, В.А. Основы работоспособности технических систем [Текст]: учебник для вузов / В.А. Зорин. – М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. – 536 с.
4. Лысиков, Е.Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст] / Е.Н. Лысиков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин. – Харьков: ЭДЭНА, 2009. – 274 с.
5. Гаркунов, Д.Н. Триботехника [Текст] / Д.Н. Гаркунов. – 2-е изд., переб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
6. Голего, Н.Л. Фреттинг-коррозия металлов [Текст] / Н.Л. Голего, А.Я. Алябьев, В.В. Шевеля. – К.: Техника, 1974. – 272 с.
7. Бартенева, Л.И. Технология комплексного снижения износа гребня колеса и рельса с помощью передвижных рельсосмазывателей [Электронный ресурс] / Л.И. Бартенева, В.Е. Никитин // Железные дороги мира. – 2004. – №1. – Режим доступа: <http://www.zdmira.com>.
8. Карпущенко, Н.И. Смазка – единственный способ предупреждения износа [Текст] / Н.И. Карпущенко // Путь и путевое хозяйство. – 2000. – №2. – С. 15-18.

9. Коган, А.Я. Теоретические исследования влияния различных эксплуатационных факторов на износ рельсов, гребней и бандажей колесных пар [Текст] / А.Я. Коган, М.А. Левинзон. – М: ВИНТИ, 1996. – 119 с.

10. Сосновский, Л.А. Проблема колесо-рельс с позиций трибофатики [Текст] / Л.А. Сосновский, В.И. Сенько // Железнодорожный транспорт. – 2007. – №3. – С. 38-44.

11. Лисіков, Є.М. Фізичні основи процесу зношування в сполученні «підшва рейки – реборда підкладки» при змащуванні [Текст] / В.П. Шраменко, О.О. Овчинніков [та ін.] // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 103. – С. 206-210.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.А. Пługін

Овчинніков Олександр Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту.

Ovchinnikov Alexander, cand. techn. sciences, associate professor of Department "Road and Track acilities". Ukraine State Academay Transpor.



Українська державна академія залізничного транспорту

Науково-дослідна частина

61050, Харків-50, пл. Фейєрбаха, 7, до. 1.318

ф. (+38057) 771-46-83, 730-10-05, 730-19-37

www.kart.edu.ua

nich@kart.edu.ua

Наукова діяльність академії зосереджена на ключових напрямках науково-технічного прогресу транспортної галузі. Академія пропонує співпрацю в спільних наукових дослідженнях на залізничному транспорті, по проблемах наукового забезпечення, створення, експлуатації, обслуговування і ремонту інфраструктури та рухомого складу, з метою отримання ефекту, направленою на зменшення експлуатаційних витрат.

Академія активно бере участь у виконанні державних і галузевих комплексних і цільових програм: «Транспортні коридори України», «Безпека руху на залізницях України», «Швидкісний залізничний транспорт», «Електрифікація залізниць України».

Науково-дослідна робота в академії виконується по наступних напрямках прикладних наукових і науково-технічних розробок у сфері розвитку національної транспортної мережі:

- логістика і логістичні технології;
- тяговий рухомий склад залізниць в т.ч. тепловози, дизель-поїзди, електропоїзди, вагони;
- дизельні силові установки, паливна економічність;
- паливомастильні і хімічні матеріали;
- метали і сплави;
- проблеми екології на залізницях;
- механізація вантажно-розвантажувальних робіт;
- автоматизація управління рухом поїздів;
- управління експлуатаційною роботою;
- транспорт, зокрема промисловий, транспортне будівництво;
- телекомунікаційні системи і мережі;
- автоматизоване управління транспортними процесами;
- енергомашинобудування;
- промисловість будівельних матеріалів;
- колійні вантажно-розвантажувальні і будівельні машини;
- ремонт і експлуатація транспортних засобів;
- сертифікація, стандартизація і якість продукції та послуг залізничного транспорту;
- маркетинг і економіка транспорту;
- фінанси, облік і аудит.

Тематика НДР кафедр і лабораторій, виконання договорів:

"Логістичні технології на транспорті і взаємодія видів транспорту"	Альошинський Є.С.	т. 730-19-55 tsl@kart.edu.ua
"Підвищення паливно-експлуатаційної економічності та покращення екологічних показників дизельної тяги"	Фалендиш А.П.	т. 730-10-77 ttd@kart.edu.ua
"Управління технологічною експлуатацією та ремонтом тягового рухомого складу"	Тартаковський Е.Д.	т. 730-19-98 errs@kart.edu.ua
"Механізація вантажно-розвантажувальних та шляхових робіт на залізничному транспорті"	Романович Є.В.	т. 730-10-72 spprm@kart.edu.ua
"Підрейкові основи і спецзалізобетон"	Плугін А.А.	т. 730-10-63 bmcs@kart.edu.ua
"Автоматизовані вентиляльні електромеханічні системи тяги"	Щербак Я.В.	т. 730-10 – 73 aset@kart.edu.ua
"Мікропроцесорні засоби автоматизації об'єктів залізничного транспорту"	Мойсеєнко В.І.	т. 730-10-61 scs@kart.edu.ua

"Корозія і захист від корозії конструкцій і споруд залізниць"	Плугін А.М.	т. 730-10-64 bmcs@kart.edu.ua
"Автоматика та телемеханіка"	Бойнік А.Б.	т. 730-10-32 at@kart.edu.ua
"Забезпечення збереження вантажів при перевезенні і умов перевезень"	Запара В.М.	т. 730-10-85 uvkr@kart.edu.ua
"Телекомунікаційні мережі"	Приходько С.І.	т. 730-10-84 ts@kart.edu.ua
"Автоматизовані системи управління процесами перевезень"	Бабаєв М.М.	т. 730-19-96 eltech@kart.edu.ua
"Безстикові колії"	Даренський О.М.	т. 730-10-58 ppx@kart.edu.ua
"Електрошлакові та зміцнюючі технології транспортних металів і сплавів"	Тимофєєва Л.А.	т. 732-28-84 mtv@kart.edu.ua
"Хімотологічна"	Воронін С.В.	т. 730-10-66 spprm@kart.edu.ua
"Економіка залізничного транспорту"	Дейнека О.Г.	т. 730-10-45 ezt@kart.edu.ua
"Безпека руху"	Мороз В.П.	т. 730-10-33 at@kart.edu.ua
"Електричний моторвагонний рухомий склад"	Яцько С.І.	т. 730-10-72 aset@kart.edu.ua

Академія забезпечує підготовку науково-педагогічних кадрів через докторантуру по 14 спеціальностям і аспірантуру – по 23 спеціальностям. Підготовка фахівців вищої кваліфікації (кандидатів і докторів наук) проводиться для залізниць і підприємств транспортного комплексу України.

Академія є засновником трьох видань, занесених ВАК України в перелік спеціалізованих, і пропонує взяти участь в публікаціях передового досвіду в таких виданнях:

- Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, який виходить 8 разів на рік;
- "Вісник економіки транспорту і промисловості", який виходить 4 рази на рік;
- Журнал «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», який виходить 6 разів на рік.

Організація винахідницької діяльності в академії направлена на реалізацію єдиної державної політики у сфері науки і інтелектуальної власності, тобто на забезпечення правової охорони і господарського впровадження результатів науково-дослідних робіт.

В даний час академія є власником і підтримує чинність: 53 патенти України на винаходи, 44 деклараційних патентів на корисні моделі.

Найкращі запатентовані розробки академії:

- спосіб вимірювання вологості і визначення вологісного стану ґрунтів, зокрема на глибині;
- спосіб перевезення вантажів у великотоннажних контейнерах рейковим контейнеровозом;
- спосіб перевезення вантажів залізничним вагоном із змінними ходовими частинами;
- система змазування двигуна внутрішнього згорання;
- спосіб виконання вантажних операцій на контейнерному терміналі;
- індуктивно-дротовий датчик для виявлення транспортного засобу в межах певної ділянки шляху;
- спосіб перевезення вантажів негабаритних і великогабаритних на зчепленні універсальних залізничних платформ.

Академія виконає будь-які дослідження і/або наукові послуги з відмічених напрямів для підприємств, які вкладають заощадження в інноваційний розвиток виробництва і трансферу технологій транспортного призначення.

Академія може організувати і упроваджувати нові високотехнологічні розробки, для чого бере участь в Українсько-російській мережі трансферу технологій відповідно напряму науково-технічної діяльності <http://ukrros.net/>.

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ УКРАЇНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ
АКАДЕМІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ZBIRNIK NAUKOVIH PRAC' UKRAINS'KOI DERZAVNOI
AKADEMIJ ZALIZNICNOGO TRANSPORTU**

Випуск 148

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанова президії ВАК України № 1-05/4 від 26 травня 2010 р.)

Статті друкуються мовою оригіналу в авторській редакції.

Відповідальний за випуск Онопрейчук Д.В.

КВ № 8617 від 06.04.2004 р. Підписано до друку 24.09.2014 р.
Формат паперу 60x84 1/8. Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 19,0. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха,7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Виготовлювач ТОВ «Енергозберігаючі технології»
61050, Харків, Харківська набережна,8.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1360 від 19.05.2003р.