



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

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

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

*Випуск 157*



**Харків 2015**

## УДК 656.2.004.18

У збірнику відображені матеріали та наукові розробки вчених і спеціалістів залізничного транспорту, наукових установ і промисловості з вирішення сучасних задач та проблем організації перевезень та управління на транспорті, рухомого складу і тяги поїздів, транспортного будівництва та залізничної колії, автоматики, телемеханіки та зв'язку.

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](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe).

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (Польща), з реєстрацією збірника можна ознайомитися на сайті <http://jml2012.indexcopernicus.com>.

**Google Scholar профіль:** <https://scholar.google.com.ua>

**Веб-сторінка збірника:** <http://znp.kart.edu.ua>

## ISSN 1994-7852

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 7 від 27 жовтня 2015 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  
к.т.н., доцент С.В. Михалків – заступник голови  
д.т.н., професор А.Б. Бойнік  
д.т.н., професор Т.В. Бутько  
д.т.н., професор В.С. Блиндюк  
д.т.н., професор С.В. Лістровий

д.т.н., професор С.В. Лістровий  
д.т.н., професор Д.В. Ломотько  
д.т.н., професор В.І. Мойсеєнко  
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  
д.т.н., професор Ю.О. Ландау  
к.т.н., доцент Г.Л. Ватуля

### Будівельні матеріали, конструкції та споруди

д.т.н., професор А.А. Пługін – головний редактор  
д-інж., професор Х.-Б. Фішер (Веймарськ. будівел. ун-т, Німеччина)  
д.т.н., професор В.С. Лесовик (Белгор. ДТУ ім. В.Г. Шухова, Росія)  
д.т.н., професор А.Д. Омаров (Гуманітар.ун-т тр-та і права ім. Д.А. Кунаєва, Республіка Казахстан)  
д.т.н., професор Д.А. Пługін  
д.т.н., професор М.Ю. Избаш  
д.т.н., професор Г.М. Шабанова  
д.т.н., професор О.М. Даренський

### Автоматизовані системи електричного транспорту

д.т.н., професор Я.В. Щербак – головний редактор  
д.т.н., професор М. Люфт (Радомський техн.-гуманіт. ун-т ім. К. Пуласького УТН)  
д.т.н., професор О.О. Шавьолкін (ХНУМГ ім. О.М.Бекетова)  
д.т.н., професор Г.Г. Жемеров  
д.т.н., професор В.Б. Клепиков  
д.т.н., професор В.І. Омеляненко  
д.т.н., професор В.Г. Ягуп  
к.т.н., доцент С.І. Яцько

### Експлуатація залізниць

д.т.н., професор Т.В. Бутько – головний редактор  
д.т.н., професор В.Я. Негрей (БелДУТ, Білорусь)  
д.т.н., професор Д.Г. Неволін (УрДУШС, Росія)  
д.т.н., професор М.М. Бабаєв  
д.т.н., професор А.Б. Бойнік  
д.т.н., професор О.В. Лаврухін  
д.т.н., професор О.Г. Шибяєв  
д.т.н., професор В.Н. Бобровський  
д.т.н., професор І.В. Жуковицький  
д.т.н., професор Є.С. Альошинський

### Рухомий склад залізниць

д.т.н., професор Е.Д. Тартаковський – головний редактор  
д.т.н., професор В.І. Кисельов (МДУШС, Росія)  
д.т.н., професор О.М.Грищенко (ПДУШС, Росія)  
д.т.н., професор А.П. Фалендиш  
д.т.н., професор О.Б. Бабанін  
д.т.н., професор Я.В. Щербак  
д.т.н., професор В.Г. Пузир  
д.т.н., професор І.Е. Мартинов  
д.т.н., професор Ю.Є. Калабухін

### Телекомунікаційні системи та управління ними

д.т.н., професор С.І. Приходько - головний редактор  
д.т.н., професор В.С. Блиндюк  
д.т.н., професор Г.В. Альошин  
д.т.н., професор А.Б. Бойнік  
д.т.н., професор В.І. Мойсеєнко

д.т.н., професор І.П. Книшев (МДУШС, Росія)  
д.т.н., професор С.В. Панченко  
д.т.н., професор М.М. Бабаєв  
д.т.н., професор С.В. Лістровий  
д.т.н., професор О.А. Серков (НТУ ХПІ)

За загальною редакцією д.т.н., професора С.І. Приходька

ISSN 1994-7852

Зареєстровано 2 червня 2007 р.  
у ISSN International Centre 20. Rue  
Bachumont, 75002 PAPIIS, FRANCE

© Український державний університет  
залізничного транспорту, 2015

## ЗМІСТ

### *Будівельні матеріали, конструкції та споруди*

<i>Семко О.В., Воскобійник Є.П.</i> Основні принципи та прийоми реконструкції промислових об'єктів під будівлі громадського призначення	5
<i>Фаст Д.А.</i> Розрахунок дерев'яної шпали в тунелі метрополітену на міцність	13
<i>Глазунов Ю.В.</i> Вплив способів передачі навантаження на несучу здатність сталобетонних колон	18
<i>Кушнерова Л.А.</i> Эффективность использования отходов промышленности в производстве теплоизоляционных материалов	24
<i>Дерев'яно В.М., Максименко А.А., Гришко Г.М.</i> Модифіковані сухі будівельні суміші на основі магнезійно-бішофітної композиції	29
<i>Новіков В.В., Скорик О.О.</i> Результати експериментальних вимірювань бічних пружних відтискань головки рейкової нитки при її одночасному вертикальному та горизонтальному навантаженні	35
<i>Рыщенко Т.Д., Вяткин К.И.</i> Обоснование возможностей использования газошламов с целью повышения энергоэффективности производства портландцемента	39
<i>Ксьоншикевич Л.М., Крантовська О.М., Даниленко А.В.</i> Вплив мікрокремнезему та механоактивації на ефективну в'язкість цементних суспензій	44
<i>Фоц А.В., Керш В.Я., Колесніков А.В.</i> Оцінка якості гідрофобізуючих добавок і їх вплив на водостійкість гіпсу	49
<i>Бєлікова Н.В., Гречаник Є.М., Лихицький С.В.</i> Принциповий огляд і порівняльний аналіз існуючих програмних комплексів для сучасного електронного проектування нових, реконструкції та експлуатації існуючих залізниць	53
<i>Малюшицький О.В.</i> Дослідження роботи закладних деталей системи кріплення залізобетонних колон	59
<i>Іванченко В.Г.</i> Пресіометричні дослідження стисливості піщаних основ, закріплених ґрунтоцементом	66
<i>Махінько А.В., Махінько Н.О.</i> Обґрунтування аналітичного підходу до динамічного розрахунку висотних споруд простої архітектурної форми на дію вітру	72
<i>Тудей Ю.Л.</i> Аналіз просторової жорсткості скріплень ДО	82
<i>Балабай Е.А.</i> Вероятностная оценка риска возникновения аварий на бетонных гравитационных плотинах на скальном основании	86
<i>Новаковська В.Я.</i> Дослідження процесу розпаду бітумних та модифікованих бітумних емульсій	92
<i>Арутюнов В.А.</i> Умови формування додаткових кристалогідратів на поверхні поліефірного волокна	97
<i>Гапонова Л.В., Калмиков О.А., Гребенчук С.С.</i> Експериментально-теоретичне дослідження напружено-деформованного стану сферичної оболонки покриття	102

***Рухомий склад залізниць***

<i>Ловська А.О.</i> Математичне моделювання динаміки контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі, при маневровому співударянні	114
<i>Мурадян Л.А., Шапошник В.Ю.</i> К вопросу о планах испытаний надежности механических систем	119
<i>Волошин Д.І.</i> До питання підвищення надійності роботи виробничих підрозділів підприємств з ремонту вагонів	128
<i>Сафронов О.М.</i> Алгоритм определения фактического значения расчетного коэффициента силы нажатия тормозных колодок по результатам поездных тормозных испытаний грузовых вагонов	131
<i>Меркулов В.С., Бізюк І.Г.</i> Метод гілок і меж у календарному плануванні вантажно-вивантажувальних робіт	140
<i>Иценко В.М., Фомін О.В., Осьмак В.Є.</i> Теплотехнічна модель конструкції огороження кузова критого вагона з теплоізоляцією	143
<i>Егоров О.И.</i> Имитационная модель идентификации подвижных единиц и поезда в целом	149
<i>Тартаковський Е.Д., Горобченко О.М.</i> Застосування байєсівських мереж при розробленні інтелектуального модуля керування гальмами поїзда	155

***Експлуатація залізниць***

<i>Крячко К.В., Недбай Є.С.</i> Удосконалення конструкції та технології роботи Південної системи двосторонньої сортувальної станції Основа	160
<i>Зінченко О.Є.</i> Вентильні реактивні двигуни. Сучасний стан і перспективні напрями досліджень	164
<i>Богатырь Ю.И.</i> Проверка адекватности имитационной модели замкнутой системы управления исполнительным устройством стрелочного привода	169

***Автоматизовані системи електричного транспорту***

<i>Ващенко Я.В.</i> Метод виявлення пошкоджень у тяговому асинхронному електроприводі на основі його математичної моделі	176
--	-----

***Телекомунікаційні системи та управління ними***

<i>Мороз В.П., Бурлаченко А.Ю., Шовкопляс О.О.</i> Розроблення профілю стандартів станційних систем керування рухом поїздів на залізничному транспорті	185
<i>Ланко А.О.</i> Підхід до оцінювання ефективності системи технічного обслуговування пристроїв залізничної автоматики	194

**БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, КОНСТРУКЦІЇ ТА СПОРУДИ**

---

---

УДК 69.059.7:725.4 (477.53)

**ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ТА ПРИЙОМИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ПІД БУДІВЛІ ГРОМАДСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Д-р техн. наук О.В. Семко, асп. Є.П. Воскобійник

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПРИЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПОД ЗДАНИЯ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Д-р техн. наук А.В. Семко, асп. Е.П. Воскобойник

**THE BASIC PRINCIPLES AND METHODS OF RECONSTRUCTION OF INDUSTRIAL BUILDINGS FOR USE AS PUBLIC FUNCTION**

Doct. of techn. sciences O.V. Semko, graduate student E.P. Voskobiyuk

*У статті розглянуто основні принципи та прийоми реконструкції промислових об'єктів на основі їх реновації. Виділено головні чинники, що зумовлюють можливість і технічну та економічну доцільність такого способу реконструкції промислової забудови. Запропоновано класифікацію основних факторів, що аналізуються під час проектування реконструкції на основі реновації промислової будівлі в громадську, а також їх експертну оцінку.*

**Ключові слова:** промислові об'єкти, реконструкція, перепрофілювання, реновація, громадські будівлі, торговельно-офісні комплекси.

*В статье рассмотрены основные принципы и приемы реконструкции промышленных объектов на основе их реновации. Выделены главные факторы, обуславливающие возможность, техническую и экономическую целесообразность такого способа реконструкции промышленной застройки. Предложена классификация основных факторов, анализируемых при проектировании реконструкции на основе реновации промышленного здания в гражданское, а также их экспертные оценки.*

**Ключевые слова:** промышленные объекты, реконструкция, перепрофилирование, реновация, общественные здания, торгово-офисные комплексы.

*The article developments the basic principles and methods of industrial buildings reconstructions based on their renovations. The analysis of main factors that determine of possibility, technical and economical advisability of these reconstruction methods of industrial structures were consider. The classification of main factors with should be analyze in the design of renovation reconstructions of an industrial building for use as public function and these expert opinions were done.*

**Keywords:** industrial objects, reconstruction, reshape, building renovations, public buildings, mall and office complexes.

**Вступ.** На початку XXI ст., на відміну від концепцій містобудування минулого сторіччя, реконструкція стає однією з найважливіших і найперспективніших тенденцій світового будівництва, адже сучасна концепція забудови міст вимагає якомога ефективнішого використання його території. Одним із напрямів удосконалення структури сучасного міста є зміна функціонального призначення

його територіального зонування [15-18]. Тому останнім часом особливу увагу містобудівники звертають на промислові території, що зазвичай внаслідок існуючої на сьогодні в нашій країні загальної тенденції зношення основних фондів підприємств, збудованих у 60-70 роки XX ст. – у період масового будівництва, на тлі наслідків загальної економічної кризи частково або взагалі не використовуються. Таким чином, у

структурі сучасного міста, що розвивається, в останні роки проблема реконструкції промислової забудови є особливо актуальною.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями.** При аналізі даної проблеми слід зауважити, що, за статистичними даними, у середньому відсоткова частка промислових зон у структурі сучасних міст складає від 10 до 50 % (рис. 1, а) [13].

Проте докорінні зміни в галузі виробництва і економіки, що відбулися з поступовим переходом суспільства з індустріальної до постіндустріальної епохи, призвели до кризового стану або припинення діяльності багатьох заводів. Часто розташовані на цінних центральних територіях міста (рис. 1, б), ці об'єкти простоюють, ускладнюючи функціонування основних зон міста і створюючи екологічний та естетичний дисбаланс. Натомість існує дефіцит міської території для розвитку дрібного нешкідливого та наукомісткого виробництва, малого та середнього бізнесу, сфери обслуговування, особливо на ділянках, що розташовані біля головних міських магістралей і районів активного житлового будівництва. Актуальність реконструкції територій та основних фондів промислових підприємств, розташованих у центральній частині міста, підтверджується тим, що сьогодні для визначення цього поняття існує декілька поширених у літературі термінів, серед яких «реновація» та «редевелопмент» [10, 13]. Загалом само поняття «редевелопмент» має американське походження, вперше було застосовано в США, коли на початку 60-х років ХХ ст., зважаючи на загальну економічну ситуацію, у країні з'явилися компанії, що скуповували дрібні застарілі підприємства, демонтували забудову та зводили на їх місці нові сучасні економічно привабливі об'єкти нерухомості. Натомість «реновація» передбачає адаптивне використання існуючих будівель, споруд, комплексів шляхом зміни їх функціонального призначення, тобто реконструкції [10, 14].

Разом з тим **аналіз останніх джерел досліджень і публікацій** [5, 7, 8] свідчить, що формування торговельно-офісних центрів на основі реновації промислових будівель у цих роботах комплексно практично не

розглядалися. Проте, зважаючи на існуючий вітчизняний і закордонний досвід реновації промислових об'єктів і їхньої містобудівної ролі [5-9], на сьогодні має місце широке розповсюдження цього процесу на різних структурних рівнях промислових зон: реновація промислового району; промислового вузла; промислового майданчика; групи промислових будівель; окремої промислової будівлі.

Так, за статистичними даними досліджень [19], відсоткове співвідношення між новим будівництвом і реновацією в розвинутих країнах Європейського союзу, зокрема Фінляндії, за останні 30 від зросло від (75/25) % до (55/45) %. Загалом, починаючи з 2010 р., у Західній Європі інвестиції в реновацію існуючих об'єктів у середньому становлять близько 550 млрд євро в рік, перевищуючи майже в 1,5 разу обсяги нового будівництва.

Привабливість інвестицій у реновацію промислової забудови підтверджують і дослідження «Commercial RealEstate». Зокрема вартість типового будівництва офісу класу «В» в стадії «shell & core» (без оздоблення), за даними роботи [13], становить близько 1000 дол. за 1 м<sup>2</sup>. Натомість його аналог, створений на основі реновації існуючого промислового об'єкта, у середньому буде коштувати на 20-50 % дешевше, тобто 500-800 дол. за 1 м<sup>2</sup>.

Проте однією з основних проблем, що постають перед інвесторами та забудовниками, є відсутність на сьогодні науково обґрунтованої методики визначення можливості та технічної й економічної доцільності вибору того чи іншого методу подальшого використання існуючої забудови, що є **невирішеною раніше частиною загальної проблеми, якій присвячується стаття.**

Зважаючи на це **основною метою** даних досліджень є аналіз та узагальнення існуючого досвіду, формулювання основних передумов, принципів і прийомів реконструкції існуючої промислових об'єктів на основі їх реновації.

**Основна частина дослідження. Аналіз досвіду реновації промислових об'єктів на прикладі м. Полтава.** Створення громадських будівель на основі реновації промислових об'єктів дає можливість ефективного використання існуючої індустріальної забудови з одночасним вирішенням назрілих проблем

розвитку міста. Особливо це є актуальним для нефункціонуючих промислових об'єктів, які розташовані в зоні впливу важливих міських магістралей і пересадочних вузлів у структурі сучасного міста, що розвивається (рис. 1, б).

При цьому слід розрізняти часткову (що відбувається у складі діючих підприємств при виведенні з експлуатації окремих цехів, які не відповідають вимогам сучасних технологій, з наданням їм громадської функції і може здійснюватися разом із реконструкцією і модернізацією підприємства) і комплексну (що передбачає повне припинення виробництва на території об'єкта з можливим винесенням його

на іншу ділянку і заходи, спрямовані на забезпечення його нового функціонування в якості громадського об'єкта) реновацію.

Як приклад, аналіз сучасної забудови м. Полтава свідчить, що на головних композиційних осях міста розташовані промислові об'єкти, що на сьогодні фактично виведені з експлуатації (рис. 2, а, б). Ці об'єкти займають значні площі, мають неприглядний вигляд і негативно впливають на архітектурний облік міста. З іншого боку, на сьогодні в місті існує досвід доволі вдалої реновації промислових об'єктів (рис. 2, в, г).

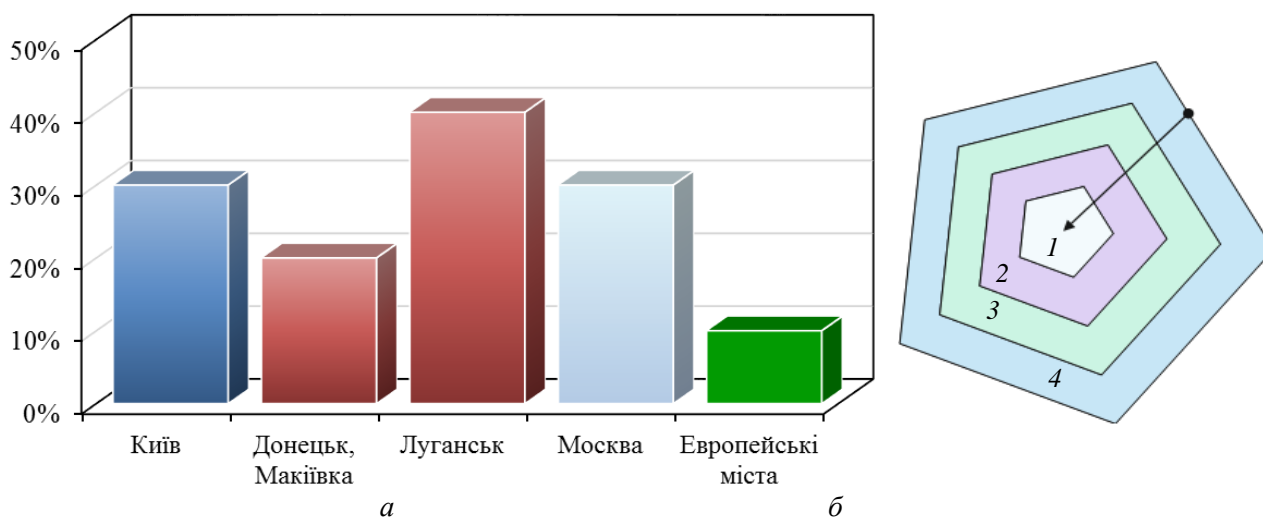


Рис. 1. Аналіз типової забудови міст:  
 а – відсоткова частка промислових зон у структурі сучасних міст;  
 б – схема типової забудови міста; 1 – історичний центр; 2 – старі промислові підприємства;  
 3 – «спальні» райони; 4 – нові промислові підприємства

Зокрема реновація частини території турбомеханічного заводу вздовж вулиці Зінківської в м. Полтава (рис. 2, г) є характерним прикладом застосування основних її прийомів. Розташування цього промислового об'єкта в центрі міста (вздовж червоної лінії забудови вулиці Зінківської) та існуюча розвинута інфраструктура: наявність під'їздів і території для розміщення автостоянок, а також близькість до залізничного вокзалу зумовили вибір нового призначення розглядуваного об'єкта. Слід зазначити, що при цьому було застосовано декілька типових прийомів:

- повний демонтаж головного корпусу заводу зі зведенням на його місці торговельно-розважального комплексу «Київ»;
  - перепрофілювання адміністративного корпусу заводу під будівлю громадського призначення з розміщенням торговельно-офісних приміщень;
  - реконструкція механічного корпусу заводу під будівлю громадського призначення з розміщенням торговельних приміщень продовольчого ринку та приміського вокзалу.
- Реновація будівель турбомеханічного заводу є яскравим прикладом часткової реновації, що відбувається у складі діючих

підприємств при виведенні з експлуатації окремих цехів, які не відповідають вимогам сучасних технологій, з наданням їм громадської функції.

З іншого боку, під час реновації існує й сумний досвід із цілим рядом типових помилок.

Так, наприклад, при реконструкції одного з промислових промислового цехів через некваліфіковане оцінювання технічного стану конструкцій відбулось аварійне обвалення декількох залізобетонних плит покриттів.



*а*



*б*



*в*



*г*

Рис. 2. Приклади нефункціонуючих промислових об'єктів м. Полтави та їх реновації:  
*а* – загальний вигляд нефункціонуючої будівлі заводу «Полтавафарфор» по вулиці Маршала Бірюзова, 37; *б* – загальний вигляд нефункціонуючої будівлі головного корпусу заводу «Знамя» по вул. Фрунзе в м. Полтава; *в* – реновація будівлі їдальні заводу «Знамя» на перетині вулиць Фрунзе та Київське Шосе; *г* – реновація території турбомеханічного заводу по вулиці Зінківській в м. Полтава



Таким чином, розроблення проекту реновації промислового об'єкта потребує застосування комплексного підходу, що вже на стадії розроблення передпроектних рішень ґрунтується на всебічному аналізі всіх факторів, які зумовлюють можливість і доцільність такого виду робіт.

**Аналіз факторів, що впливають на функціонально-планувальну та об'ємно-просторову структуру об'єктів реновації.** Як відомо [3], на визначення типу громадської будівлі в умовах нового будівництва впливають такі фактори, як розташування в структурі міста (на периферії, у серединних або центральних районах (рис. 1, а)); соціально-демографічна характеристика району; розміщення ділянки будівництва відносно транспортних магістралей, пересадочних вузлів і пішохідних підходів. В умовах реновації до вищезазначених факторів додаються характеристики об'ємно-планувальної структури та історико-культурної цінності об'єкта, який перебудовується. Відповідно до розміщення в структурі міста і класифікаційних ознак промислових об'єктів можливо виділити відповідні типи торговельно-офісних комплексів, що виникають на основі реновації: спеціалізовані загальноміські; місцеві і регіональні; місцеві і міські торговельно-офісні комплекси.

Врахування цих факторів передбачає послідовне комплексне поетапне вирішення таких завдань:

– вибір нефункціонуючого промислового об'єкта реновації з одночасним визначенням типу та функціонального наповнення торговельно-офісного центру, який буде створено за допомогою графоаналітичного методу та методу експертних оцінок;

– вибір принципів і прийомів об'ємно-планувальної перебудови на основі визначення історико-культурної цінності об'єкта (або його частин), аналізу його планувальної структури з точки зору можливостей розміщення нових функцій та одночасним коригуванням типу, формату і функціональної моделі торговельно-офісного комплексу;

– розроблення варіантів архітектурно-планувальних рішень торговельно-офісного комплексу;

– оцінювання розроблених варіантів і вибір оптимального рішення на основі

показників і критеріїв економічності та ефективності.

Основними вирішальними факторами при перепрофілюванні промислових будівель у громадські, зокрема торговельно-офісні комплекси є дотримання нормативних вимог щодо трьох груп основних факторів: містобудівні, об'ємно-планувальні та конструктивні.

**Основні принципи, методи та прийоми реновації промислових об'єктів під будівлі громадського призначення.** Зважаючи на проведений вище аналіз, до основних принципів реновації промислових об'єктів під будівлі громадського призначення слід віднести:

- принцип містобудівної відповідності;
- принцип функціональної відповідності;
- принцип об'ємно-планувальної відповідності;
- принцип економічної ефективності.

Внаслідок цього розміщення торговельних функцій у перебудованих промислових об'єктах можливе шляхом:

– розміщення функцій, які відповідають конструктивно-планувальним характеристикам існуючої будівлі;

– розміщення функцій, що не відповідають властивостям існуючої будівлі, разом із вживанням додаткових архітектурно-планувальних заходів.

Таким чином, обрані методи об'ємно-планувальної перебудови промислових будівель залежать від об'ємно-планувальних і історико-культурних характеристик існуючих об'єктів, а також від можливості виконання містобудівних і функціональних вимог до громадських будівель в умовах реновації.

**I – метод максимального збереження існуючої структури промислової будівлі:** застосовується за умов її значної історико-культурної цінності та/або відповідності планувальних характеристик вимогам до організації торговельного закладу, неможливості просторового розвитку об'єкта. Це відбувається при використанні умовної моделі торговельно-офісного комплексу в існуючій об'ємно-планувальній структурі при повному її збереженні.

**II – метод максимального збереження зовнішньої оболонки разом зі зміною об'ємно-планувальної структури промислової будівлі:** застосовується за умов її значної та середньої історико-культурної цінності, при

цьому зміни відбуваються в межах зовнішнього огороження. Виконання вимог до функціонально-просторової організації торговельно-офісного комплексу досягається за рахунок виявлених **об'ємно-планувальних прийомів реновації:**

- повне об'єднання простору за рахунок звільнення від внутрішніх стін, перегородок, колон і міжповерхових перекриттів;

- часткове об'єднання простору за рахунок створення атріумів і багаторівневих інформаційно-комунікаційних просторів;

- розподіл існуючого простору шляхом зведення додаткових поверхів, галерей, антресолей;

- включення самостійної конструктивно-планувальної системи;

- перепланування зі встановленням стаціонарних та трансформованих елементів;

- організація простору за допомогою встановлення об'ємних блоків; розмежування простору за допомогою встановлення обладнання.

**III – метод максимальної зміни існуючої планувальної структури і зовнішньої оболонки:**

зумовлено невідповідністю вимог торговельно-офісних функцій вихідним характеристикам форми, незначною історико-культурною цінністю промислового об'єкта. У такому випадку виконання вимог досягається за допомогою прийому зміни габаритів будівлі:

- винесення окремих функцій у надбудову;

- винесення окремих функцій у прибудову;

- нове будівництво в комплексі;

- перекриття підвір'їв;

- будівництво вставок між корпусами;

- об'єднання декількох будівель під загальним мега-простором.

Отже, обґрунтування можливості та доцільності використання такого підходу до реконструкції, а саме реновації існуючої промислової забудови зі зміною їх призначення, слугує підґрунтям для подальшого розроблення відповідних проектних рішень. Адже відповідно до чинних нормативних документів [1-4], на відміну від об'єктів промисловості, до будівель громадського призначення існують певні

специфічні архітектурно-планувальні, санітарні, пожежні та інші вимоги. При прийнятті рішення щодо доцільності того чи іншого методу реконструкції всі ці фактори повинні бути детально проаналізовані.

Основними вирішальними факторами при перепрофілюванні промислових будівель у громадські є дотримання нормативних вимог щодо трьох груп основних факторів, наведених на рис. 3.

При цьому основним містобудівним фактором (рис. 3, поз. 1) є розміщення та параметри ділянки експлуатації будівлі, що підлягає реконструкції (перепрофілюванню), яка повинна відповідати вимогам забезпечення нормативної інсоляції приміщень громадської будівлі, можливості влаштування (або наявності) зручних підходів, під'їздів і автостоянок, організації благоустрою з належним рівнем (%) озеленення. Розміщення громадських будинків і споруд на земельних ділянках повинно відповідати містобудівним, екологічним, протипожежним, санітарним нормам. При невідповідності ділянки експлуатації існуючої промислової будівлі цим вимогам її перепрофілювання неможливе.

До основних об'ємно-планувальних вимог (рис. 3, поз. 2) щодо громадських будівель є наявність (або конструктивна можливість додаткового влаштування) основних входів, що повинні мати зручні підходи та оптимальні розміри, враховуючи фізичні можливості всіх розрахункових категорій відвідувачів. Кількість входів (виходів) повинна відповідати розрахунку виходячи з пропускної спроможності будівлі, а також експлуатаційних вимог.

Окрім того, необхідно дослідити можливість улаштування ліфтів, висоту приміщень і ступінь вогнестійкості тощо. Порівняльний аналіз об'ємно-планувальних факторів (рис. 3, поз. 2) свідчить, що при недотриманні вимог стосовно висоти поверху існуючої промислової будівлі щодо відповідних вимог, які висуваються до громадських об'єктів, її подальша реконструкція (зі зміною призначення) практично неможлива або зумовлює виконання часткового демонтажу існуючих конструкцій, що потребує значних капіталовкладень.

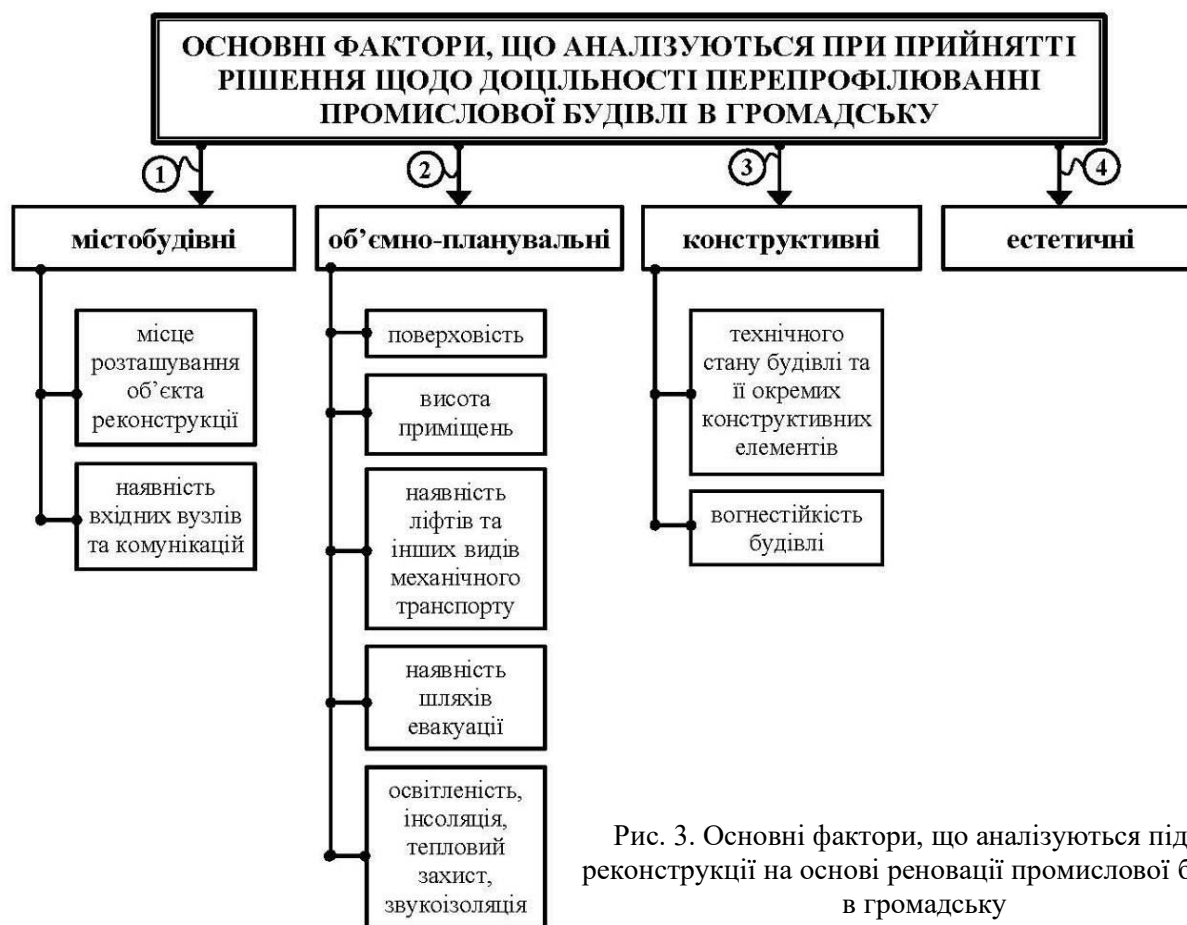


Рис. 3. Основні фактори, що аналізуються під час реконструкції на основі реновації промислової будівлі в громадську

Іншим, подекуди вирішальним, фактором при прийнятті рішення щодо можливості перепрофілювання існуючих промислових будівель є їх технічний стан на момент обстеження (реконструкції) (рис. 3, поз. 3). Окрім факторів, пов'язаних із природнім фізичним зносом окремих конструктивних елементів і будівлі в цілому [3, 12], досить важливим є той чинник, що зміна призначення об'єкта (у даному випадку на громадське) зазвичай призводить до зростання значень граничного розрахункового та експлуатаційного корисного навантаження [8]. Слід зазначити, що інвестори, вкладаючи кошти в реконструкцію, як правило, намагаються не лише змінити призначення будівлі, а й по можливості збільшити її будівельний об'єм, що зумовлює безпосередній економічний прибуток, а це можливо лише завдяки влаштуванню надбудови. У цьому випадку існує суттєва небезпека перевантаження існуючих основ і фундаментів будівлі, а також інших конструктивних

елементів [1, 9, 12]. Внаслідок цього основні несучі конструкції будівлі (особливо за наявності експлуатаційних пошкоджень – фізичного зносу) потребують капітального ремонту чи підсилення, або в крайньому випадку – повної заміни. Тому величина корисного навантаження, що залежить від призначення будівлі, подекуди може бути вирішальною при виборі типу громадської будівлі перепрофілювання.

Таким чином, залежно від фактичного стану існуючої будівлі чи комплексу будівель і сукупності ознак її містобудівних, об'ємно-планувальних, конструктивних та естетичних параметрів питання щодо можливості перепрофілювання можуть вирішуватися:

– «легко» (без суттєвих капітало-вкладень), коли вимоги до громадської будівлі та параметри існуючої будівлі, що підлягає перепрофілюванню, практично співпадають чи потребують незначних змін (оновлення фасаду та внутрішнього дизайну, забезпечення теплового захисту, звукоізоляції тощо);

–«з незначними затратами» (влаштування додаткових евакуаційних виходів, у тому числі зовнішніх ескалаторів, капітального ремонту існуючих несучих конструкцій, перепланування приміщень);

–«зі значними затратами», коли, крім вище перерахованих факторів, існує необхідність у підсиленні чи заміні окремих конструктивних елементів існуючої будівлі (постає питання доцільності та економічного обґрунтування перепрофілювання);

–«взагалі недоцільне», коли забезпечення нормативних вимог, що ставляться до громадських будівель, неможливе.

**Висновки.** Формування торговельних комплексів в умовах реновації промислових будівель ґрунтується на оптимальному поєднанні принципів збереження та гнучкої модифікації об'ємно-планувальних, архітектурно-художніх і конструктивних характеристик існуючої забудови. Принципи та прийоми формування торговельних комплексів на основі реновації допомагають вирішити проблеми розвитку планувальної структури міста, надають широкий спектр варіантів архітектурно-планувальних рішень, позбавляють від необхідності знесення існуючих промислових об'єктів.

### Список використаних джерел

1. Воскобійник, О. П. Комплексні методи керування ризиками під час експлуатації будівель та споруд [Текст] / О. П. Воскобійник // Металеві конструкції. – 2013. – Т. 19. – №3. – С. 183-189.
2. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий [Текст]: атлас схем и чертежей / А.И. Мальганов, В.С. Плевков, А.И. Полищук. – Томск : Том. ун-т, 1990. – 456 с.
3. ДБН В.2.2-9-2009. Громадські будинки та споруди [Текст]. – Чинний з 2010-07-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.
4. ДБН В.2.2-17-2006. Доступність будинків і споруд для маломобільних груп населення [Текст]. – Чинний з 2007-05-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 20 с.
5. ДБН В. 1.2-7-2008. Основні вимоги до будівель і споруд пожежна безпека [Текст]. – Чинний з 2008-10-01. – К.: Держбуд України, 2008. – 28 с.
6. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення [Текст]. – Чинний з 2006-10-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 62 с.
7. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи [Текст]. – Чинний з 2007-01-01. – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 с.
8. Мельчаков, А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов (Теория, методики и инженерные приложения) [Текст]: учеб. пособие / А.П. Мельчаков. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 49 с.
9. Новая жизнь заброшенных построек [Електронний ресурс] // Електронний портал Zabort.ru. – Режим доступа: <http://zabort.ru/blog/poznavatelno/25705.html>.
10. Реконструкция зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие / А.Л. Шагин, Ю.В. Бондаренко, Д.Ф. Гончаренко, В.Б. Гончаров; под ред. А.Л. Шагина. – М.: Высшая школа, 1991. – 352 с.
11. Семко, О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій [Текст]: монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 514 с.
12. Сносить нельзя, перепрофилировать [Електронний ресурс] // Електронний портал Redeveloper.ru. – Режим доступа: <http://www.redeveloper.ru/ru/np1.html>.
13. Супрунович, Ю.О. Реновація як засіб відродження нефункціонуючих промислових підприємств міста в новій якості [Текст] / Ю.О. Супрунович, Н.Ю. Житкова // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – К.: КНУБА, 2005. – Вип. 14. – С. 15-28.
14. Шепелев, Н.П. Реконструкция городской застройки [Текст]: учеб. издание / Н.П. Шепелев, М.С. Шумилов. – М.: Высшая школа, 2000. – 269 с.
15. Koebel, C. Urban Redevelopment, Displacement and the Future of the American City [Text] / C. Theodore Koebel. – Community Affairs Office Federal Reserve Bank of Richmond, 1996. – 32 p.
16. Rogis, T. Converted Industrial Buildings: Where Past and Present Live in Formal Unity [Text] / T. Rogis. – 2009. – 159 p.

17. Rosen, M & Sullivan, W. From Urban Renewal and Displacement to Economic Inclusion: San Francisco Affordable Housing Policy 1978-2012 [Text] / M. Rosen & W. Sullivan. – 2012. – 60 p.

18. Vainio, T. Building renovation – a new industry? [Text] / T. Vainio // Management and Innovation for a Sustainable Built Environment. 20 – 23 June 2011, Amsterdam, The Netherlands.

---

Семко Олександр Володимирович, доктор технічних наук, професор, кафедра архітектури та міського будівництва, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. E-mail: a.semko@mail.ru.

Воскобійник Євгеній Павлович, аспірант, кафедра архітектури та міського будівництва, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. E-mail: cgvosko@gmail.com.

Semko Alexander Vladimirovich Dr. of Sc., Prof., Civil Engineering faculty, Department of Architecture and Urban Engineering, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, e-mail: a.semko@mail.ru.

Voskobiynik Yevheniy Pavlovich, graduate student, Civil Engineering faculty, Department of Architecture and Urban Engineering, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, e-mail: cgvosko@gmail.com.

Стаття прийнята 01.09.2015 р.

УДК 625.42

## РОЗРАХУНОК ДЕРЕВ'ЯНОЇ ШПАЛИ В ТУНЕЛІ МЕТРОПОЛІТЕНУ НА МІЦНІСТЬ

Канд. техн. наук Д.А. Фаст

## РАСЧЕТ ДЕРЕВЯННОЙ ШПАЛЫ В ТОННЕЛЕ МЕТРОПОЛИТЕНА НА ПРОЧНОСТЬ

Канд. техн. наук Д.А. Фаст

## STRENGTH CALCULATION OF WOODEN RAILROAD TIE IN THE TUNNEL OF UNDERGROUND

Cand. of techn. sciences D.A. Fast

*Досліджено напружено-деформований стан дерев'яної шпали в тунелі метрополітену, яка омоноличена в колійному бетоні. Для цього було використано відому методику розрахунку за Правилами розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. Складено модель і розрахункову схему для залізничної колії в умовах експлуатації в тунелі метрополітену.*

**Ключові слова:** дерев'яна шпала метрополітену, розрахунок, міцність, напруження, модуль пружності.

*Исследовано напряженно-деформированное состояние деревянной шпалы в тоннеле метрополитена, омоноличенной в путевом бетоне. Для этого было использовано известную методику расчета согласно с "Правилами расчетов железной колії на міцність і стійкість". Составлено модель и расчетную схему для железнодорожного пути в условиях эксплуатации в тоннеле метрополитена.*

**Ключевые слова:** деревянная шпала метрополитена, расчет, прочность, напряжения, модуль упругости.

*In this work investigational tensely deformed consisting of wooden railroad tie of tunnel of underground passage, what lies in a travel concrete. For this known technique has been used for calculating according to the "Rules of calculation of railway track for strength and stability". Compiled model and calculation scheme for railway tracks in operation in a tunnel underground.*

*Under the influence of the rolling stock in the elements of permanent way appear tension and strain. The dependence of the forces that influence the track is complex and defies precise definition. Therefore, in the calculation of railway track in the subway tunnels are made on the strength of the preconditions according to the existing rules.*

**Keywords:** *wooden railroad tie of underground passage, calculation, strength, tensions, elastic modulus.*

**Вступ.** У великих містах найбільш зручним і економічним видом пасажирського транспорту є підземні залізниці, найважливішою перевагою яких є велика швидкість перевезення і здатність освоювати масові пасажиропотоки. Очевидні переваги підземного громадського транспорту створюють передумови для його безперервного розвитку та удосконалення.

На магістральних ділянках залізниць основну частину дерев'яних шпал замінено залізобетонними. Вони мають більші терміни служби, забезпечують постійну ширину колії, менше зазнають атмосферних впливів і вимагають менших витрат на утримання. Але в умовах експлуатації в тунелях метрополітену, де баластом під рейко-шпальну решітку є монолітна бетонна основа, використання залізобетонних шпал ускладнюється збільшеною жорсткістю основи. Тому для метрополітену найбільш ефективною є конструкція колії на дерев'яних шпалах [1, 2].

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Особливо важливим завданням є підвищення довговічності споруд і конструкцій метрополітену, забезпечення стійкої роботи колії та її елементів, відповідальних за безпеку та безперебійність руху поїздів, зниження витрат на поточне утримання та ремонт колії й тунельних споруд, що особливо актуально в умовах енерго- та ресурсозбереження в усіх галузях економіки держави. Розвиток і вдосконалення елементів верхньої будови колії пов'язані з появою нових матеріалів для їхнього виготовлення і спрямовані на забезпечення більш надійної конструкції колії, економію витрат на проміжні ремонти, зменшення енерго- і трудовитрат.

Основною відмінною рисою експлуатації дерев'яних шпал у метрополітені є те, що вони утоплені в колійний бетон і у зв'язку з цим заміна їх новими є досить складною й дорогою

операцією, що вимагає значних витрат ручної праці й коштів. Для того щоб відновлювати їхні експлуатаційні властивості, необхідно розрахувати несучу здатність підрейкової основи з урахуванням її неоднорідності, а саме дерев'яної шпали, що частково лежить на бетоні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом більше уваги приділяється дослідженню міцності залізничної колії на магістральних залізницях. Методика розрахунку несучої здатності існуючої конструкції колії на дерев'яних шпалах у тунелі метрополітену розглянуто недостатньо. В основному дослідження направлені на удосконалення зони проміжного скріплення, а також пошук нових конструкцій підрейкової основи [1, 2].

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою даних досліджень є визначення несучої здатності суцільної дерев'яної шпали метрополітену з використанням методики розрахунку за Правилами розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. Завданнями досліджень є визначення вертикального модуля пружності для підрейкової основи залізничної колії в метрополітені; визначення напружено-деформованого стану дерев'яної шпали, що частково лежить на колійному бетоні і порівняння з допустимими значеннями.

**Основна частина дослідження.** В інженерній практиці часто зустрічаються балки, що лежать на суцільній пружній основі. До таких конструкцій належать шпали й рейки залізничної колії, стрічкові фундаменти будинків, що опираються на ґрунти, та ін.

Дерев'яні шпали в тунелі метрополітену частково омонолічені в колійний бетон, тому по довжині мають змінний коефіцієнт постелі [3, 4]. Вони мають вигляд балки, що опирається на бетонну основу уздовж 2/3 довжини шпали (рис. 1).

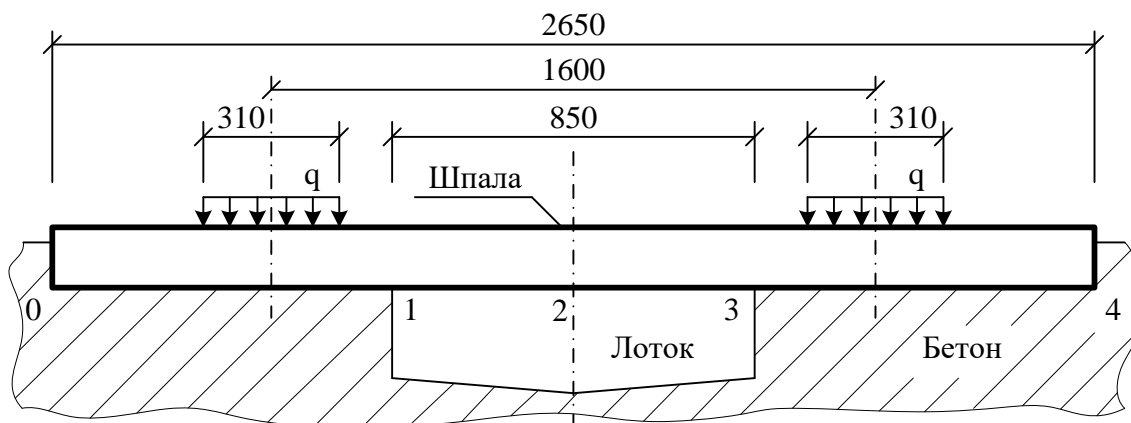


Рис. 1. Поздовжній розріз дерев'яної шпали в тунелі метрополітену

Розрахунок даної конструкції необхідно виконувати на міцність при роботі шпали на стиск за "Правилами розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість" [5]. Теоретичними дослідженнями в цій галузі займався багато вчених, серед яких професори В.І. Ангелейко, М.М. Біляєв, М.Ф. Веріго, В.М. Данілов, Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін, О.П. Єршков, А.Я. Коган, М.А. Фрішман, Г.М. Шахунянц, В.Ф. Яковлев, М.А. Чернишов, Л.В. Клименко [5-10].

Під дією рухомого складу в елементах верхньої будови колії виникають напруження та деформації. Залежність їх від сил, що впливають на колію, є складною та не піддається точному визначенню. Тому в розрахунку залізничної колії в тунелі

метрополітену на міцність приймаються передумови відповідно до існуючих Правил [5].

Для вирішення завдання з її розрахунку необхідно створити розрахункову схему та модель колії метрополітену, які показано на рис. 2.

Для визначення вертикальних сил, що діють на підрейкову підкладку проміжного рейкового скріплення типу "Метро", для наступного конструювання альтернативних конструкцій підрейкової основи замість заміни дерев'яних шпал (гнилих і трухлявих) необхідно підрахувати величину вертикального модуля пружності підрейкової основи  $U$  безбаластної залізничної колії на дерев'яних шпалах у тунелі метрополітену.

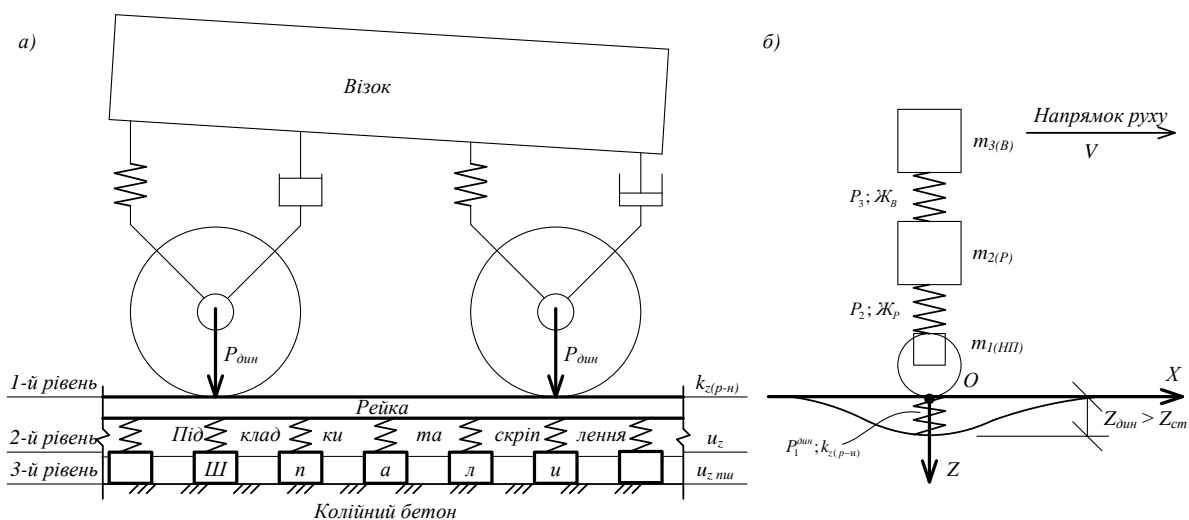


Рис. 2. Модель колії метрополітену для розрахунків на міцність (а) і розрахункова схема (б)

Якщо розглянути одношарову конструкцію підрейкової основи, то на підставі закону Гука можна записати, що напруження, які виникають у матеріалі  $\sigma_i$ , є пропорційними величині відносної деформації матеріалу  $\varepsilon_i$

$$\sigma_i = \varepsilon_i \cdot E_i, \quad (1)$$

де  $E_i$  – модуль пружності матеріалу.

Відомо, що відносна деформація може бути визначена як відношення абсолютної деформації  $y_i$  до початкового лінійного розміру матеріалу  $h_i$

$$\varepsilon_i = \frac{y_i}{h_i}. \quad (2)$$

Якщо об'єднати вирази (1) і (2), то одержимо таке:

$$D = \frac{1}{\sum \frac{1}{D_i}} = \frac{1}{\frac{h_{pn}}{\omega_{pn} \cdot E_{pn}} + \frac{h_{dn}}{\omega_{dn} \cdot E_{dn}} + \frac{h_{ш}}{\omega_{ш} \cdot E_{ш}}}, \quad (5)$$

де  $\omega_{dn}$  – площа дерев'яної прокладки,  $\omega_{dn} = 510 \text{ см}^2$ ;

$\omega_{pn}$  – площа підрейкової прокладки,  $\omega_{pn} = 210 \text{ см}^2$ ;

$\omega_{ш}$  – площа опорної поверхні частини шпали, на яку поширюється навантаження,  $\omega_{ш} = 2500 \text{ см}^2$ ;

$E_{pn}$  – модуль пружності гуми при стисканні,  $E_{pn} = 111 \text{ кг/см}^2$ ;

$E_{dn}$  – модуль пружності дерев'яної фанерної прокладки,  $E_{dn} = 27000 \text{ кг/см}^2$ ;

$E_{ш}$  – модуль пружності деревини при стисканні поперек волокон,  $E_{ш} = 5700 \text{ кг/см}^2$ ;

$h_{pn}$  – товщина гумової прокладки,  $h_{pn} = 0,5 \text{ см}$ ;

$h_{dn}$  – товщина дерев'яної прокладки,  $h_{dn} = 1 \text{ см}$ ;

$h_{ш}$  – товщина дерев'яної шпали,  $h_{ш} = 16 \text{ см}$ .

$$D = \frac{1}{\frac{0,5}{210 \cdot 111} + \frac{1}{510 \cdot 27000} + \frac{16}{2500 \cdot 5700}} = 44159 \text{ кгс/см} = 43305 \text{ кН/м}.$$

Величина вертикального модуля пружності підрейкової основи безбаластної залізничної колії на дерев'яних шпалах у тунелі метрополітену без урахування пружних характеристик колійного бетону марки 150 і тунельного оброблення становить таку величину:

$$U = \frac{D}{L}, \quad (6)$$

де  $L$  – відстань між осями сусідніх шпал у кривих ділянках колії при епюрі 1840 шт./км,  $L = 0,54 \text{ м}$ .

$$U = \frac{43305}{0,54} = 80194,5 \text{ кН/м}^2.$$

Для визначення розрахункового навантаження на півшпалу використовуємо загальноприйнятту методика розрахунку колії



на міцність від дії рухомого складу метрополітену. За відомих характеристик верхньої будови колії та параметрів рухомого складу метрополітену було виконано необхідні розрахунки для визначення максимально-ймовірного динамічного тиску колеса на головку рейки та нормальних напружень, що виникають на шпалі.

Розрахункові нормальні напруження під підкладкою визначаються за формулою

$$\sigma_{ш} = \frac{Q}{\omega_n}, \quad (7)$$

де  $\omega_n$  – площа підкладки,  $\omega_n = 0,0496 \text{ м}^2$ .

$$\sigma_{ш} = \frac{43}{0,0496} = 867 \text{ кН/м}^2 < [\sigma_{ш}] = 2200 \text{ кН/м}^2.$$

**Висновки з дослідження.** Аналізуючи отримані результати за допомогою методики, яка наведена у ”Правилах розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість”, можна зробити висновок, що дерев’яні шпали в тунелі метрополітену мають великий запас міцності в даних експлуатаційних умовах.

### Список використаних джерел

1. Кравченко, Н.Д. Новые конструкции железнодорожного пути для метрополитенов [Текст] / Н.Д. Кравченко. – М.: Транспорт, 1994. – 143 с.
2. Замуховский, А.В. Шпалы-коротыши в путевом бетоне [Текст] / А.В. Замуховский // Путь и путевое хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 24–26.
3. Красюк, А.Г. Расчет балок на сплошном упругом основании со ступенчатым изменением жесткости [Текст] / А.Г. Красюк // Залізничний транспорт України. – 2003. – № 5. – С. 12–14.
4. Клименко, Л.В. Расчет пути с учетом неравноупругости подрельсового основания [Текст] / Л.В. Клименко // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 9. – С. 34–35.
5. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст] / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
6. Даніленко, Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст]: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] в 2 т. / Е.І. Даніленко. – К.: Інпрес, 2010. – Т. 2. – 456 с.
7. Вериго, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго, А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
8. Альбрехт, В.Г. Основы устройства и расчетов железнодорожного пути [Текст] / В.Г. Альбрехт, М.П. Смирнов, В.Я. Шульга [и др.]; под ред. С.В. Амелина и Т.Г. Яковлевой. – М.: Транспорт, 1990. – 367 с.
9. Kaewunruen, S. Dynamic Properties of Railway Track and Its Components: A State-of-the-Art Review [Електронний ресурс] / S. Kaewunruen, A.M. Remennikov // New Research on Acoustics. – 2008. – С. 197-220. – Режим доступу: <https://books.google.com.ua/books?id=J6skxo3lEVIC&pg=PA197&dq=kaewunruen&hl=ru#v=onepage&q=kaewunruen&f=false>.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.М. Даренський

Фаст Денис Андрійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри колії та колійного господарства, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-59. E-mail: denia007@mail.ru.

Fast Denis Andreevich, candidate of technical sciences associate professor of «Track and track facilities» Ukrainian State University of Railway Transport. Phone: (057) 730-10-59. E-mail: denia007@mail.ru.

Стаття прийнята 21.09.2015 р.

УДК 623.014.36

**ВПЛИВ СПОСОБІВ ПЕРЕДАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ  
СТАЛЕБЕТОННИХ КОЛОН**

Канд. техн. наук Ю.В. Глазунов

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗКИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ  
СТАЛЕБЕТОННЫХ КОЛОНН**

Канд. техн. наук Ю.В. Глазунов

**INFLUENCE OF THE PROCESS OF OUTER APPLICATION ON THE RISE STRONG STEEL-  
CONCRETE COLUMNS**

Cand. of techn. sciences Y. Glazunov

*Розроблено способи розрахунку сталобетонних колон на центральний тиск при передачі поздовжнього навантаження на бетон, на сталь; одержано експериментальні дані про вплив способів передачі поздовжнього навантаження на характер деформування та руйнування сталобетонних колон, а також вплив сил зчеплення між бетоном і сталлю на несучу здатність сталобетонних колон.*

**Ключові слова:** сталобетон, зовнішнє армування, тензодатчики, бетонне ядро, стальна оболонка, сталобетонний елемент.

*Разработаны способы расчета сталобетонных колонн на центральное сжатие при передаче продольной нагрузки на бетон, на сталь; получены экспериментальные данные о влиянии способов передачи продольной нагрузки на характер деформирования и разрушения сталобетонных колонн; выполнены исследования о влиянии сил сцепления между бетоном и сталью на несущую способность сталобетонных колонн.*

**Ключевые слова:** сталобетон, внешнее армирование, тензодатчики, бетонное ядро, стальная оболочка, сталобетонный элемент.

*A method of strength calculation of rectangular section of steel-concrete columns depending on the process of longitudinal loading has been developed. Theoretical and experimental data have been compared. Cite experiment and theoretical investigation steel concrete constructions depending on the process of longitudinal loading has been developed and method their calculation. There was executed the experimental and theoretical researches of the steel-concrete elements, working by center compression.*

**Keywords:** steel-concrete, method their calculation, rectangular section, process of longitudinal loading, have been compared.

**Вступ.** Основні напрямки прогресу в будівництві належним чином пов'язані з застосуванням ефективних конструкцій. До таких конструкцій належать конструкції з зовнішнім армуванням, зокрема колони, складені з прямокутної обойми, заповненої бетоном.

Економічність конструкцій із зовнішнім армуванням, порівняно з традиційними залізобетонними, забезпечується за рахунок більш раціонального використання матеріалів. Бетон, замкнений в обойму, має збільшену міцність за рахунок бокового стискування;

стальна обойма значно захищена від втрати місцевої та загальної стійкості.

Концентроване розташування листової арматури на зовнішніх гранях сталобетонних конструкцій дозволяє знизити їх масу, зменшити розміри перерізу порівняно з залізобетонними конструкціями та одержати економію сталі при однаковій висоті.

**Постановка проблеми у загальному вигляді, її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Конструкції з зовнішнім армуванням належать до найбільш ефективних і економічних конструкцій. Вони

одержали розповсюдження в різних галузях будівництва в нашій країні та за кордоном.

Бетон в сполученні зі сталюю арматурою виявляється основним матеріалом для житлово-громадянського, промислового, енергетичного, транспортного та сільськогосподарського будівництва.

Широке застосування сталебетонних колон стримується через недостатню розробленість способів розрахунку, які повинні відображувати особливості зовнішнього поздовжнього навантаження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1-3] зазначено важливість впровадження конструкцій із зовнішнім армуванням як найбільш економічних конструкцій порівняно з традиційними залізобетонними. Економічність таких конструкцій забезпечується за рахунок більш раціонального використання матеріалів.

У науковій праці [1] зазначено, що армування бетону зовнішньою оболонкою сприяє підвищенню міцності такого конструктивного елемента, як сталебетон. Досягаються найкращі показники щодо роботи бетону при навантаженні, у результаті чого зменшуються усадочні деформації і підвищується опір бетону дії агресивного середовища.

У роботі [2] надано дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів, які знаходяться у складі сталебетонних конструкцій. Показано вплив матеріалів на несучу здатність і деформації сталебетонних елементів. Визначено геометричні характеристики поперечного перерізу конструкції зі сталебетону. Показано теоретичні рішення для оцінки напружено-деформованого стану згинальних стержнів з урахуванням об'ємного напруженого стану бетонного ядра [8-9].

У роботах [3-5] розроблено методику розрахунку сталебетонних елементів прямокутного поперечного перерізу на міцність при осьовому стиску. Показано взаємодію сталюї оболонки і бетонного ядра, яке працює в умовах об'ємного напруженого стану зі змінними параметрами деформування. Наведено чисельні розрахунки напружено-деформованого і граничного стану перерізу сталебетонної конструкції.

**Мета дослідження.** Завданням приведених у роботі досліджень є визначення

впливу способів передачі зовнішнього поздовжнього навантаження на несучу здатність сталебетонних коротких колон прямокутного перерізу.

Основні завдання дослідження:

- розроблення способу розрахунку сталебетонних колон на центральний стиск при передачі поздовжнього навантаження на кожний конструктивний елемент окремо;
- визначення наявності сил зчеплення між бетоном і сталлю та їх вплив на несучу здатність сталебетонних колон;
- перевірка міцності сталебетонних балочних конструкцій при роботі на згин, з визначенням сил зсуву по площині з'єднання листової арматури і бетону по довжині балки;
- одержання експериментальних даних про вплив способів передачі поздовжнього навантаження на характер деформування та руйнування сталебетонних колон.

**Основна частина дослідження.** У наведеному дослідженні виконано таке:

- розроблено способи розрахунку сталебетонних колон на центральний стиск при передачі поздовжнього навантаження на кожний конструктивний елемент окремо;
- визначено наявність сил зчеплення між бетоном і сталлю та їх вплив на несучу здатність сталебетонних колон;
- перевірено міцність сталебетонних балочних конструкцій при роботі на згин з визначенням сил зсуву по площині з'єднання листової арматури і бетону по довжині балки;
- одержано експериментальні дані про вплив способів передачі поздовжнього навантаження на характер деформування та руйнування сталебетонних колон.

Експериментальні дослідження сталебетонних зразків проведено на осьовий стиск при передачі поздовжнього навантаження на бетон і сталь одночасно; на сталю об'єму в зразку, заповненому бетоном; на сталю об'єму в зразку без бетонного ядра.

Розглянемо дослідження напруженого стану сталебетонних колон при різних способах передачі поздовжнього навантаження. При підготовці висновку теоретичних залежностей для визначення несучої здатності сталебетонних конструкцій передбачається таке:

- колона під навантаженням залишається прямою – не зазнає поздовжнього вигину;

• бетонне ядро і оболонка зв'язані між собою силами зчеплення в дискретних точках по довжині і перерізу (рис. 1);

• розподіл поздовжніх контактних зусиль по периметру перерізу приймається рівномірним.

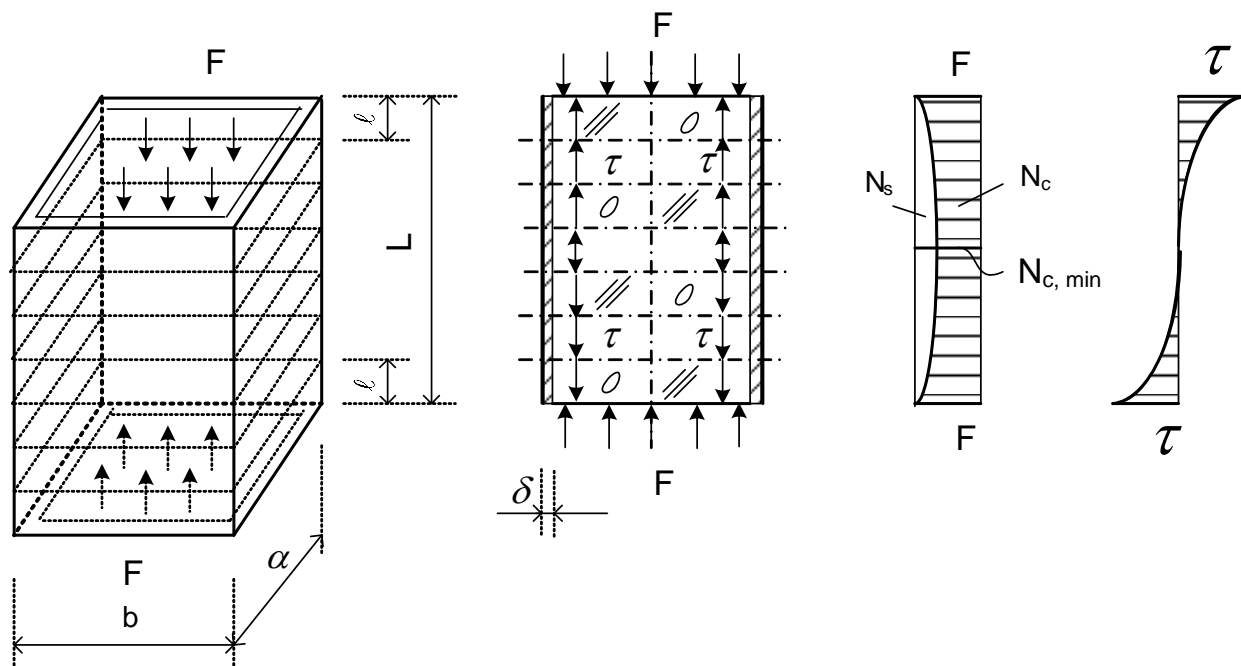


Рис. 1. Навантаження на бетон

Запишемо умови рівноваги:

$$N_s + N_c = N_{Ed} \quad (1)$$

де  $N_s$  – розрахунковий опір сталевій оболонки за нормального зусилля;  
 $N_c$  – розрахункове нормальне зусилля стиску в бетонному ядрі;  
 $N_{Ed}$  – розрахункове значення зовнішньої прикладеної осьової сили.

Умова сумісності деформацій:

$$\Delta L_c = \Delta L_s,$$

$$\frac{N_s L}{E_s A_s} = \frac{N_c L}{E_c A_c} \quad (2)$$

де  $E_s$  – розрахункове значення модуля пружності сталевій оболонки;

$E_c$  – модуль пружності бетону;

$A_s$  – площа поперечного перерізу сталевій оболонки;

$A_c$  – площа поперечного перерізу бетону.

Площа перерізу оболонки:

$$A_s = 2bh + 2(b - 2h)h = 4h(b - 2h). \quad (3)$$

Площа перерізу бетону:

$$A_c = (b - 2h)^2. \quad (4)$$

Сили зчеплення, які припадають на кожну елементарну ділянку  $l$ , визначаються як

$$\frac{b'_s - b'_c}{2} = \frac{\nu_s N_s}{E_s} \cdot \frac{1}{4h} - \frac{\nu_c N_c}{E_c} \cdot \frac{1}{b - 2h} = \frac{\nu_s N_s}{E_s} \cdot \frac{1}{8h} - \frac{\nu_c N_c}{E_c} \cdot \frac{1}{2(b - 2h)}. \quad (5)$$

Чисельна реалізація виконана на ПЕОМ. На рис. 1 показано епюри розподілу зусиль в обіймі  $N_s$ , бетонному ядрі  $N_c$ , а також епюри дотичних зусиль  $\tau$  по довжині колони.

Для визначення несучої здатності колони при передачі навантаження на бетон знаходимо

спочатку несучу здатність ядра в середньому перерізі колони  $N_{c, \min}$  (рис. 1). Розрахункову схему обійми і ядра зобразимо у вигляді контактуючих між собою елементів (рис. 2).

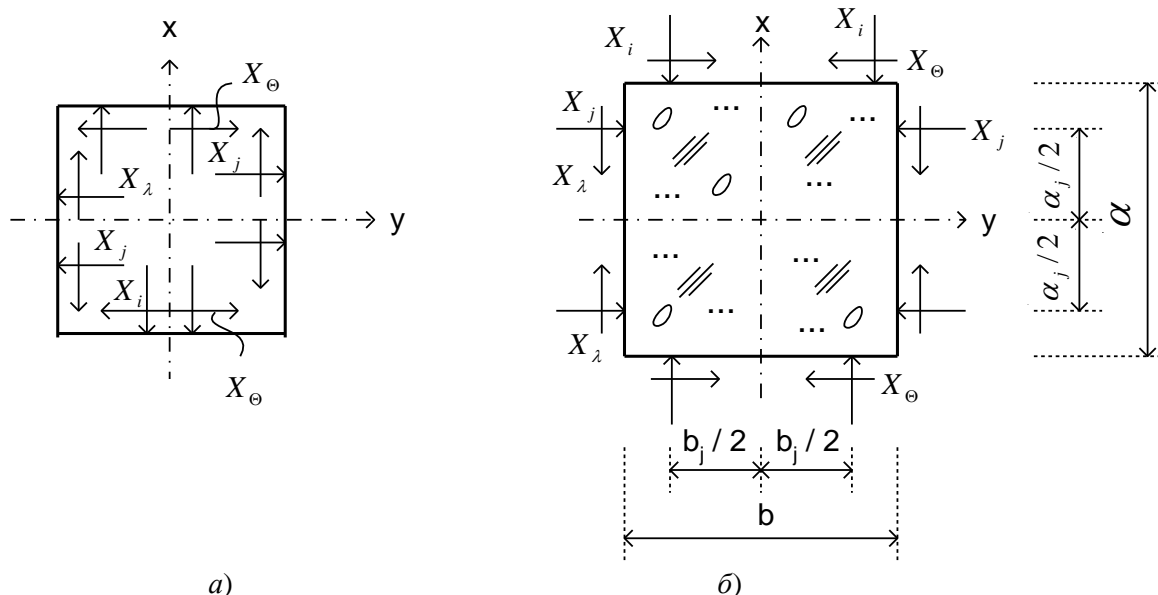


Рис. 2. Розрахункові схеми обійми (а) і ядра (б)

Сили взаємодії між ядром і обіймою знайдемо з умови рівності переміщень на границі контакту:

$$A\vec{X} = -\vec{H}, \quad (6)$$

де  $(\delta_{ki} - \delta_{ki}^*)$ ,  $(\delta_{kj} - \delta_{kj}^*)$ ,  $(\delta_{k\Theta} - \delta_{k\Theta}^*)$ ,  $(\delta_{kl} - \delta_{kl}^*)$  – елементи матриці  $A$ , які являють собою різницю поперечних переміщень точки  $k$  обійми і ядра від одиничних сил  $i, j, \Theta, l$ -станів;

$\lambda$ -станів; елементи  $(\Delta_{kF} - \Delta_{kF}^*)$  матриці-стовпця  $H$  – відповідно різниця поперечних переміщень від зовнішніх позовжніх зусиль.

Для визначення поперечних переміщень у бетонному ядрі, які викликані силами  $X_i, X_j, X_\Theta, X_l$ -станів, розв'язується в рівничній формі диференціальне рівняння плоскої задачі:

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[ \frac{1-\nu_c^2}{E_{cm}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \frac{\nu_c(1+\nu_c)}{E_{cm}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left[ \frac{1-\nu_c^2}{E_{cm}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} - \frac{\nu_c(1+\nu_c)}{E_{cm}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial z \partial y} \left[ \frac{2(1-\nu_c)}{E_{cm}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z \partial y} \right] = 0 \quad (7)$$

де  $\nu_c$ ,  $E_{cm}$  – змінні параметри деформування.

Це рівняння в прилеглих до контуру точках складається через односторонні різниці. Для визначення функції  $\varphi$  на контурі використовуємо рамкову аналогію.

$$\nu = \Delta_{кр}^* y = F \int_0^{b/2} \frac{\nu}{E_{cm}} \partial y; \quad u = \Delta_{кр}^* x F \int_0^{a/2} \frac{\nu}{E_{cm}} \partial x.$$

Чисельна реалізація запропонованого розв'язання здійснюється на ПЕОМ при поступовому завантаженні [10]. Лінеаризацію нелінійної сторони задачі здійснюємо в процесі послідовних наближень, змінними параметрами яких є січний модуль пружності бетону  $E_{cm}$  і коефіцієнт поперечних деформацій  $\nu_c$ . Вказані параметри одержуємо приведенням стиснутого і розтягнутого бетону до умовно ізотропного миттєво-пружного суцільного середовища.

Сталебетонні зразки були випробувані при передачі поздовжнього навантаження на бетон і сталь одночасно за наявності і відсутності сил зчеплення; на бетон; на стальну обойму у зразку, який заповнений бетоном; на одному торці на бетон, на другому – на сталь; на стальну обойму у зразку без бетонного ядра.

У процесі випробувань замірялися поздовжні і поперечні деформації сталеві обойми. Для цього по всьому периметру середнього перерізу у поздовжньому і поперечному напрямках наклеювалися тензодатчики.

Результати випробувань сталених обойм у зразках без бетонного ядра показують, що розрахунки критичних напружень і границі несучої здатності надають надмірну порівняно з експериментальними результатами відносно помилку, яка не перевищує 15 %.

У результаті проведених експериментальних досліджень у зразках були визначені граничні навантаження, при яких бетонні призми утримувались у металевих оболонках контактними силами зчеплення між сталлю і бетоном.

**Висновки з дослідження й перспективи подальшого розвитку в даному напрямку.** На основі проведеного аналізу теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити висновок, що застосування сталевобетону є ефективним у конструкціях, працюючих на

Поперечні переміщення в ядрі від поздовжніх зусиль  $F$  знайдено в результаті приблизного розв'язання просторової задачі теорії пружності для призматичного тіла одиничної довжини зі змінними параметрами деформування:

осьовий стиск, а також в елементах, які підлягають згину і позацентровому стиску. При цьому порівняно зі залізобетонними сталевобетонні конструкції мають підвищену несучу здатність, жорсткість, тріщиностійкість, а порівняно з металевими – меншу металомісткість [1-5].

У сталевобетонних колонах наявність обойми, яка здійснює опір переміщенню бетону в поперечному напрямку, призводить до збільшення міцності бетону, а наявність заповнювача у внутрішній частині оболонки збільшує її стійкість. Бетон і сталь у такому сполученні створюють найбільш сприятливі умови для спільної роботи [6-7].

У наведеному дослідженні розроблено і експериментально перевірено методику розрахунку сталевобетонних колон на центральний стиск при передачі навантаження “на бетон”; “на оболонку”.

При передачі поздовжнього навантаження на бетон несуча здатність сталевобетонних колон складає в середньому 0,8 несучої здатності при передачі навантаження одночасно на бетон і оболонку.

Несуча здатність при передачі навантаження на обойму складає в середньому 0,46 несучої здатності при завантаженні бетону і обойми одночасно.

Результати випробувань сталевобетонних колон, у яких відсутнє зчеплення між бетоном і сталлюю обоймою, показують, що сили зчеплення не виявляють істотного впливу на їх несучу здатність.

Використання в будівництві сталевобетонних колон прямокутного перерізу, в основу конструкції яких покладено розроблені способи розрахунків, дозволяє при більших навантаженнях та обмежених розмірах поперечних перерізів знизити витрату сталі на 28-35 % порівняно з залізобетонними колонами.

*Список використаних джерел*

1. Грушко, И.М. Повышение прочности и выносливости бетона [Текст] / И.М. Грушко, А.Г. Ильин, Э.Д. Чихладзе. – Харьков: Изд-во при Харьковском гос. университете, 1986. – 150 с.
2. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетонні конструкції [Текст] / Л.І. Стороженко, О.В. Семко. – Полтава, 2001. – 55 с.
3. Чихладзе, Э.Д. Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Бетон и железобетон. – 1993. – № 1. – С. 13-15.
4. Лопатто, А.Э. О свойствах бетона, твердеющего в замкнутой обойме, и жесткости трубобетонных элементов [Текст] / А.Э. Лопатто // Строительные конструкции. – К., 1973. – С. 232.
5. Глазунов, Ю.В. Вплив способів передачі поздовжнього навантаження на несучу здатність сталебетонних коротких колон прямокутного перерізу [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Ю.В. Глазунов. – Харків, 1997. – 22 с.
6. Johnson, R.P. Composite structures of steel and concrete – beams, slabs, columns and frames for buildings [Текст] / R.P. Johnson // Blackwell Publishing: Wiley-Blackwell, 2004. – 248 p.
7. Architectural Institute of Japan (AIJ). Recommendations for design and construction of concrete filled steel tubular structures. Tokyo, 1997. 333 p.
8. Городецкий, А.С. Учет нелинейной работы железобетонных конструкций в практических расчетах [Текст] / А.С. Городецкий, М.С. Барабаш // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2014. – Вып. 77. – С. 54-59.
9. Карпенко, Н.И. Развитие методов проектирования строительных конструкций, зданий и сооружений [Текст] / Н.И. Карпенко, В.И. Травуш // Сб. ст. Международ. науч.-техн. конф. «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». – Пенза, 2002. – С. 5-8.
10. Барабаш, М.С. Методи комп'ютерного моделювання для розрахунку сталезалізобетонних плит перекриття [Текст] / М.С. Барабаш, О.І. Лапенко // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування будівництво). – Полтава: ПолНТУ, 2012. – С. 12-17.

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

---

Глазунов Юрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравліки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-70. E-mail: budmekh@ukr.net.

Glazunov Yuriy Vladimirovich, candidate technical science, docent chair builds mechanic and hydraulic Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-70. E-mail: budmekh@ukr.net.

Стаття прийнята 25.09.2015 р.

УДК 691.55: 620.193

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В  
ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Канд. техн. наук Л.А. Кушнерова

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ У ВИРОБНИЦТВІ  
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Канд. техн. наук Л.О. Кушнерова

**THE EFFICIENCY OF INDUSTRIAL WASTES USING IN THERMAL INSULATION  
MATERIALS PRODUCTION**

Cand. of techn. sciences L. Kushnerova

*У статті наведено результати досліджень з отримання теплоізоляційних матеріалів з використанням відходів промисловості, а саме глиноземистого та металургійного виробництва, а також енергетичної галузі. Результати підтверджують доцільність утилізації вторинних продуктів промисловості при виробництві композиційних теплоізоляційних матеріалів, як наслідок цього зниження їх собівартості, за рахунок заміни ними більш дорогих сировинних матеріалів.*

**Ключові слова:** теплоізоляція, пористий, газоутворення, відходи промисловості.

*В статье представлены результаты исследований по получению теплоизоляционных материалов с использованием отходов промышленности, а именно глиноземистого и металлургического производства, а также энергетической отрасли. Результаты подтверждают целесообразность утилизации вторичных продуктов промышленности при производстве композиционных теплоизоляционных материалов, как следствие снижение их себестоимости, за счет замены ими более дорогих сырьевых материалов.*

**Ключевые слова:** теплоизоляция, пористый, газообразование, отходы промышленности.

*The problem of utilization of industry waste pays much attention, both in our country and foreign countries. It forms a stable view of this problem solution through the large-scale using as utilization in the building materials manufacture. There is always a problem of the finished products cost reducing by applying more efficient and advanced manufacturing technologies in the building materials production industry. The article presents the results of research of thermal insulating materials production on the base of industrial waste. This will solve the problem of disposal, and also reduce the cost of finished products, due to the replacement of more expensive materials.*

**Keywords:** heat-insulation, porous, gasification, red mud, industrial waste.

**Введение.** Развитая промышленность страны predetermined значительную экологическую нагрузку на окружающую среду. Отвалы зол ГРЭС, "красный шлам", являющийся отходом глиноземистого производства, гранулированный доменный шлак металлургических заводов занимают сотни гектаров плодородных земель. В настоящее время количество накопленных (из-за отсутствия переработки) отходов исчисляется сотнями миллионов тонн. Ежегодный прирост только по одному из заводов составляет порядка 800 тысяч тонн.

**Постановка проблемы.** Переработка промышленных отходов требует значительных материальных, денежных и трудовых затрат, которые не исключают загрязнение близлежащих территорий вредными и опасными для жизни всех живых существ веществами, особенно мелкозернистыми вторичными продуктами промышленности. К настоящему моменту сформировался устойчивый взгляд на решение данной проблемы путем широкомасштабного использования, утилизации в производстве строительных материалов.



**Анализ последних достижений и публикаций.** Проблеме утилизации вторичных продуктов промышленности в производстве строительных материалов уделяется большое внимание как в нашей стране, так и за рубежом [1-6]. Результаты многочисленных исследований нижеприведенных и многих других авторов дали возможность использовать вторичные продукты промышленности при производстве различных строительных изделий и конструкций.

Существенный вклад в решение проблемы утилизации отходов глиноземистого производства сделан известными учеными и специалистами: В.И. Корнеевым, Л.И. Дворкиным, Г.Н. Бабачевым, В.А. Утковым, Ю.С. Левиным, И.В. Косогиной и др. [7-15].

**Определение цели и задачи исследования.** В индустрии производства строительных материалов всегда стояла задача снижения стоимости готовых продуктов путём применения более эффективных и прогрессивных технологий производства.

В лаборатории нашей кафедры проводятся исследования по разработке новых эффективных теплоизоляционных композиционных материалов ячеистой структуры на основе отходов промышленности.

В связи с этим уже долгое время целью научно-исследовательских лабораторий является разработка строительных материалов и изделий на основе отходов промышленности, а также замена ими более дорогих сырьевых материалов. Поэтому работа была направлена на разработку ячеистого материала для промышленной теплоизоляции на основе отходов производства.

**Основная часть исследований.**

Гранулированный доменный шлак с металлургического завода им. Петровского в г. Днепропетровске имеет следующий химический состав:  $\text{SiO}_2$  – 38,9 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 7,33 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,9 %,  $\text{CaO}$  – 47,37 %,  $\text{MnO}$  – 0,94 %,  $\text{MgO}$  – 3,46 %, S – 1,1 %.

Результаты исследований по разработке теплоизоляционного материала на основе гранулированного доменного шлака представлены на диаграммах (рис. 1). Для проведения исследований по определению оптимальных составов разработан план эксперимента симплекс-решетчатого метода. В качестве исходных компонентов приняты: шлак и глина, глиноземистый цемент, жидкое стекло, едкий натрий и алюминиевая пудра.

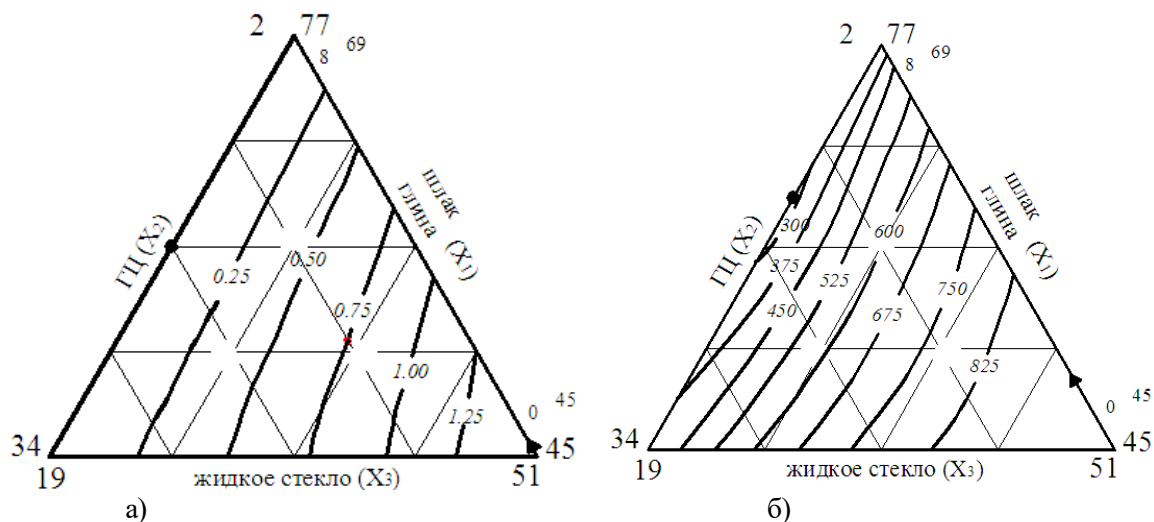


Рис. 1. Влияние содержания компонентов на:  
а – прочность при сжатии, МПа; б – среднюю плотность, кг/м<sup>3</sup>

По результатам проведенных исследований получен теплоизоляционный материал с плотность до 500 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом теплопроводности до 0,131 Вт/м<sup>0</sup>С, технология

производства которого позволяет достичь разопалобочную монтажную прочность более 0,4 МПа.

Зола-унос представляет собой тонкодисперсный материал, состоящий, как правило, из частичек размером от долей микрона до 0,14 мм. Зола образуется в результате сжигания твердого топлива на ТЭС и улавливается электрофильтрами, после чего в сухом состоянии отбирается с помощью золоотборника на производственные нужды либо вместе с водой и шлаком отправляется на золоотвал.

Введение в пенобетонную смесь золы-унос позволяет повысить агрегативную устойчивость смеси в период от начала до конца схватывания цементного раствора.

Эффективным направлением использования зол ТЭС является производство материалов на основе шлакосиликатных вяжущих.

На основе проведенного анализа и в связи с тем, что в состав ранее разрабатываемого теплоизоляционного материала входит такой дорогостоящий компонент, как глиноземистый цемент, были проведены исследования с целью снижения содержания данного компонента за счёт замены его на золу-унос. По результатам исследований были построены графики влияния соотношения золы-унос и глиноземистого цемента на свойства композиционного материала (рис. 2).

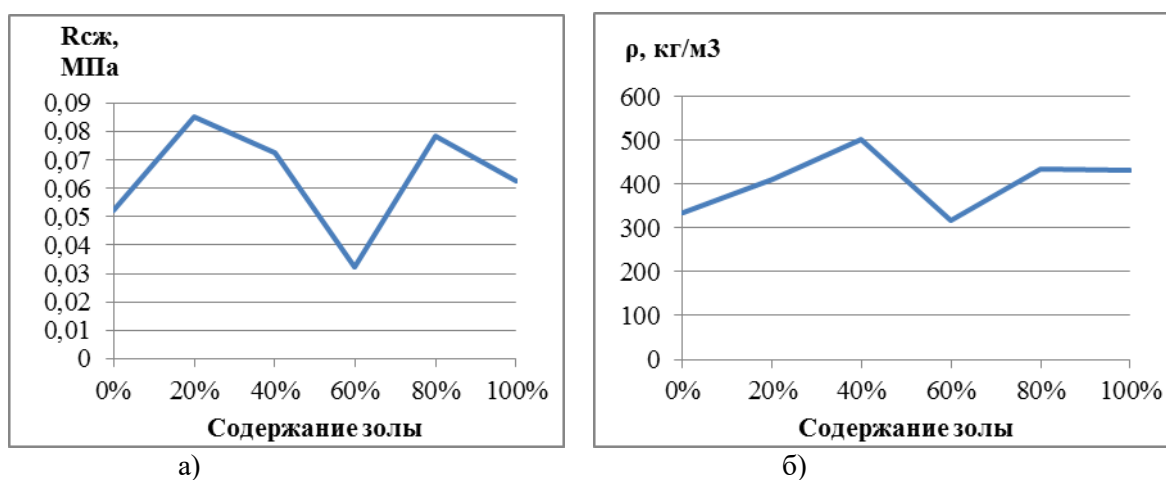


Рис. 2. Влияние содержания золы на:  
а – прочность при сжатии, МПа; б – плотность, кг/м<sup>3</sup>

Из анализа графика (рис. 2,а) видно, что с увеличением содержания золы на 20 % наблюдаем увеличение прочности при сжатии до 0,09 МПа. Далее при увеличении золы до 60 % наблюдаем резкое снижение прочности до 0,03 МПа. При дальнейшем повышении содержания золы наблюдаем повышение прочностных показателей.

Это объясняется тем, что зола-унос позволяет повысить агрегативную устойчивость смеси в период от начала до конца схватывания цементного теста, тем самым предотвратить перемещение компонентов в пространстве под действием гравитационных сил и, таким образом, негативно влиять на формирование структуры. Вторым положительным моментом является ее мелкодисперсный состав, способствующий созданию плотной упаковки частиц в

межпоровой перегородке пеномассы. Если же в межпоровой перегородке не достигается стесненного состояния, то образовавшиеся первичные продукты гидратации будут находиться преимущественно в гелеобразном состоянии, при высыхании которых начнут развиваться усадочные явления как в межпоровых перегородках, так и во всем массиве ячеистого теплоизоляционного материала. Сформировавшаяся перегородка при таких условиях будет обладать небольшой прочностью, что в свою очередь приводит к резкому снижению прочностных характеристик материала.

В результате исследований с целью получения теплоизоляционного материала с минимальной себестоимостью и оптимальными физико-механическими свойствами следует применять состав с содержанием золы-унос

80 % от массы глиноземистого цемента. Разработанный материал будет иметь следующие свойства: прочность при сжатии около 0,1 МПа; плотность до 400 кг/м<sup>3</sup>.

Красный шлам представляет собой комплексное сырье с высоким содержанием оксидов алюминия, железа, натрия, титана, кальция, кремния; массовая доля составляет: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — не менее 10 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — не менее 50 %, Na<sub>2</sub>O — не более 5 %, TiO<sub>2</sub> — до 7 %, CaO — до 8 %, SiO<sub>2</sub> — до 6 %.

Для разработки составов теплоизоляционного материала с использованием красного

шлама в качестве смежных сырьевых компонентов приняты: микрокремнезем, жидкое стекло, алюминиевая пудра, едкий натрий и известь. Разработка состава теплоизоляционного материала проводилась согласно плану симплекс–решетчатого метода планирования эксперимента (рис. 3).

Из анализа диаграмм (рис. 4, 5) выбран оптимальный состав теплоизоляционного материала со следующими свойствами: прочность 0,8-0,9 МПа; плотность 550-650 кг/м<sup>3</sup>.

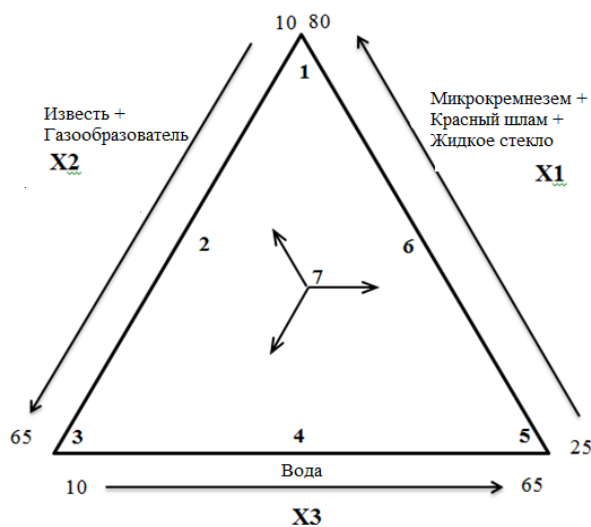


Рис. 3. План симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента

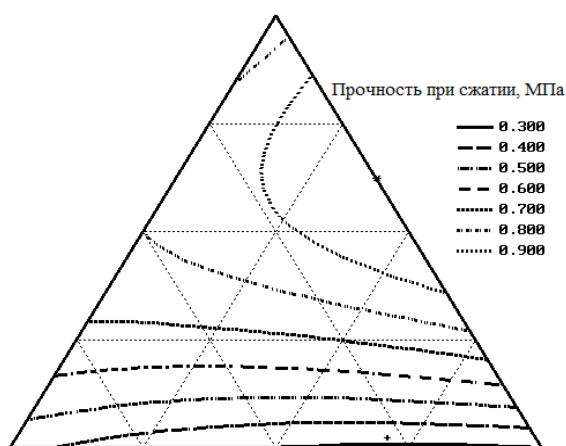


Рис. 4. Диаграмма влияния компонентов на прочность при сжатии

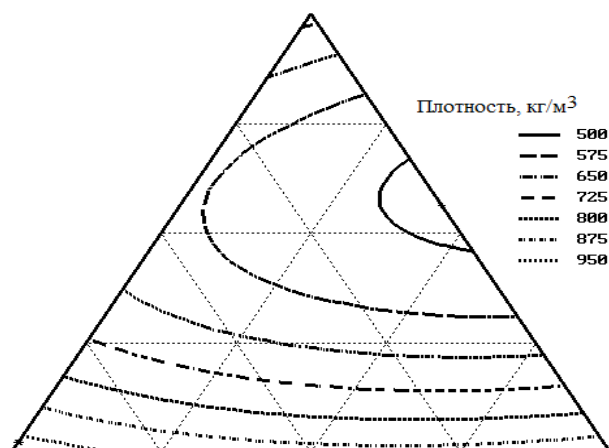


Рис. 5. Діаграма впливу компонентів на щільність

**Висновки.** В результаті досліджень розроблені складові теплоізоляційних матеріалів з високими показателями якості, що підтверджує доцільність утилізації вторинних продуктів

промисловості при виробництві композиційних теплоізоляційних матеріалів, як наслідок зменшення їх собівартості, за рахунок також заміни ними більш дорогих сировинних матеріалів.

#### Список використаних джерел

1. Волженский, А.В. Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А.В. Волженский, И.Л. Иванов, Б.Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.
2. Кривенко, П.В. Экологические аспекты внедрения новых строительных материалов и технологий [Текст] / П.В. Кривенко // Нові технології в будівництві. – 2002. – № 1(3). – С. 14-18.
3. Lyashenko, T. Compromise optimization of slag alkaline binders with computational materials science methods. Alkali Activated Materials [Text] / T. Lyashenko, V. Voznesensky // Research, Production and Utilization. Proc. Int. Conf. – Prague, CRA, 2007. – P. 447-458.
4. Нетеса, Н.И. Проектирование составов легких бетонов со вторичными ресурсами Днепропетровского региона [Текст] / Н.И. Нетеса, Д.В. Паланчук // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Дніпр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В Лазаряна, 2010. – Вип. 33. – С.180-184.
5. Нетеса, Н.И., Паланчук Д. В. Рациональные составы бетонов для звуко- и теплоизоляции / Н. И. Нетеса, Д. В. Паланчук // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2010. – Вип. 39. – С. 110 – 118.
6. Нетеса, Н.И. Эффективность применения суперпластификаторов в низкопрочных бетонах [Текст] / Н.И. Нетеса, Д.В. Паланчук // Будівельні конструкції: міжвідомчий наук.-техн. зб. наукових праць. – К.: ДП НДІБК, 2009. – Вип. 72. – С. 453-456.
7. Шморгуненко, Н.С. Комплексная переработка и использование отвальных шламов глиноземного производства [Текст] / Н.С. Шморгуненко, В.И. Корнеев. – М.: Металлургия, 1982. – 129 с.
8. Корнеев, В.И. Красные шламы. Свойства, складирование, применение [Текст] / В.И. Корнеев, А.Г. Суус, А.И. Цеховой. – М.: Металлургия, 1991. – 144 с.
9. Утков, В.А. Перспективы развития способов переработки и использования красных шламов в СССР и за рубежом [Текст] / В.А. Утков, А.В. Пацей, Е.И. Казаков. – М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1983. – 32 с.
10. Левин, Ю.С. Контроль химического состава красных шламов при переработке и выпуске товарной продукции [Текст] / Ю.С. Левин, В.М. Пряхина, А.Д. Сушинский [и др.] // Сотрудничество

для решения проблемы отходов: материалы III междунар. конф. (Харьков, 7 – 8 февраля 2006 г.). – Харьков, 2006. – С. 42-44.

11. Косогіна, І.В. Отримання комплексного реагенту з відходів глиноземних виробництв [Текст] / І.В. Косогіна, Н.В. Стасюк, Я.П. Гудим // Хімія та сучасні технології: тези доп. VI міжнар. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, 24-26 квітня. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2013. – Т. 1. – С. 76-77.

12. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов н/Дону: Феникс, 2007. – 368 с.

13. Напрямки і перспективи використання відходів металургійної, гірничої та хімічної промисловості в будівництві [Текст] / В.І. Большаков, Г.М. Бондаренко, А.І. Головка [та ін.]. – Дніпропетровськ: Gaudeamus, 2000. – 140 с.

14. Караханиди, С.Г. Использование золы как вторичного сырья в строительстве [Текст] / С.Г. Караханиди. – Фрунзе: Кыргызстан, 1990. – 120 с.

15. Бабачев, Г.Н. Зола и шлаки в производстве строительных материалов [Текст] / Г.Н. Бабачев; пер. с болг. Л. Шариновой. – К.: Будівельник, 1987. – 133 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Н.В. Шпирько

---

Кушнерова Лілія Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, Дніпропетровск, Україна. Тел. +38 (0562) 46-93-76. E-mail: Lilu300184@yandex.ru.

Kushnerova Liliya Alexandrovna, Tech. Sc. Cand., Associate Professor of Department of technology of building materials products and constructions, State higher educational establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Dnepropetrovsk, Ukraine. Tel. 38 (0562) 46-93-76. E-mail: Lilu300184@yandex.ru.

Стаття прийнята 02.10.2015 р.

УДК 666.914.5:663.543:002.68

## МОДИФИЦИРОВАННЫЕ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНО-БИШОФИТНОЙ КОМПОЗИЦИИ

Д-р техн. наук В.Н. Дерев'янку, кандидаты техн. наук А.А. Максименко, А.Н. Гришко

## МОДИФІКОВАНІ СУХІ БУДІВЕЛЬНІ СУМІШІ НА ОСНОВІ МАГНЕЗІАЛЬНО-БІШОФІТНОЇ КОМПОЗИЦІЇ

Д-р техн. наук В.М. Дерев'янку, кандидати техн. наук А.А. Максименко, Г.М. Гришко

## MODIFIED DRY MIXES BASED ON MAGNESIA-BISHOFIT COMPOSITION

Doct. of techn. sciences V.N. Derevianko, Cand. of techn. sciences A.A. Maksimenko, H.M. Hryshko

*Контактний шар між бетонною основою і стяжкою являє собою зону підвищеного ризику через можливість утворення усадкових тріщин, що в свою чергу зменшує адгезійну міцність. У результаті взаємодії компонентів сухої магnezіальної суміші оптимального складу та визначення фізико-механічних властивостей зразків лабораторного виготовлення і зразків стяжки підлоги об'єкта впровадження встановлено, що одержані результати за всіма показниками відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-126:2011 для елементів підлоги, яка виготовляється на основі сухих сумішей.*

**Ключові слова:** суха суміш, магnezіально-бішофітна композиція, контактний шар, усадкові напруження.

Контактный слой между бетонным основанием и стяжкой представляет собой зону повышенного риска из-за возможности образования усадочных трещин, что в свою очередь уменьшает адгезионную прочность. В результате взаимодействия компонентов сухой магнезиальной смеси оптимального состава и определения физико-механических свойств образцов лабораторного изготовления и образцов стяжки пола объекта внедрения установлено, что полученные результаты по всем показателям соответствуют требованиям ДСТУ Б В.2.7-126:2011 для элементов пола, изготавливаемого на основе сухих смесей.

**Ключевые слова:** сухие смеси, магнезиально-бишофитная композиция, контактный слой, усадочное напряжение.

*Magnesium cement hydration and polymer-cement stone shrinkage processes are closely connected with each other. After the specimens have dried out upon the completion of cement hydration, shrinkage automatically drops. A contact bed between the concrete base and the screed is a high-risk area due to possible shrinkage cracking, which in turn reduces strength. Thus, studies on the plastic sheeting ability to compensate for shrinkage cracking when forming the structure of floor elements are of current interest. At mixing the mortar mix, Mowilith polymer particles are dispersed independently without coagulation with magnesium cement particles. This results in a lubricating effect improving consistency of the mix and causing air entrainment up to 1 %, which reduces shrinkage stress. These processes are supported by pictures of mortars taken by an electron microscope SEM, where you can observe that the polymer films (matrices) are on the surface of the pores. Therefore, the porous surface of the cured mortar becomes elongated, stress concentration reduces, bonding to the base increases, flexibility and elasticity are achieved. During mechanical impacts increased flexibility compensates for the microcracking until maximum allowable stress values are exceeded. Interconnected polymer areas prevent coalescence of separate cracks into one crack. Hydrated cement forms a rigid structure (framework) in which the polymer film functions as suspended joints, and through elasticity and tensile strength it enables improved adhesion strength, even in respect of smooth surfaces.*

**Key words:** Dry Mixes, Magnesia-Bishofit Composition, Contact Bed, Shrinkage Stress.

**Введение.** Магнезиальный камень, формирующийся в результате твердения водопоглощающей смеси, обладает высокими прочностными показателями:  $R_{изг}(28) = 7 - 8$  МПа;  $R_{смс}(28) = 45 - 48$  МПа, однако при сравнительно невысоком водопоглощении ( $W_{мас} = 6,3$  %) характеризуется нестабильным значением водостойкости ( $K_p = 0,7 - 0,8$ ). Имеются проблемы с микротрещинообразованием в структуре образцов. Поэтому для снижения усадочного трещинообразования при формировании структуры элементов пола было решено ввести в сухую смесь современные пластификаторы и редиспергирующиеся полимерные порошки (РПП) [2].

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями.** Гидратация магнезиального цемента и процессы усадки полимерцементного камня тесно связаны друг с другом. При высыхании образцов, когда гидратация цемента завершена, повышается усадка. Контактный слой между бетонным основанием и стяжкой представляет собой зону повышенного риска из-за возможности

образования усадочных трещин, что в свою очередь уменьшает адгезионную прочность [3, 5-6, 8-11].

Таким образом, исследования способности полимерных пленок компенсировать усадочное трещинообразование при формировании структуры элементов пола являются актуальными.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В Украине специалисты "Хенкель Баутехник" [6] рекомендуют для элементов пола РПП Winnapas Ri551Z и Winnapas Ri554Z, содержащие полимеры VC-E-VL (VC-винилхлорид; E-этилен; VL-виниллаурат), сообщающие сухим смесям на цементах высокие физико-механические показатели. Оптимальное содержание Winnapas в смесях от 4 до 5 %. Аналогичными Winnapas свойствами обладают РПП, производимые фирмами Европы и США: Mowilith (ФРГ); Celanese (ФРГ); Rhoximat, Rhodia (Франция); Elotex (Швейцария); Xinavil (Италия); DLP. Dow Chemical (США). В настоящее время применяются две технологии производства порошкообразных полимеров: 1) сополимери-

зация мономеров винилацетата и этилена (редко других); 2) технология, связанная с использованием винилового эфира версатиковой кислоты. В мире существует только один производитель версатиковой кислоты и ее виниловых эфиров – компания Resolution Derformans Deodurts (RPP). Сополимерные винилацетатные – версатиковые дисперсии (Veо Va) в последнее десятилетие изготавливаются в Западной Европе в больших объемах и являются прекрасным исходным сырьем для производства известной группы РПП- Mowilith, фирма изготовитель Celanese (Германия).

Однако даже эти РПП одной группы обладают разной внутренней структурой. Так, Mowilith Puluwer 1141 P содержит полимер Vac-E (винилацетат-этилен). В Mowilith Puluwer LDM 2080 P содержит полимер Vac-Veb Va-A (винилацетат-винилверстат-этилен). Последний был отобран в качестве связующего в магнизиально-бишофитную композицию, т.к. способствует повышению адгезионной прочности и формированию гидрофобного магнизиального камня. Механизм его работы заключается в том, что, обладая водорастворимым агентом, при взаимодействии с водой восстанавливает эмульсию в ее исходном виде. В результате чего образуется полимерная пленка, обволакивающая все компоненты растворной смеси.

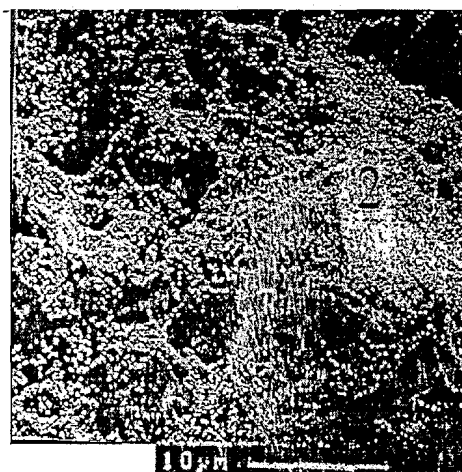
Минимальная температура пленкообразования (МТП) является критическим параметром для РПП, т.к. только выше МТП латексные частицы подвижны, образуют пленку, которая способна выдерживать достаточно высокие механические усилия. Чем меньше значение МТП, тем в более широком диапазоне температур возможно образования пленки [5, 6].

**Определение цели и задач исследований.** Исследовать способность полимерных пленок компенсировать усадочное трещинообразование при формировании структуры элементов пола.

**Основная часть исследований.** При осмотре испытуемых образцов затвердевшего магнизиально-бишофитного раствора на образцах-кубах тяжелого бетона (установлении  $R_{ct}$ ) видимых трещин не было обнаружено. При перемешивании растворной смеси предполагается, что полимерные частицы Mowilith диспергируются самостоятельно без коагуляции с частицами магнизиального цемента. В результате появляется смазочный эффект, улучшающий подвижность смеси и вызывающий воздухововлечение до 1 %, что снижает усадочное напряжение. Подтверждением этих процессов являются снимки растворов, сделанные на электронном микроскопе SEM, где видно, что полимерные пленки (матрицы) находятся на поверхности пор (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Микрофотография скола затвердевшего образца магнизиально-бишофитной композиции, содержащего 5 % Mowilith:

а – разрез по поровому пространству; б – пограничный слой;  
1 – полимерная пленка; 2 – гидратированный цемент

Поэтому пористая поверхность затвердевшего раствора становится удлиненной, снижается концентрация напряжений, увеличивается сцепление с основанием, приобретает гибкость и эластичность. При механических воздействиях повышенная гибкость компенсирует образование микротрещин до тех пор, пока не превышаются предельно допустимые значения напряжений.

Связанные между собой полимерные области противодействуют объединению отдельных микротрещин в одну целую.

Гидратирующийся цемент образует жесткую структуру (каркас), внутри которой полимерная пленка имеет функцию подвешенных шарниров и за счет эластичности и прочности при разрыве способствует повышению адгезионной прочности, даже к гладким поверхностям.

Минералогический состав сформированной структуры определен с помощью рентгенофазового и дифференциально-термического анализов (ДТА) (рис. 2, 3).

Из рис. 2, 3 видно, что основными минералами, ответственными за структуру камня, являются пентаоксигидрохлорид магния –  $5\text{MgO}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 13\text{H}_2\text{O}$  ( $d = 7,7; 4,17; 2,72 \text{ \AA}$ ) и триоксигидрохлорид магния –  $3\text{MgO}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$  ( $d = 8,3; 6,1 \text{ \AA}$ ), которые уплотняют структуру образца до  $\rho = 1860\text{--}1890 \text{ кг/м}^3$ . В результате взаимодействия талька, гидроксида магния и микрокремнезема образовался гидросиликат магния  $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{11}]\cdot n\text{H}_2\text{O}$  - сепиолит - ( $d = 4,44; 2,58 \text{ \AA}$ ), хотя А.Я. Вайвад в работе [2] приводит стехимическую формулу, рассчитанную А Precisinger -  $8\text{MgO}\cdot 12\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ , где  $\approx n11$ . Образовавшийся сепеолит еще больше уплотняет структуру камня до  $1920 \text{ кг/м}^3$  [2, 12].

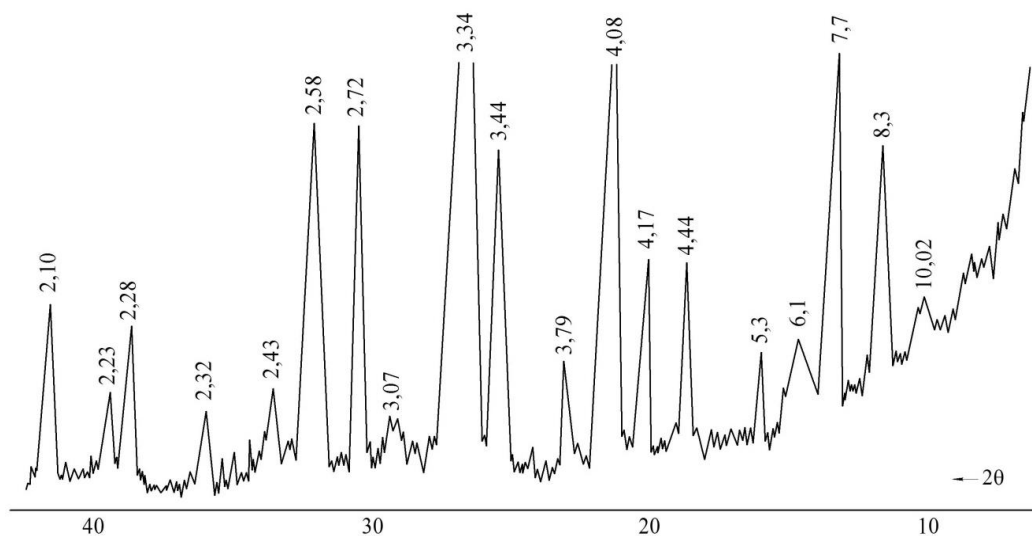


Рис. 2. Дифрактограммы затвердевшего образца магниально - бишофитной композиции, содержащей 5 % Mowilith в возрасте 28 суток

Результатом реакции между доменным шлаком, частью микрокремнезема и кремнеземом кирпичного порошка стало образование низкоосновных тоберморитоподобных гидросиликатов кальция С-S-H (I) ( $d = 10,02; 3,17 \text{ \AA}$ ), которые повышают водостойкость камня. Кольматируют поры камня нерастворимые соединения  $\text{MgHPO}_4$  ( $d = 5,3 \text{ \AA}$ ),

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  ( $d = 2,10 \text{ \AA}$ ), остатки гипса  $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $d = 3,79 \text{ \AA}$ ) и талька ( $d = 3,44$ ). Остальные пики на дифрактограмме относятся к кремнезему кирпичного порошка -  $\text{SiO}_2$  ( $d = 4,08 \text{ \AA}; 3,34; 2,45; 2,32; 2,28; 2,23 \text{ \AA}$ ). Сведения, полученные с помощью рентгенофазового исследования камня, подтверждаются данными ДТА (рис. 3).



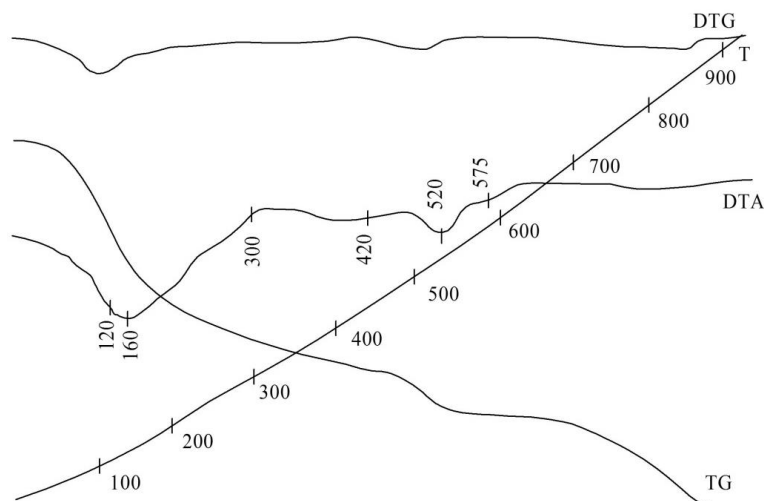
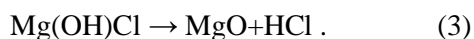


Рис. 3. Дифференциально-термический анализ затвердевшего образца магниально-бишофитной композиции с добавками, содержащего 5 % Mowilith в возрасте 28 суток

Как видно из рис. 3, на кривой ДТА: (-) 120 °С эндозффект соответствует дегидратации С-S-H(I). При этой температуре в гидросиликате остается ≈ 1 моль Н<sub>2</sub>O, а до t ≈ 300°С остается ≈ 0,5 моль Н<sub>2</sub>O на моль SiO<sub>2</sub>. После нагревания до 600-700°С образуется С<sub>2</sub>S. Эндозффекты (-) 160 - 180°С и (-) 350 - 370°С характеризуют ступенчатую дегидратацию 5Mg·MgCl<sub>2</sub>·Н<sub>2</sub>O, а эндозффект (-) 480 - 520°С показывает различные пентооксигидрохлорида магния:



Практически при тех же температурах (-) 150 - 180°С и (-) 200 - 220°С происходит ступенчатая дегидратация, а при (-) 500 - 520°С разложение 3MgO·MgCl<sub>2</sub>·11Н<sub>2</sub>O. Эндозффект (-) 200°С связан с удалением химически связанной воды из гидросиликата магния-сепиолита, сопровождаемым разрушением его кристаллической решетки и переходом в аморфное состояние. Эндозффект (-) 573°С характеризует переход низкотемпературной формы кварца (область стабильного существования β-кварцев, α-кварца с 0,8 % расширением в объеме) [1, 3, 4].

Свойства растворяемых смесей и растворов были определены в соответствии с требованиями нормативных документов, а итоговые результаты исследований приведены в табл. 1-3.

Таблица 1

Состав сухой и свойства растворяемой смеси

Группа растворов	Расход сухих материалов									Свойства растворяемой смеси						
	Магниальный цемент	Хлористый магний	Керамический порошок	Микрокремнезем	Фосфогипс	Тальк	Железный купорос	Доменный шлак	Сверх 100 %			Водозатворение, %	Водоудерживающая способность %	Подвижность (ок), см	Растворимость, см	Срок годности, мин
									Melmeht F10	Tylose SE	Mowilith 2080P					
СТ-1;2;3	53,3	9,6	19,0	6,0	4,3	4,3	0,5	3,0	1,0	0,3	5,07	2	96,3	8,5	24,8	72

Таблица 2

Физические свойства магнезиального камня

Группа растворов	Истинная плотность	Средняя плотность	Пористость По, %	Водопоглощение Wмас, %	Коэффициент размягчения, Кр	Расширение		Истираемость И, г/см <sup>2</sup>	Морозостойкость. Количество циклов
						%	мм/н		
СТ-1;2;3	2605	2055	21,2	3,3	0,91	0,02	0,2	0,25	76

Таблица 3

Механические свойства магнезиального камня

Группа растворов	Прочностные характеристики, Мпа, в возрасте 3-х, 7-ми, 28-ми суток													
	R <sub>см.</sub>			R <sub>изг.</sub>			R <sub>раст.</sub>			R <sub>сж.</sub>			R <sub>удл.</sub>	T <sub>вер.</sub>
СТ-1;2;3	3	7	28	3	7	28	3	7	28	3	7	28	28	28
		-	-	1,12	3,8	6,9	9,81	3,5	4,7	6,8	20,1	23,3	46,2	8,6

**Выводы из исследований и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.** В результате взаимодействия компонентов сухой магнезиальной смеси оптимального состава, твердения композиции и определения физико-механических свойств образцов лабораторного изготовления и образцов стяжки пола объекта внедрения установлено, что полученные результаты по всем показателям соответствуют требованиям ДСТУ Б В.2.7-126:2011 для элементов пола, изготавливаемого на основе сухих смесей [9-10].

Добавление Mowilith увеличивает время живучести растворной смеси, а обладание воздухововлекающим эффектом способствует передаче раствору дополнительного свойства сжимаемости и, таким образом, облегчается работа распределительным инструментом. В тоже время адгезионная прочность постоянно увеличивается, в течение первой недели, а при расходе от 1,5 до 5 % может достигнуть 1 Н/мм<sup>2</sup>. Чем выше расход Mowilith, тем выше предел прочности при растяжении затвердевшего раствора, а он на порядок выше, чем у обыкновенного строительного раствора.

**Список использованных источников**

1. Бутт, Ю.М. Твердение вяжущих при повышенных температурах [Текст] / Ю.М. Бутт, Л.Н. Рашкович. – М.: Стройиздат, 1965. – 240 с.
2. Войвад, А.Я. Магнезиальные вяжущие вещества [Текст] / А.Я. Войвад. – Рига: Знание, 1971. – 331 с.
3. Голышко-Вильфсон, С.Л. Химические основы технологии и применения фосфатных связок и покрытий [Текст] / С.Л. Голышко-Вильфсон, М.М. Сычев. – Ленинград: Химия, 1968. – С. 95.
4. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ [Текст] / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
5. Захарченко, П.В. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали [Текст]: підручник / П.В. Захарченко, Е.М. Долгий. – К.: КНУБА, 2005. – 512 с.
6. Сухие строительные смеси [Текст]: справ. пособие / Е.К. Карапузов, Г. Лутц, Х. Герольд [и др.]. – К.: Техніка, 2000. – 226 с.
7. Пирогов, Ю.А. Фосфатные связывания периклаза [Текст] / Ю.А. Пирогов, А.И. Фищерова // Огнеупоры. – 1969. – № 11. – С. 44-47.
8. Урецкая, Е.А. Сухие строительные смеси: материалы технологии [Текст] / Е.А. Урецкая, Э.И. Батыновский. – Минск: НПО "Старинко", 2001. – С. 54.
9. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови [Текст]: [чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 36 с.

10. ДБН В.2.6-22-2001. Конструкції будинків і споруд. Улаштування покриттів із застосуванням сухих будівельних сумішей [Текст]: [чинний від 2002-01-01]. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури і житлової політики України, 2001. – 49 с.

11. Измеритель прочности сцепления (адгезий) облицованных и защитных покрытий – 2; 5; 10 МГ4. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Челябинск: ОООСКБ "Стройприбор", 2006. – 22 с. – Режим доступа: [http://www.stroypribor.ru/netcat\\_files/314/173/h\\_offd41bfb0974281f8f46cd3f1584b97](http://www.stroypribor.ru/netcat_files/314/173/h_offd41bfb0974281f8f46cd3f1584b97).

12. Kasara Koioizumi Saito Ireda [Text] / Kasara Koioizumi // Bull. Osara. Res. Inst. – 2010. – № 3. – P. 145-155.

---

Дерев'яно Віктор Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». Тел. +38(0562) 47-16-22. E-mail: [derev@mail.pgasa.dp.ua](mailto:derev@mail.pgasa.dp.ua).

Максименко Андрій Анатолійович, канд. техн. наук, кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій (НД група), Придніпровський науково-освітній інститут інноваційних технологій в будівництві ГВУЗ ПГАСА. E-mail: [maksimebel@mail.ru](mailto:maksimebel@mail.ru).

Гришко Ганна Миколаївна, канд. техн. наук, кафедра експлуатації гідромеліоративних систем і технологій будівництва, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет. Тел. +38(0562) 713-51-37. E-mail: [gryshko\\_anna@mail.ru](mailto:gryshko_anna@mail.ru).

Derevianko Viktor Mykolaevich Doct. of techn. Sciences, professor department of technology of construction materials, products and designs, State Institution of Higher Education "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture". Tel. +38 (0562) 47-16-22. E-mail: [derev@mail.pgasa.dp.ua](mailto:derev@mail.pgasa.dp.ua).

Maksimenko Andrey Anatolyevich Cand. of techn. sciences department of technology of building materials, products and designs (SR group) Pridneprovsk scientific-education Institute of innovations technologies in construction SHEI PSAGA. E-mail: [maksimebel@mail.ru](mailto:maksimebel@mail.ru).

Hryshko Hanna Mykolayvna Cand. of techn. sciences department of operation of hydromelioration systems and construction technology, Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University, Tel. +38 (0562) 713-51-37. E-mail: [gryshko\\_anna@mail.ru](mailto:gryshko_anna@mail.ru).

Стаття прийнята 02.10.2015 р.

УДК 625.031.32

### **РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ БІЧНИХ ПРУЖНИХ ВІДТИСКАНЬ ГОЛОВКИ РЕЙКОВОЇ НИТКИ ПРИ ЇЇ ОДНОЧАСНОМУ ВЕРТИКАЛЬНОМУ І ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

Старш. викл. В.В. Новіков, канд. техн. наук О.О. Скорик

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ БОКОВЫХ УПРУГИХ ОТЖАТИЙ ГОЛОВКИ РЕЛЬСОВОЙ НИТИ ПРИ ЕЁ ОДНОВРЕМЕННОМ ВЕРТИКАЛЬНОМ И ГОРИЗОНТАЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ**

Старш. преп. В.В. Новиков, канд. техн. наук А.А. Скорик

### **THE RESULTS OF EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF LATERAL RESILIENT DISPLACEMENT OF A RAIL LINE HEAD UNDER THE SIMULTANEOUS HORIZONTAL AND VERTICAL LOADING**

Assistant Professor V. Novikov, Associate Professor A. Skorik

*У статті наведено результати експериментальних вимірювань пружних бічних відтискань головки рейкової нитки при одночасному впливі на неї вертикальними і горизонтальними силами для різних діапазонів вантажонапруженості. Ці результати будуть використані в загальному алгоритмі визначення небезпечної ширини рейкової колії з підрейковою основою на залізобетонних шпалах і проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65.*

**Ключові слова:** пружні бічні відтискання, рухомий склад, небезпечна ширина рейкової колії, вертикальні та горизонтальні сили.

*В статті приведені результати експериментальних вимірювань пружних бокових відтиску головок рейкової нитки при одночасному впливі на неї вертикальними та горизонтальними силами для різних діапазонів грузонапруженості. Ці результати будуть використані в загальному алгоритмі визначення небезпечної ширини рейкової колії з підрейсовим фундаментом на залізобетонних шпалах та проміжними рейсовими скріпленнями типу КБ-65.*

**Ключевые слова:** пружные боковые отжатия, подвижной состав, опасная ширина рельсовой колеей, вертикальные и горизонтальные силы.

*Experimental data concerning the value of lateral displacement of a rail line head under the influence of the loading from rolling stock wheels differ due to the various conditions of interactions of rolling stock and railroad track (speed, track plan, gradient, traction mode, the type of rolling stock and the variety of railway track constructions). There is no sense to generalize these results to investigate the size of a dangerous railroad track gauge because they do not take into account functional dependencies of the value of lateral displacement of a rail line head under the synchronous influence of horizontal and vertical forces. One should also take into account the worst operating conditions of intermediate rail fastenings in different ranges of traffic concentration. The results of experimental changes of resilient lateral displacements of a rail line head under the synchronous influence of vertical and horizontal forces for the following ranges of traffic concentration (MT) : up to 40MT and from 41MT to 80MT. These results can be used in a general algorithm of the determination of dangerous railroad track gauge based on reinforced concrete sleepers and the most widespread (95% of total volume) intermediate rail fastenings of КБ-65 type.*

**Keywords:** resilient lateral displacements, rolling stock, dangerous railroad track gauge, vertical and horizontal forces.

**Вступ.** Для сучасної, поширеної в Україні та країнах СНД, конструкції залізничної колії, на якій здійснюються найбільші обсяги вантажних та пасажирських перевезень, безстикової колії з проміжними рейковими скріпленнями типу КБ-65 вкрай необхідні для практичного використання результати досліджень, які здатні враховувати найгірший стан колії при виконанні усіх регламентних робіт з поточного утримання проміжних рейкових скріплень, з урахуванням вантажонапруженості ділянок та найбільші значення бічного впливу рухомого складу за умов руху з найбільшими непогашеними прискореннями в межах нормативних їх значень. Функціональні залежності, отримані при таких дослідженнях, повинні враховувати вплив одночасної дії вертикальних та бічних сил, що дозволить визначити розрахункові значення бічних відтискань головки рейкової нитки і наблизитись до визначення небезпечної значення ширини рейкової колії, та на підставі отриманих результатів корегувати терміни служби рейок за критеріями бічного зношування головки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В науковій літературі наводяться експериментальні дані про величини бічних відтискань головки рейкової нитки під дією коліс рухомого складу [1-6], результати яких дуже відрізняються через різноманітність умов взаємодії рухомого складу та колії (швидкість, план, ухили, режими тяги, тип рухомого складу та різноманітність конструкції колії). Такі результати можуть бути корисними лише відповідно до мети тих чи інших досліджень, які немає сенсу узагальнювати для використання у дослідженні небезпечної ширини рейкової колії.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Дослідження небезпечної ширини рейкової колії вимагає встановлення функціональних залежностей величини бічного відтискання головки рейкової нитки від вертикального та бічного горизонтального навантажень, одночасно діючих на рейкову нитку при встановлених раніше найгірших умовах експлуатації проміжних скріплень в діапазонах до 40 МТ і більше 40 МТ (до 80 МТ).

**Основна частина досліджень.** Раніше автором було отримано такі дані для першого діапазону (вантажонапруженість до 40 МТ): крутильний момент для клемних болтів скріплення типу КБ  $\min M_{\text{кл}}=91$  НМ, для закладних болтів  $\min M_{\text{зб}}=63$  НМ; для другого діапазону (вантажонапруженість від 41 МТ до 80 МТ): крутильний момент для клемних болтів скріплення типу КБ  $\min M_{\text{кл}}=39$  НМ, для закладних болтів  $\min M_{\text{зб}}=67$  НМ. Такі значення крутильних моментів на дослідній ділянці колії з рейками типу Р-50 на залізобетонних шпалах були встановлені за допомогою динаметричного ключа з індикатором годинникового типу для контролю зусилля, прикладеного до ручки ключа. Вертикальне

навантаження створювалось мостовим гідравлічним домкратом поступово (50 кН, 80 кН, 100 кН), який передавав навантаження від рами пасажирського вагона, а бічне – за допомогою гідравлічного розгоняльного приладу (від 10 кН до 50 кН) з контролюванням зусилля пружним динамометром. Контролювання величини бічного відтискання головки рейки здійснювалося індикатором годинникового типу, що був жорстко закріплений на спеціальній металевій рамі, яка також жорстко була закріплена до кінця залізобетонної шпали. Описане обладнання зображено на рис. 1, де сфотографовано місце проведення експериментальних робіт.



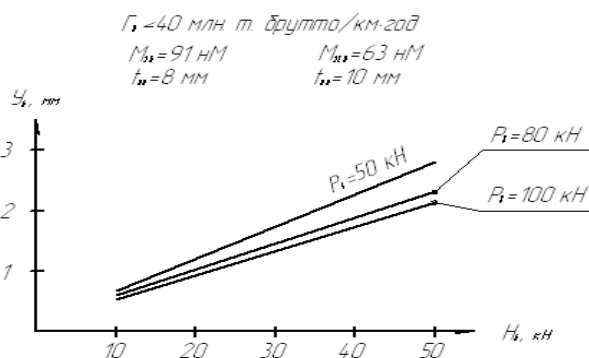
Рис. 1. Місце проведення експериментальних робіт із встановленим силовим гідравлічним обладнанням

Усі результати, отримані при виконанні експериментальних досліджень були апроксимовані лінійними функціональними залежностями для двох діапазонів вантажонапруженості, а також відображені у графічному вигляді (рис. 2, 3).

Отримані результати дозволять використовувати їх у загальному алгоритмі визначення небезпечної ширини рейкової колії із залізобетонними шпалами та найбільш розповсюдженим скріпленням (до 95 % загального обсягу) типу КБ-65.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Отримані функціональні залежності величини бічного відтискання головки рейкової нитки

для двох діапазонів вантажонапруженості ділянок залізничної колії, визначених для найгірших за силовою дією бічних сил при максимальних значеннях непогашених прискорень, дозволених діючими нормативними документами, придатні для використання не лише при визначенні небезпечних значень ширини рейкової колії, але й при проведенні досліджень щодо коригування у конкретних умовах експлуатації рейок термінів їх економічнодоцільного використання з метою отримання максимального терміну їх служби в колії без додаткового переукладання, при використанні усього нормативного ресурсу металу головки рейок.



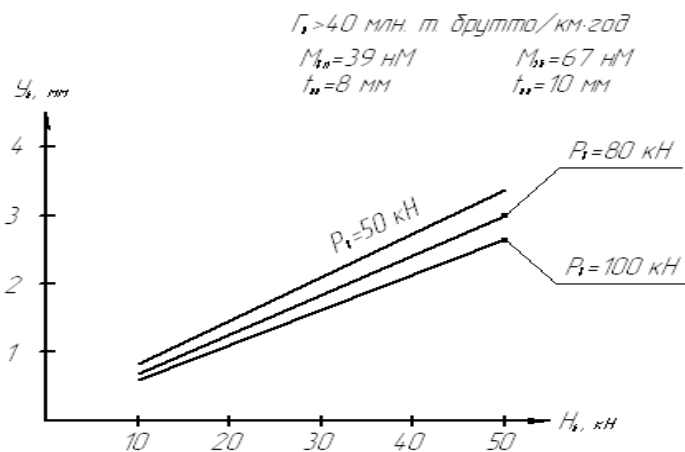
$$U_6 = (6,7 \cdot 10^{-4} - 0,024 \cdot 10^{-4} P_1) H_6$$

Пружні бічні відтиснення головки рейки типу Р65 на залізобетонних шпалах та скріпленні типу КБ.

$U_6$ , мм при  $M_{\text{дн}} = 91$  нМ,  $M_{\text{дн}} = 63$  нМ

$P_1$ , кН	$H_6$ , кН				
	10	20	30	40	50
50	0,55	1,1	1,65	2,2	2,75
80	0,48	0,96	1,43	1,91	2,39
100	0,43	0,86	1,29	1,72	2,15

Рис. 2. Функціональна залежність  $U_6 = f(P, H)$  для  $\Gamma < 40$  МТ



$$U_6 = (18,4 \cdot 10^{-4} - 3,0 \cdot 10^{-4} P_1) H_6$$

Пружні бічні відтиснення головки рейки типу Р65 на залізобетонних шпалах та скріпленні типу КБ.

$U_6$ , мм при  $M_{\text{дн}} = 39$  нМ,  $M_{\text{дн}} = 67$  нМ

$P_1$ , кН	$H_6$ , кН				
	10	20	30	40	50
50	0,67	1,34	2,01	2,68	3,35
80	0,60	1,2	1,8	2,4	3,0
100	0,54	1,08	1,62	2,16	2,70

Рис. 3. Функціональна залежність  $U_6 = f(P, H)$  для  $\Gamma > 41$  МТ

### Список використаних джерел

1. Желкин, Г.Г. Воздействие на путь в кривых малого радиуса длинносоставных тяжеловесных поездов [Текст] / Г.Г. Желкин, Д.А. Никитин, Б.И. Гончаров // Вестник ВНИИЖТа. – 2007. – №4. – С. 7-11.

2. Орловский, А.Н. О воздействии на путь нового транспортера сцепного типа грузоподъемностью 240 т [Текст] / А.Н. Орловский, В.В. Цыганенко, В.И. Шатерков // Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1982. – Вып. 223/24. – С. 8-15.

3. Карпущенко, Н.И. Влияние ширины колеи на состояние ходовых частей подвижного состава на интенсивность износов [Текст] / Н.И. Карпущенко, Д.В. Величко, Н.А. Бобовникова // Транспорт Российской Федерации. – М., 2010. – №3 (28). – С. 10-13.

4. Костюков, И.А. О боковой жесткости рельсовых нитей в пределах стрелочных переводов [Текст] / И.А. Костюков, В.Г. Слесарев // Вопросы устройства и расчеты железнодорожного пути: сб. научн. тр. – Новосибирск, 1966. – Вып. 58. – С. 22-29.

5. Справочник инженера-путейца [Текст] / под ред. В.В. Басилова и М.А. Чернышева. – М.: Транспорт, 1972. – Т1. – 768 с.

6. Коваль, В.А. Определение напряжений и деформаций пути с использованием реализации сил взаимодействия между колесом и рельсом [Текст] / В.А. Коваль, В.М. Гаврилов, А.Н. Кожаев // Решение задач взаимодействия подвижного состава и пути реального очертания: сб. науч. тр. ВНИИЖТа. – М.: Транспорт, 1985. – С. 58-62.

Рецензент д-р техн. наук, профессор М.П. Ремарчук

---

Новіков Вадим Володимирович, старший викладач кафедри нарисної геометрії та комп'ютерної графіки Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: novikoff.vadim2013@yandex.ua. Тел. (057) 730-10-55.

Скорик Олексій Олексійович, кандидат техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: skorik-alexey@yandex.ru. Тел. (057)730-10-10.

Novikov Vadim Volodimirovich Assistant Professor Department of Descriptive Geometry and Computer Graphics Ukraine State University of Railway Transport. E-mail: novikoff.vadim2013@yandex.ua. Тел. (057) 730-10-55.  
Skorik Olexiy Olexiyovich Cand. of Tech. Sc, Associate Professor Department of The Track and Track Facilities Ukraine State University of Railway Transport. E-mail: skorik-alexey@yandex.ru. Тел. (057)730-10-10.

Стаття прийнята 21.10.2015 р.

**УДК 691.542**

## **ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОШЛАМОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА**

**Канд. техн. наук Т.Д. Рыщенко, асп. К.И. Вяткин**

## **ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОШЛАМІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ**

**Канд. техн. наук Т.Д. Рищенко, асп. К.И. Вяткін**

## **JUSTIFICATION OF THE USE GAZOSHLAMOV TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY PRODUCTION OF PORTLAND CEMENT**

**Ph.D., associate professor T.D. Rishenko, graduate student K.I. Vyatkin**

*Розглянуто процеси випалу портландцементного клінкеру з метою визначення перспектив підвищення енергоефективності процесу виробництва портландцементів. Зроблено аналіз впливу домішок суміші на процес випалу та проведено зміни мініралізованого складу компонентів суміші з урахуванням втрати води в процесі випалу цементного клінкеру.*

**Ключові слова:** портландцементний клінкер, випал, енергоефективність.

*Рассматриваются процессы обжига портландцементного клинкера с целью определения перспектив повышения энергоэффективности процесса производства портландцементов. Сделан анализ влияния примесей смеси на процесс обжига и проведены изменения минерализованного состава компонентов смеси с учетом потери воды в процессе обжига цементного клинкера.*

**Ключевые слова:** *портландцементный клинкер, обжиг, энергоэффективность.*

*Portland cement clinker firing processes to determine the prospects for energy efficiency Portland cement production process. The analysis of the impact of contaminants on the process of firing the mixture and the subsequent changes in the composition of the mixture components mineralized considering water loss in the firing process cement clinker.*

**Keywords:** *Portland cement clinker, abortion, energy efficiency.*

**Введение.** Одной из наиболее актуальных проблем процессов производства строительных материалов, в частности портландцементного клинкера, является его энергоёмкость. Процесс обжига происходит при высоких температурах и требует затрат энергии, что существенно влияет на себестоимость конечной продукции и, как следствие, себестоимость строительства в целом. Обеспечение энергоэффективности обжига возможно путем ускорения прохождения смесью физико-химических процессов при более низких температурных режимах либо же использования добавок, обеспечивающих ускорение химических процессов при обжиге.

**Постановка проблемы.** Одной из потенциальных возможностей для снижения энергозатрат в процессе производства портландцементного клинкера является использование отходов различных отраслей народного хозяйства, в частности газошламов.

**Цель.** Целью статьи является обоснование возможности применения отходов газовой промышленности при обжиге портландцементной смеси для повышения энергоэффективности процесса.

**Задачи.** Для достижения поставленной цели в статье рассматриваются следующие задачи:

- определить условия реакций минералообразования в процессе обжига портландцементной смеси;
- определить физико-химические свойства смеси;
- определить перспективы применения газошлама в составе портландцементной смеси.

**Основная часть исследования.** Обжиг портландцементной смеси является сложным физико-химическим процессом, минералообразование происходит путем

прохождения массопереноса, диффузии, физических и химических процессов на границах раздела фаз, химических реакций и прочее.

Невозможно учесть все факторы, влияющие на процесс обжига, в частности свойства расплава, образующегося при обжиге, природу сырья, его реакционную способность. Потому целесообразно рассматривать каждый процесс поэтапно. Отсюда следует, что кинетические зависимости, которыми можно описать клинкерообразование, могут иметь расхождения с экспериментальными показателями. Кинетические и термодинамические закономерности необходимо использовать в предварительной оценке, проводимой для оценивания реакционной способности новых видов сырьевых материалов. Также эти закономерности используются для изучения механизмов и направленности реакций минералообразования, которые проходят в процессе обжига клинкерной смеси. Для получения достоверных сведений об особенностях минералообразования в различных системах предварительная оценка должна быть дополнена экспериментальными исследованиями с помощью комплексного физико-химического анализа [1].

Для проведения исследования обратимся к термодинамическому методу, который направлен на определение энергетических параметров силикатообразования, а также параметров синтеза силикатных материалов. Метод изучает скорость и особенности механизма переноса вещества, позволяет получать необходимые данные по рациональному управлению процессами минералообразования технических силикатов и им подобных веществ [2].

Актуальность проблемы повышения энергоэффективности процесса обжига



портландцементного клинкера была изучена в работах многих авторов. Некоторыми авторами проводились исследования процессов разложения отдельных компонентов сырья портландцементного клинкера, в частности известняка и глин. Разложение известняка и глин, как структурных компонентов смеси, проходит под воздействием угольного топлива. Автор работы [3] в своих исследованиях рассмотрел возможность частичного использования газового топлива в качестве отходов углеобогащения. В результате было доказано положительное влияние отходов

углеобогащения на процесс производства портландцемента при соблюдении определенных характеристик топлива.

Поэтому представляет интерес возможность образования основных клинкерных минералов портландцементного клинкера  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ,  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ,  $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$  в присутствии углерода, который является основной составляющей шлама переработки газового конденсата.

Для расчетов были использованы стандартные термодинамические данные, представленные в работе [4] (табл. 1).

Таблица 1

Стандартные термодинамические данные для расчета процессов минералообразования портландцементного клинкера в присутствии углерода

Соединение	- $\Delta\text{H}^0_{298}$ , кДж/моль	$\text{S}^0_{298}$ , Дж/моль К	$\text{C}_p = a + b \cdot T + c \cdot T^{-2}$ , Дж/моль · К		
			a	$b \cdot 10^3$	$-c \cdot 10^{-5}$
1	2	3	4	5	6
$\text{CaCO}_3$	1206,87	92,88	104,52	21,92	25,94
$\text{SiO}_2$	911,07	41,84	46,94	34,31	11,29
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1675,61	50,92	114,77	12,80	35,44
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4117,06	202,92	240,45	147,69	32,89
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	821,36	89,96	98,28	77,82	14,85
$\text{CO}_2$	393,51	213,64	111,30	9,04	8,54
$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	2308,48	127,61	151,67	36,95	30,29
$\text{Ca}_3\text{SiO}_5$	2930,60	168,62	208,57	36,07	42,47
$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	3560,58	205,43	260,58	19,16	50,58
$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	5080,21	326,35	374,43	72,80	-

Поскольку стандартные термодинамические данные углерода и водорода равны нулю, то в таблицу они не внесены.

Основные преобразования сырьевой смеси при обжиге: удаление физически и химически связанной воды из глинистых минералов, термическая диссоциация карбонатов, твердофазные реакции с участием расплава с образованием клинкерных минералов [4].

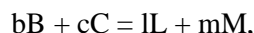
Взаимодействие каолинита с кальцитом сырьевой смеси с образованием основных клинкерных минералов без влияния добавок происходит при температурных режимах от 1050 К. Образование  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  невозможно во всем интервале температур. Поэтому логичным является, что  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  образуется из расплава. Аналогично образование  $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ .

Поэтому были рассмотрены следующие возможные реакции образования основных клинкерных минералов:

- 1)  $4\text{CaCO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow 2\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 + 5\text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ ;
- 2)  $6\text{CaCO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow 2\text{Ca}_3\text{SiO}_5 + \text{Al}_2\text{O}_3 + 7\text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ ;
- 3)  $3\text{CaCO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{Ca}_3\text{AlO}_6 + 2\text{SiO}_2 + 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ ;
- 4)  $4\text{CaCO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C} \rightarrow \text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10} + 2\text{SiO}_2 + 5\text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ .

Для практического применения термодинамических и термохимических расчетов к различным химическим реакциям большое значение имеет знание основных положений химического равновесия, определяющих границы, и конкретные возможности расчета.

Для химической реакции:



протекающей при постоянном давлении и температуре, общее изменение свободной энергии Гиббса определяется уравнением

$$\Delta G_{p,T} = \Delta G^0 + RT \ln \frac{a_L^l a_M^m}{a_B^b a_C^c}, \quad (1)$$

где  $\Delta G^0$  - стандартное значение изменения свободной энергии Гиббса-процесса, которое определяется на основе стандартных значений  $\Delta G^0$  реагирующих компонентов;

$a$  - соответствующие значения активностей компонентов, участвующих в реакции, относящихся к любому возможному моменту.

В случае равновесия  $\Delta G_p$ ,  $T = 0$  и уравнение (1) принимает вид

$$\Delta G^0 = -RT \ln \frac{(a_L^l)_{рав} (a_M^m)_{рав}}{(a_B^b)_{рав} (a_C^c)_{рав}}. \quad (2)$$

Активность чистой жидкости и чистого твердого тела при средних давлениях и температурах принимается за 1.

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT - T \int_{298}^T \frac{\Delta C_p dT}{T}.$$

Результаты термодинамических расчетов представлены в табл. 2.

**Выводы.** Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено, что реакции образования основных клинкерных минералов при использовании углерода становятся термодинамически возможными при более низких температурах. Повышенная температура образования необходима только

Между  $\Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $S$  существует зависимость (уравнение Гиббса-Гельмгольца):

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S.$$

Так зная, что  $\Delta H$  и  $\Delta S$ , всегда можно определить  $\Delta G$ . Для того чтобы определить  $\Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $S$  при любой температуре, необходимо знать их зависимость от температуры. Согласно уравнению Кирхгофа имеем:

$$\Delta H_T = \Delta H_{T_0} + \int_{T_0}^T \Delta C_p dT,$$

где

$$\Delta C_p = \sum C_{кон.пр} - \sum C_{исх.пр}.$$

Известно, что

$$S_T = S_{T^0} + \int_{T^0}^T \frac{C_p dT}{T}$$

при температуре  $T=298$  К и давлении  $P=1$  атм, поэтому уравнение можно записать как

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT;$$

$$S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p dT}{T}.$$

Таким образом, окончательная формула для расчета  $\Delta G_T^0$ :

для трехкальциевого алюмината, как наиболее тугоплавкого соединения. Реакции клинкерообразования начинают протекать в производственных условиях в зоне подогрева, что позволяет значительно уменьшить длину вращающейся печи производства портландцементного клинкера, при этом производительность и качество продукции остаются на достаточно высоком уровне.

Результаты термодинамических расчетов реакций минералообразования

Т, К	Величина свободной энергии Гиббса, кДж/моль, для реакций			
	1	2	3	4
800	-33,79	58,52	192,41	-621,52
900	-141,27	-92,61	105,58	-789,73
1000	-251,24	-247,36	16,92	-819,53
1100	-363,33	-405,27	-75,30	-920,67
1200	-477,28	-565,83	-164,86	-1022,92
1300	-592,82	-728,81	-257,58	-1126,09
1400	-709,77	-893,87	-351,29	-1230,01
1500	-827,94	-1060,82	-445,86	-1334,56
1600	-947,19	-1228,41	-541,16	-1439,59
1700	-1067,38	-1399,45	-637,12	-1545,03
1800	-1188,39	-1570,79	-733,62	-1650,75
1900	-1310,13	-1743,39	-830,59	-1756,68
2000	-1432,49	-1916,80	-927,96	-1862,75

**Список использованных источников**

1. Бутт, Ю.М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов [Текст] / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1973. – 504 с.
2. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ [Текст] / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
3. Вінниченко, В.І. Інтенсифікація випалу цементного клінкера при використанні відходів вуглезбагачення [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.17.11 / В.І. Вінниченко. – Харків, 1999. – 20 с.
4. Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов [Текст] / Ю.М. Бутт, М.М. Сычев, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Е.В. Кондращенко

Рищенко Тетяна Дмитрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри технологій будівельного виробництва і будівельних матеріалів Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків.

Вяткін Костянтин Ігоревич, аспірант кафедри технологій будівельного виробництва і будівельних матеріалів Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків.  
Тел. 066 72 39 076. E-mail: vyatkun@mail.ru.

Rushenko Tatiana Dmitrievna, candidate of technical Sciences, associate Professor of construction Technology and building materials Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov.

Viatkin Kostiantyn Igorevich, postgraduate student, Department of construction Technology and building materials, Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv. E-mail: vyatkun@mail.ru.

Стаття прийнята 22.10.2015 р.

УДК 666.974.6

## ВПЛИВ МІКРОКРЕМНЕЗЕМУ ТА МЕХАНОАКТИВАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНУ В'ЯЗКІСТЬ ЦЕМЕНТНИХ СУСПЕНЗІЙ

Кандидати техн. наук Л.М. Ксьоншкевич, О.М. Крантовська, А.В. Даниленко

## ВЛИЯНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА И МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНУЮ ВЯЗКОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Кандидаты техн. наук Л.Н. Ксёншкевич, Е.Н. Крантовская, А.В. Даниленко

## THE INFLUENCE OF MICROSILICA AND MECHANOACTIVATION ON EFFECTIVE VISCOSITY OF CEMENT SUSPENSIONS

Cand. of techn. sciences L. Ksenschkevich, E. Krantovskaya, A. Danilenko

*У статті розглядаються питання впливу режимів механоактивації, кількості мікрокремнезему та С-3 на зміну ефективної в'язкості суспензії в'язучого. Виявлено синергетичний ефект зниження в'язкості цементно-вмісних суспензій з додавкою мікрокремнезему при спільній дії на них швидкісного змішування і суперпластифікатора С-3. Проведений експеримент дозволив встановити оптимальні режими активації цементно-вмісних суспензій з органо-мінеральною додавкою, що забезпечує гранично-можливе руйнування початкової структури системи.*

**Ключові слова:** механоактивація, органо-мінеральна додавка, мікрокремнезем, портландцемент, ефективна в'язкість, швидкісне змішування, синергізм.

*В статье рассматриваются вопросы влияния режимов механоактивации, количества микрокремнезема и С-3 на смену эффективной вязкости суспензии вяжущего. Обнаружен синергетический эффект снижения вязкости цементно-содержащих суспензий с добавкой микрокремнезема при совместном действии на них скоростного смешения и суперпластификатора С-3. Проведенный эксперимент позволил установить оптимальные режимы активации цементно-содержащих суспензий с органо-минеральной добавкой, обеспечивающей предельно возможное разрушение начальной структуры системы.*

**Ключевые слова:** механоактивация, органо-минеральная добавка, микрокремнезем, портландцемент, эффективная вязкость, скоростное смешение, синергизм.

*The paper examines the influence of mechanical activation modes, the amount of microsilica and C-3 to replace the effective viscosity of the binder suspension. Discovered synergistic effect of reducing the viscosity of the cement suspensions with the addition of microsilica under the joint action on these high-speed mixing and C-3. The experiment has allowed to establish the optimal activation regimes cement suspensions with organomineral additive provides the maximum destruction of the primary structure of the system.*

**Keywords:** mechanoactivation, organomineral additive, microsilica, Portland cement, effective viscosity, high-speed mixing, synergy.

**Вступ.** Активні мінеральні добавки цілеспрямовано використовуються в портландцементних протягом багатьох десятиліть для поліпшення якості бетонних і залізобетонних виробів і конструкцій.

У сучасній технології бетону в якості модифікатора портландцементу широке розповсюдження отримав ультрадисперсний мікрокремнезем (МК), що складається зі

сферичних частинок аморфного кремнезему [1]. Розмір частинок МК не перевищує 0,01-0,1 мкм, що в десятки разів дрібніше від зерен портландцементу. При всіх своїх позитивних якостях ультрадисперсний розмір частинок МК призводить до збільшення водопотреби бетонної суміші, що вимагає введення в неї пластифікуючих добавок.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями.** Нагальна необхідність отримання високомарочних бетонів на базі рядових цементів змушує шукати нові технологічні прийоми, використання ограно-мінеральних добавок (ОМД), зокрема мікрокремнезему (МК).

Нові можливості використання мікрокремнезему тісно пов'язані з прогресом у сфері розроблення ефективних суперпластифікаторів [2].

Механоактивація в'язучого в турбулентних потоках значно підсилює ефект від спільного введення в портландцемент мікрокремнезему і органічного модифікатора [3, 4]. Поєднання цих факторів дозволить отримати бетонні суміші з підвищеною легкоукладальністю, а бетони – високої міцності (від 60 до 150 МПа) і довговічності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Роботами [5, 6] встановлено, що використання активних мінеральних добавок дає можливість економити портландцемент і отримувати бетони з заданими фізико-механічними характеристиками, а введення мікрокремнезему дає можливість регулювати процеси структуроутворення та призводить до підвищення міцності при стиску цементного каменю і бетону на його основі [7].

Посилюють роль мікрокремнезему у формуванні структури цементного каменю поверхнево-активні речовини. Роботами [8, 9] встановлено, що одночасне введення мікрокремнезему та поверхнево-активних речовин дозволяє різко підвищити міцність бетону.

Вдосконалення способів приготування бетонної суміші є істотним резервом підвищення міцності бетонів, у тому числі з застосуванням механоактивації в'язучих, що підтверджено роботами І.В. Барабаша [3, 10], С.І. Федоркіна [4], В.І. Соломатова [11] та ін.

**Визначення мети та задач досліджень.**

Мета – дослідити вплив режимів механоактивації, кількості мікрокремнезему і суперпластифікатора С-3 на зміну ефективної в'язкості суспензій в'язучого. Завдання досліджень – отримати синергетичний ефект зниження в'язкості цементно-вмісних суспензій з добавкою мікрокремнезему при спільній дії на них швидкісного змішування і суперпластифікатора С-3.

**Основна частина досліджень.** Відомо, що найбільш ефективний технологічний вплив на цементні суспензії мають ті, які дозволяють досягти граничного руйнування початкової структури системи, яка характеризується мінімальним показником її ефективної в'язкості [12]. Одним із шляхів виконання даного завдання є застосування інтенсивних гідродинамічних впливів на суспензії в'язучого у швидкісних змішувачах-активаторах.

Для цієї мети використовувався швидкісний трибозмішувач з кількістю обертів робочого органу змішувача 2800 об/хв.

Для приготування суспензії використовувався портландцемент активністю 48 МПа з питомою поверхнею  $S_{\text{пит}} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$  і мікрокремнезем у кількості до 10 % маси портландцементу. Для пластифікації суміші використовувався розріджувач С-3 в кількості від 0 до 1 % маси в'язучого. Час активації суспензії в експерименті варіювався від 0 до 120 с.

Ефективна в'язкість цементних суспензій визначалася за допомогою ротаційного вискозиметра з коаксіальними циліндрами.

Критерієм оцінки ефективності рецептурно-технологічних факторів цементно-вмісних суспензій був обраний коефіцієнт  $K$ , що визначається як відношення в'язкості, яку суспензія отримує в результаті:

а) тільки застосування швидкісного змішування ( $K_{\text{зм}}$ );

б) тільки введення суперпластифікатора С-3 ( $K_{\text{ПАР}}$ );

в) спільної дії на суспензію швидкісного змішування у присутності добавки С-3 ( $K_{\Sigma}^e$ ):

$$K_{\text{зм}} = \frac{\eta_0}{\eta_{\text{зм}}}; \quad (1)$$

$$K_{\text{ПАР}} = \frac{\eta_0}{\eta_{\text{ПАР}}}; \quad (2)$$

$$K_{\Sigma}^e = \frac{\eta_0}{\eta_{\text{зм+ПАР}}}, \quad (3)$$

де  $\eta_0$  - ефективна в'язкість практично незруйнованої структури цементно-вмісної суспензії, сП;

## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

$\eta_{\text{зм}}$  - ефективна в'язкість суспензії (С-3=0%) після швидкісного змішування, сП;

$\eta_{\text{ПАР}}$  - ефективна в'язкість суспензії (швидкісне змішування відсутнє) зі вмістом С-3=1%.

Встановлено, що введення в цемент МК призводить до збільшення ефективної в'язкості суспензії з 1520 сП (МК = 0 %) до 3868 сП (МК = 10 %), тобто більш ніж у 2,5 разу. Введення в суспензію суперпластифікатора С-3 (1%) призводить до зниження ефективної в'язкості. Зокрема для цементної суспензії без добавки МК в'язкість знизилася з 1520 сП до

643 сП, тобто майже у 2,4 разу. Для цементної суспензії з вмістом МК = 10 % ефективна в'язкість суспензії при введенні 1% С-3 знизилася з 3868 сП до 1780 сП. Результати досліджень ефективної в'язкості суспензій наведено в табл. 1.

Загальний аналіз експериментальних даних свідчить про вплив на ефективну в'язкість суспензії як часу швидкісного змішування, так і вмісту мікрокремнезему і суперпластифікатора С-3.

Таблиця 1

Вплив вмісту мікрокремнезему в портландцементі, концентрації С-3 і часу змішування на зміну ефективної в'язкості ( $\eta$ ) суспензії

№ п/п	Портланд-цемент, %	МК, %	С-3, %	Час швидкісного змішування суспензій, с				
				0	30	60	90	120
1	100	0	0	1520	780	580	618	621
2	98	2		1680	950	1010	1286	1339
3	96	4		3530	1842	1850	2006	2250
4	94	6		3760	2198	2391	2868	2880
5	92	8		3832	2855	3209	3311	3325
6	90	10		3868	3230	3405	3628	3720
7	100	0	0,25	961	178	234	324	492
8	98	2		984	182	247	320	408
9	96	4		1390	330	385	420	570
10	94	6		1550	700	820	970	990
11	92	8		2050	630	720	872	1116
12	90	10		2731	1470	1570	1941	2132
13	100	0	0,5	860	101	91	90	116
14	98	2		840	101	96	116	136
15	96	4		1170	95	86	99	115
16	94	6		1220	92	85	98	117
17	92	8		1807	157	134	158	199
18	90	10		2200	194	180	219	251
19	100	0	0,75	740	82	74	75	82
20	98	2		572	106	85	94	108
21	96	4		1150	179	82	127	110
22	94	6		1480	90	78	75	71
23	92	8		1220	112	94	105	128
24	90	10		1802	120	104	119	205
25	100	0	1,0	643	80	77	79	84
26	98	2		720	111	86	72	65
27	96	4		840	130	80	69	75
28	94	6		980	78	80	67	65
29	92	8		1190	104	81	89	74
30	90	10		1780	97	83	92	78

У результаті проведених досліджень виявлено значний синергетичний ефект зниження в'язкості цементних суспензій з добавкою мікрокремнезему при дії на них швидкісного змішування у присутності суперпластифікатора С-3.

Критерієм кількісної оцінки цього ефекту був прийнятий рівень синергізму ( $Y_c$ ), що визначається як відношення реального коефіцієнта зниження ефективної в'язкості ( $K_\Sigma^e$ ), отриманого експериментальним шляхом, до його розрахункового значення

( $K_\Sigma^p = K_{зм} \times K_{ПАР}$ ) з умови адитивності впливу цих факторів на зміну в'язкості:

$$Y_c = \frac{K_\Sigma^e}{K_\Sigma^p} \quad (4)$$

Встановлено, що рівень синергізму тим вище, чим більша концентрація МК в портландцементі (табл. 2).

Графічне відображення залежності впливу вмісту мікрокремнезему в портландцементі на  $Y_c$  наведено на рисунку (приводить до збільшення  $Y_c$  з 3,7 до 17,9, тобто майже в 5 раз).

Таблиця 2

Вплив кількості МК в портландцементі на зміну  $Y_c$

Концентрація мікрокремнезему, %	$K_{зм}$	$K_{ПАР}$	$K_\Sigma^p$	$K_\Sigma^e$	$Y_c$
0,0	2,46	2,36	5,8	21,7	3,7
2,0	2,00	2,87	5,74	24,3	4,23
4,0	1,86	3,06	5,69	51,8	9,1
6,0	1,56	3,05	4,76	57,1	12,0
8,0	1,34	2,59	3,47	51,8	14,9
10,0	1,2	2,17	2,6	46,6	17,9

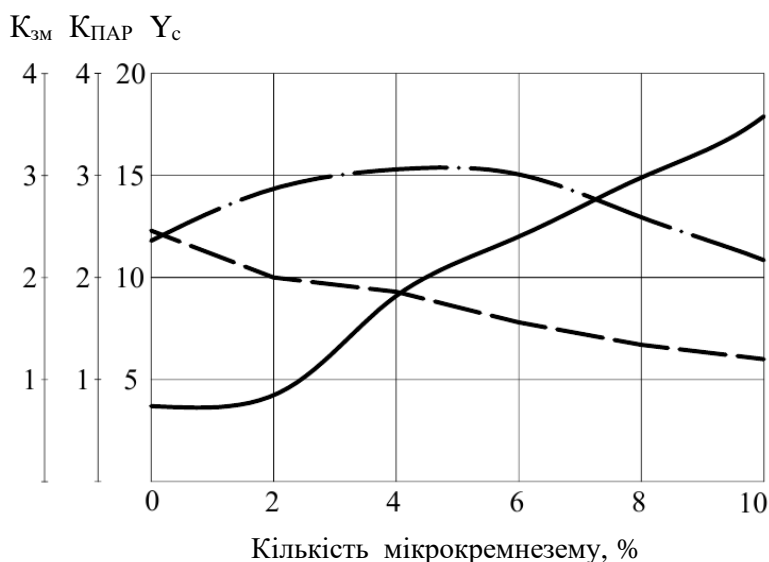


Рис. Вплив кількості мікрокремнезема на показники  $Y_c$ ,  $K_{зм}$ ,  $K_{ПАР}$  :

- - рівень синергізму  $Y_c$ ;
- - - - - коефіцієнт  $K_{зм}$ ;
- · - · - · - коефіцієнт  $K_{ПАР}$

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Встановлено, що механоактивація цементних суспензій у присутності розріджувача С-3 призводить до руйнування її структури, яке супроводжується значним зниженням ефективної в'язкості у 8-23 рази.

Введення мікрокремнезему в портландцемент призводить до збільшення ефективної

в'язкості суспензії. Необхідною умовою отримання рівнов'язких суспензій є введення суперпластифікатора С-3 в кількості 1 %.

Швидкісне змішування цементних суспензій з добавками мікрокремнезему до 10% у присутності С-3 призводить до різкого зниження ефективної в'язкості, що дозволить отримувати бетонні суміші з підвищеною легкоукладальністю.

### *Список використаних джерел*

1. Каприелов, С.С. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона [Текст] / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Ю.Р. Кривобородов // Бетон и железобетон. – 1992. – № 7. – С. 4-7.
2. Батраков, В.Г. Оценка ультрадисперсных отходов металлургических производств как добавок в бетон [Текст] / В.Г. Батраков, С.С. Каприелов, Ф.М. Иванов, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 1990. – № 12. – С. 15-17.
3. Барабаш, І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин [Текст]: навч. посібник / І.В. Барабаш. – Одеса: Астропрінт, 2002. – 100 с.
4. Федоркин, С.И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов [Текст] / С.И. Федоркин. – Симферополь: Таврия, 1997. – 180 с.
5. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АВС, 2003. – 500 с.
6. Рунова, Р.Ф. Формирование структуры высокопрочных бетонов [Текст] / Р.Ф. Рунова, И.И. Руденко, В.В. Троян [и др.] // Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка. – 2008. – №29. – С. 91-97.
7. Батраков, В.Г. Эффективность применения ультрадисперсных отходов ферросплавного производства [Текст] / В.Г. Батраков, С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 1989. – №8. – С.24-25.
8. Миненко, Е.Ю. Усадка и усадочная трещиностойкость высокопрочных бетонов с органоминеральными модификаторами [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.23.05 / Е.Ю. Миненко. – Пенза, 2004. – 157 с.
9. Барабаш, І.В. Механізми організації структури механоактивованих грубодисперсних систем [Текст] / І.В. Барабаш, В.Н. Выровой // в зб.: Композиційні матеріали для будівництва. – Макіївка: Вісник ДДАБА, 2000. – Вип. 2 (22). – С. 12-15.
10. Соломатов, В.И. Пути активации наполнителей композиционных материалов [Текст] / В.И. Соломатов, Л.И. Дворкин, С.М. Чудновский // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1987. – № 1. – С. 60-63.
11. Урьев, Н.Б. Коллоидные цементные растворы [Текст] / Н.Б. Урьев, И.С. Дубинин. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1980. – 192 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.Г. Суханов

Ксьоншкевич Любов Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри міського будівництва і господарства Одеської державної академії будівництва і архітектури. Тел.: (066)917-06-88. E-mail: wl-ksm@mail.ru.

Крантовська Олена Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри опору матеріалів Одеської державної академії будівництва і архітектури. Тел.: (066)047-45-10. E-mail: elena12122007@mail.ru.

Даниленко Анна Вілліянівна, канд. техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури. Тел.: (098)927-50-81. E-mail: danilenko\_a\_v@mail.ru.

Ksenshkevich L.N., Cand. Sc., Assistant Prof. Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.:(066)917-06-88. E-mail: wl-ksm@mail.ru.

Krantovskaya E.N., Cand. Sc., Assistant Prof. Department of Strength of Materials Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (066) 047-45-10. E-mail: elena12122007@mail.ru.

Danilenko A.V., candidate of technical sciences, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (098)927-50-81. E-mail: danilenko\_a\_v@mail.ru.

Стаття прийнята 27.10.2015 р.



УДК 666.91

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ГІДРОФОБІЗУЮЧИХ ДОБАВОК І ЇХ ВПЛИВ НА ВОДОСТІЙКІСТЬ ГІПСУ

Кандидати техн. наук А.В. Фош, В.Я. Керш, старш. викл. А.В. Колесніков

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВОДОСТОЙКОСТЬ ГИПСА.

Кандидаты техн. наук А.В. Фош, В.Я. Керш, старш. преп. А.В. Колесников

## THE INFLUENCE OF MICROSILICA AND MECHANOACTIVATION ON EFFECTIVE VISCOSITY OF CEMENT SUSPENSIONS

Cand. of techn. sciences A. Foshch, V. Kersh, assistant professor A. Kolesnikov

*У статті розглядаються питання оцінки якості гідрофобізуючих добавок по крайовому куту змочування та їх впливу на водостійкість гіпсу. Проведений експеримент дозволив вибрати найбільш ефективну гідрофобізуючу добавку серед обраних, встановити оптимальну її концентрацію та спосіб застосування. Виявлено, що гідрофобізатор ГКЖ-11К підвищує коефіцієнт розм'якшення гіпсу на 33 % при концентрації добавки 1 % маси в'язучого.*

**Ключові слова:** гіпс, водостійкість, гідрофобізуюча добавка, крайовий кут змочування, коефіцієнт розм'якшення.

*В статье рассматриваются вопросы оценки качества гидрофобизирующих добавок по краевому углу смачивания и их влияние на водостойкость гипса. Проведенный эксперимент позволил выбрать наиболее эффективную гидрофобизирующую добавку среди выбранных, установить оптимальную её концентрацию и способ применения. Выведено, что гидрофобизатор ГКЖ-11К повышает коэффициент размягчения гипса на 33 % при концентрации добавки 1 % массы вяжущего.*

**Ключевые слова:** гипс, водостойкость, гидрофобизирующая добавка, краевой угол смачивания, коэффициент размягчения.

*The paper deals with the evaluation of the quality waterproofing additives for contact angle of wetting and their impact on the water resistance of gypsum. The experiment allowed to choose the most effective repellent additive among the candidates, it set the optimal concentration and method of application. It was revealed that the water repellent GKZ-11K increases the rate of softening of gypsum is 33% at a concentration of additive 1% by weight of the binder.*

**Keywords:** gypsum, water-resistance, waterproofing additive, the contact angle, the ratio of softening.

**Вступ.** Виробництво ефективних будівельних матеріалів і виробів, що відповідають сучасним вимогам з екологічності, основних фізико-механічних характеристик, доступності і вартості, – важливе і не вирішене в повному обсязі завдання будівництва і промисловості будівельних матеріалів.

Будівельні матеріали на основі гіпсової сировини відрізняються низькими енергозатратами при виробництві та кращими екологічними показниками порівняно з цементними матеріалами аналогічного призначення [1].

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими**

**і практичними завданнями.** Вітчизняний і зарубіжний досвід застосування гіпсових матеріалів у будівництві та результати науково-дослідних розробок у цій галузі показують [2], що застосування гіпсових матеріалів абсолютно недостатньо. Перегородки з гіпсокартонних листів (ГКЛ) і в деяких випадках з пазогребневих плит, підвісні стелі, ряд оздоблювальних матеріалів у приміщеннях з відносно вологістю повітря до 60 % – на сьогодні найбільш відомі варіанти застосування гіпсових виробів. Значно менше гіпсові матеріали застосовуються в шпаклівках, клеях, штукатурних розчинах. І зовсім мало в якості

теплоізоляційних ніздрюватих бетонів: піногіпс, газогіпс, полістиролгіпсобетон [3, 4].

Основною причиною обмеження сфери їх використання є низька водостійкість гіпсового каменю, що призводить до втрати міцності гіпсових виробів у вологих умовах. Тому підвищення водостійкості гіпсу є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження, проведені протягом останніх десятиліть, дозволили виявити найбільш ефективні шляхи підвищення водостійкості матеріалів на основі гіпсового в'язучого [5-10]:

- підвищення щільності виробів за рахунок їх виготовлення методом трамбування та вібропресування з малопластичних сумішей;

- застосування хімічних добавок, у тому числі пластифікуючих, що дозволяють модифікувати різні властивості гіпсу;

- зменшення розчинності у воді сульфату кальцію і створення умов утворення нерозчинних сполук, що захищають дигідрат сульфату кальцію, поєднанням гіпсових в'язучих з гідравлічними компонентами (вапном, портландцементом, активними мінеральними добавками). У якості пуцоланової добавки зазвичай використовують трепел, діатоміт, опоки, активні золи, гранульовані доменні шлаки та ін.;

- підвищення водостійкості гіпсових виробів зовнішньою та об'ємною гідрофобізацією.

Застосування гідрофобізаторів активно розвивається за кордоном і отримало широке застосування при виробництві сучасних водостійких матеріалів на основі гіпсу (штукатурки, шпаклівки, гіпсокартонні плити та ін.). У якості речовин, що забезпечують захист гіпсового каменю від дії води, використовують різні емульсії, у складі яких присутні полівініловий спирт, стеаринова кислота, парафін, алкілфенол, крохмаль, аміноальдегідні смоли, алкілоксисилани та ін. [11].

### **Визначення мети та задач досліджень.**

Метою дослідження є підвищення водостійкості гіпсу за допомогою використання гідрофобізуючих добавок.

Завдання досліджень – оцінити якість вітчизняних і зарубіжних гідрофобізуючих добавок і дослідити їх вплив на водостійкість гіпсу.

**Основна частина досліджень.** Вплив вітчизняних і зарубіжних гідрофобізуючих добавок на водостійкість гіпсу визначали за крайовим кутом змочування поверхні матеріалу за допомогою програми AmCap і визначенням

коефіцієнта розм'якшення гіпсобетону. Дослідження проводилися на в'язучому марки Г-5-Б-ІІ виробництва ВАТ «Івано-Франківськцемент» і високоміцний гіпс марки Г-10-Б-ІІІ виробництва ТОВ «Кнауф ГПС Донбас».

Оскільки одним із важливих факторів у водяній системі є ступінь гідрофільності, було визначено кути змочування вибраних гідрофобізуючих добавок на різних поверхнях.

На гладку поверхню металевої пластини, звичайного скла, а також парафінованого скла наносили ПАР з однаковою концентрацією розчину і вимірювали кут змочування. За допомогою WEB камери проектували бокове зображення краплі на екран і за допомогою програми AmCap знімали фото краплі, а потім у програмі AutoCAD через точку дотику трьох фаз проводили дотичну до контуру краплі.

Дослідження проводилися в лабораторних умовах на установці, показаної на рис. 1. У даній установці використовувалась WEB камера з десятикратним збільшенням і ціною поділки 0,05 мм.

У таблиці подано результати дослідження крайового кута змочування поверхні, дані змочування поверхні гідрофобізованого гіпсу об'ємною та поверхневою гідрофобізацією при концентрації добавок 1 % маси в'язучого та коефіцієнт розм'якшення гіпсу.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що найбільш ефективним з розглянутих гідрофобізаторів є добавка ГКЖ-11К, оскільки крайовий кут змочування на кожній із поверхонь (металева пластина, звичайне скло, а також парафіноване скло) мінімальний відносно інших гідрофобізаторів.

Кут між краплею води та поверхнею гідрофобізованого добавкою ГКЖ-11К гіпсу – максимальний і складає при об'ємній гідрофобізації  $96^{\circ}$ , що свідчить про незмочування поверхні. Інші добавки мають менший кут, отже вони менш ефективні.

Введення до складу гіпсу Г-5 гідрофобізуючої добавки дозволяє підвищити коефіцієнт розм'якшення з 0,4 (контрольний склад) до 0,51, а на гіпсі марки Г-10 коефіцієнт розм'якшення підвищується з 0,36 до 0,48.

Вивчено вплив гідрофобізуючої добавки ГКЖ-11К на коефіцієнт розм'якшення гіпсу на в'язучому марки Г-10, для визначення оптимальної концентрації. Результати показані на рис. 2.



Рис. 1. Схема установки для вимірювання крайового кута:  
1 – WEB камера; 2 – змочувана поверхня (скло); 3 – крапля водного розчину з добавкою;  
4 – фокус камери; 5 – зображення, що виводиться на екрані; 6 – штатив

Таблиця

Вплив гідрофобізуючих добавок на водостійкість гіпсу

Визначення крайового кута змочування поверхні						
	Гідрофобізатори					
	ГКЖ-11К	CR-349	КО-А	Water Reppelent Aquasil WO	Гідроізолятор MC-Bauchemie	Master Hidro
Металева поверхня						
Кут змочування	28	35	36	37	51	53
Скло						
Кут змочування	27	33	42	52	59	87
Парафінове скло						
Кут змочування	25	28	37	47	54	60
Змочування поверхні гідрофобізованого гіпсу						
Об'ємна гідрофобізація						
Кут змочування	96	96	80	71	55	48
t погл., с	не погл.	не погл.	не погл	6	6-7	19-20
Поверхнева гідрофобізація						
Кут змочування	91	87	78	63	57	50
t погл., с	не погл.	не погл.	128	17-18	23-24	50
Вид в'язучого	Коефіцієнт розм'якшення, Кр					
Г-5 Кр=0,4	0,51	0,49	0,48	0,42	0,41	0,4
Г-10 Кр=0,36	0,48	0,45	0,44	0,4	0,39	0,38

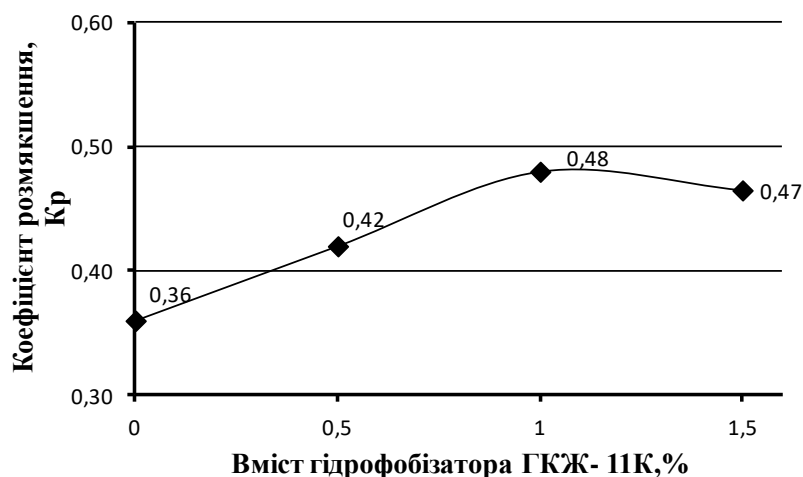


Рис. 2. Вплив гідрофобізуючої добавки ГКЖ-11К на коефіцієнт розм'якшення гіпсу

Проведеними дослідженнями встановлено, що зміна концентрації гідрофобізуючої добавки ГКЖ-11К від 0,5 до 1 % маси в'язучого сприяє підвищенню коефіцієнта розм'якшення  $K_p$ , подальше збільшення концентрації до 1,5 % призводить до незначного зниження коефіцієнта розм'якшення.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Результати досліджень дозволили вибрати найбільш ефективну гідрофобізуючу добавку, визначити оптимальну її концентрацію та спосіб застосування і будуть використані в подальших дослідженнях.

#### Список використаних джерел

1. Коровяков, В.Ф. Гипсовые вяжущие и их применение в строительстве [Текст] / В.Ф. Коровяков // Химия современных строительных материалов. – 2003. – Вып. 4. – С.18-25.
2. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) [Текст] / под ред. А.В. Ферронской. – М.: АСВ, 2004. – 488 с.
3. Завадская, Л.В. Газогипс – эффективный энергосберегающий материал для современного строительства [Текст] / Л.В. Завадская // Третья всеросс. науч.-практ. конф.: сб. докладов. – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2010. – С. 53-57.
4. Керш, В.Я. Оптимизация свойств полистиролгипсобетона [Текст] / В.Я. Керш, А.В. Фощ // Вісник ОДАБА. – Одеса: «Зовнішрекламсервіс», 2011. – Вип. 44. – С.354-361.
5. Волженский, А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия [Текст] / А.В. Волженский, В.И. Стамбулко, А.В. Ферронская. – М.: Стройиздат, 1971. – 318 с.
6. Волженский, А.В. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие материалы и изделия [Текст] / А.В. Волженский, М.И. Роговой, В.И. Стамбулко. – М.: Госстройиздат, 1960. – 162 с.
7. Ферронская, А.В. Развитие теории и практики в области гипсовых вяжущих веществ [Текст] / А.В. Ферронская // Сб. «Развитие теории и технологий в области силикатных и гипсовых материалов». – М.: МГСУ, 2000. – Ч.1. – С. 47-56.
8. Михеенков, М.А. Прессование как способ повышения водостойкости гипсового вяжущего [Текст] / М.А. Михеенков // Вестник МГСУ. – 2009. – Вып. 4. – С. 158-162.
9. Коровяков, В.Ф. Перспективы применения водостойких гипсовых вяжущих в современном строительстве [Текст] / В.Ф. Коровяков // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: матер. Всеросс. семинара. – М., 2002. – С. 51-56.
10. Кондращенко, О.В. Гіпсові будівельні матеріали підвищеної міцності і водостійкості (фізико-хімічні та енергетичні основи) [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.05 / О.В. Кондращенко. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 40 с.

11. The influences of gypsum water-proofing additive on gypsum crystal growth / J. Li, G.Li, Y. Yu // Materials Letters. – 2007. – № 61. – P. 872-876.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.М. Вировой

---

Фощ Альона Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури. Тел.: (097)045-62-62 E-mail: nikitkos@gmail.com.

Керш Володимир Якович, канд. техн. наук, професор кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури. Тел.: (067)775-42-04 E-mail: vkersh@hotmail.com.

Колесніков Андрій Валерійович, старший викладач, Одеська державна академія будівництва та архітектури. Тел.: (050)554-84-13 E-mail: kolesn@stikonet.od.ua.

Foshch A. V., Cand. Sc., Associate Prof. Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (097)045-62-62 E-mail: nikitkos@gmail.com.

Kersh V.Ya., Cand. Sc., Prof. Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (067) 775-42-04 E-mail: vkersh@hotmail.com.

Kolesnikov A.V., Assistant Prof. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (050)554-84-13. E-mail: kolesn@stikonet.od.ua.

Стаття прийнята 28.10.2015 р.

УДК 656.073

### **ПРИНЦИПОВИЙ ОГЛЯД І ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ СУЧАСНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПРОЕКТУВАННЯ НОВИХ, РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІСНУЮЧИХ ЗАЛІЗНИЦЬ**

**Канд. техн. наук Н.В. Белікова, Є.М. Гречаник, С.В.Лихицький**

### **ПРИНЦИПИАЛЬНЫЙ ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВЫХ, РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

**Канд. техн. наук Н.В. Беликова, Е.М. Гречаник, С.В. Лихицкий**

### **FUNDAMENTLY REVIEW AND COMPARATIVE ANALYSIS OF EXISTING SOFTWARE FOR MODERN, ELECTRONIC DESIGN OF NEW, RENOVATION AND OPERATION OF THE EXISTING RAILROAD**

**Cand. of techn. sciences N.V. Belikova, E.M. Grechanik, S.V. Lichitckiy**

*Виконано аналіз користувальницьких функцій найпоширеніших програмних комплексів для цифрового, електронного проектування нових, реконструкції та експлуатації існуючих залізниць. Обґрунтовується необхідність застосування нових електронних засобів вишукувань і сучасних систем автоматизації проектних робіт. Зокрема підвищення можливостей проектних рішень і скорочення трудовитрат і термінів розроблення документації завдяки використанню геоінформаційних систем і цифрових моделей місцевості. Сформовано критерії оцінювання для порівняння та визначення найефективнішої програми. Результати аналізу подано в табличній формі, що дозволяє підібрати програму більш точно, враховуючи її кращі сторони. Зазначено основні проблеми розроблення програмних комплексів і САПР для залізниць у цілому. У статті подано подальші напрями розвитку функціоналу програмного забезпечення.*

**Ключові слова:** залізниця, проектування, реконструкція, програмний комплекс, критерії функціонального аналізу.

*Проведен обзор и анализ основных функций программных комплексов для цифрового, электронного проектирования новых, реконструкции и эксплуатации существующих железных дорог. Обосновывается необходимость применения новых электронных средств изысканий и современных систем автоматизации проектных работ. В частности повышение возможностей проектных решений и сокращения трудозатрат и сроков разработки документации благодаря использованию геоинформационных систем и цифровых моделей местности. Созданы критерии оценки для сравнения и определения эффективной программы. Результаты анализа представлены в табличной форме, что позволяет подобрать программу более точно, учитывая ее лучшие стороны. Указаны основные проблемы разработки программных комплексов и САПР для железных дорог в целом. В статье представлены дальнейшие направления развития функционала программного обеспечения.*

**Ключевые слова:** железные дороги, проектирование, реконструкция, программный комплекс, критерии функционального анализа.

*The review and analysis of the basic functions of software for electronic design new and reconstruction of existing railways. The necessity of the use of new electronic delights and modern automation systems design work. In particular, increasing capacity design and reducing development time and labor documents through the use of geographic information systems and digital terrain models. The current table of evaluation criteria to compare and most effective programs. The analysis presented in tabular form, which allows you to choose the program more accurately, given its best side. These basic problems of software development and CAD systems for railways in general. The article further directions of functional software.*

**Keywords:** railroads, design, reconstruction, software system, criteria for functional analysis.

**Вступ.** У статті зроблено огляд і порівняльний аналіз існуючих програмних комплексів (ПК) для сучасного електронного проектування нових, реконструкції та експлуатації існуючих залізниць. Для об'єктивного функціонального аналізу ПК сформовано набір системних критеріїв, завдяки яким досягається принципове зіставлення існуючих на різних стадіях проектування об'єкта характеристик, умов і вимог.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Скорочення трудовитрат і термінів розроблення проектно-кошторисної документації досягається за рахунок застосування нових технічних електронних засобів вишукувань і сучасних систем автоматизації проектних робіт (САПР).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Підвищення якісних можливостей проектних рішень і зниження витрат праці особливо помітно при використанні сучасних інформаційних технологій, зокрема геоінформаційних систем (ГІС), цифрових моделей місцевості (ЦММ). Вони широко застосовуються при проектуванні, будівництві та експлуатації залізниць. Дослідження з розроблення методів вирішення окремих завдань проектування залізниць на новій

інформаційній базі ведуться в університетах шляхів сполучення і в проектних організаціях. Однак комплексну САПР, що працює на основі ЦММ для залізниць, на даний час повністю не розроблено. Тому зараз актуально адаптувати наявні сучасні програмні забезпечення до завдань проектування, реконструкції та експлуатації залізниць з використанням усіх різноманітних якісних сучасних електронних можливостей ЦММ, створення на їх основі залізничного САПР і розроблення сучасного електронного методу виконання проектних робіт на новій сучасній інформаційній базі. Вирішення цієї проблеми вимагає проведення багатогранних досконалих досліджень.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Розглянемо основні характеристики найбільш поширених програмних продуктів:

- 1) Credo (Білорусь, Мінськ, НВО «Кредо-Діалог»);
- 2) Robur-Железные дороги (Топоматик, Росія, Санкт-Петербург);
- 3) GeoniCS ЖЕЛДОР (CSoftDevelopment, Росія, Москва);
- 4) AutoCAD Civil 3D (Autodesk, США);
- 5) RWplan (Україна, Дніпропетровськ).

Всі вони позиціонуються і як засоби для розроблення проектів реконструкції

(модернізації) існуючих залізниць і проведення ремонтів колії.

**Основна частина дослідження.** Будь-яке проектування, планування, реконструкція починається з вишукувань. У наші дні широко використовується збір геодезичних даних із застосуванням електронних тахеометрів (тахеометрична зйомка). З появою нових методів збору геодезичних даних (повітряне та наземне лазерне сканування) з'явилася можливість створювати тривимірні моделі місцевості.

Створення тривимірних моделей дозволяє оцінити об'єкт у режимі реального часу; виконувати додаткові розрахунки, такі як визначення відстаней, габаритів; давати оцінку місцевості і стану об'єкта вишукувань і багато іншого в більш точному положенні. Тривимірна модель відображує весь характер місцевості, рельєфу або об'єкта досліджень, що дозволяє здійснити планування та проектування з найбільшою точністю, враховуючи всі деталі.

Програмний комплекс Credo-Система призначена для проектування автомобільних доріг, але застосовується і при проектуванні залізниць. Вона включає ряд програмних комплексів, кожен з яких застосовується в окремих галузях інфраструктури. У системі Credo вдало організована робота з планового компонування проектних рішень при проектуванні станцій, вузлів, розв'язок, і вона широко застосовувалася при розробленні таких проектів. Для застосування програмного комплексу при проектуванні нових залізниць до складу модуля Credo була включена можливість відображення на планах специфічних об'єктів залізничного транспорту – стрілочних переводів і т. п.

Програмний комплекс GeoniCS ЖЕЛДОР у якості платформи використовує продукти AutoCAD і AutoCADCivil 3D від компанії Autodesk. GeoniCS складається з декількох взаємодіючих і взаємозалежних підсистем. Для зйомки використовується модуль, призначений для введення та обробки даних інженерно-геодезичних та інженерно-геологічних вишукувань залізниць. Присутні інструменти для створення і редагування елементів плану: прямої, колової і перехідної кривих, у тому числі з можливістю сполучення клотоїди в комбінаціях «відрізок-дуга», «дві дуги». Є вбудована бібліотека типових стрілочних переводів. Профіль траси можна отримати

вручну, по поверхні, 3D-полілінією або з текстового файла, а також шляхом подальшого редагування. Поперечні профілі можна створити лінією перетину на одному пікеті, за діапазоном пікетів, по координатах точки, вказаної користувачем, по полілініях. Можлива підтримка «косих» поперечників (перетинів під будь-яким кутом до осі траси). Моделювання коридору здійснюється за допомогою шаблону, у якому знаходяться конструкції з різними проектними рішеннями.

Програмний комплекс Robur САПР для проектування залізниць і станцій створено на основі просторової цифрової моделі, розробленої компанією «Топоматик». Відмінною особливістю програмного комплексу Robur-Железные дороги є тривіконний інтерфейс (план, профіль, поперечник), який істотно полегшує прийняття комплексних проектних рішень по всіх елементах траси лінійної споруди – план, поздовжній і поперечний профілі (рис. 1).

ПК складається з ряду модулів, найбільший інтерес з яких має модуль динамічного трасування. При зміні плану траси автоматично змінюються чорний поздовжній профіль, за певним законом – червоний поздовжній профіль, перепроєктуються поперечники. У модулі «Штучні споруди» передбачено проектування об'єктів з прив'язкою до типових конструкцій, різних типів фундаментів, оголовків і укріплень русел, укосів насипу та диференціацією обсягів робіт. Модуль може використовуватися і як автономна програма, і в складі ПК Robur.

Програмний комплекс RWplan дозволяє уникнути помилок і дає інженеру потужний інструмент для вирішення завдань проектування або виправлення плану існуючих чи нових залізниць. Програма RWplan забезпечує:

- всі методи зйомки плану, зрівнювання зйомки;
- розрахунок не окремих кривих, а ділянок шляху, що складаються з прямих і кривих різних напрямків;
- точне координатне подання багаторадіусних кривих;
- використання ефективних авторських моделей плану і алгоритмів оптимізації;
- застосування в якості критерію оптимізації грошових витрат на перебудову плану, що дозволяє оцінити і знизити витрати на виконання робіт;

- широкі можливості роботи з координатною зйомкою, включаючи її перенесення на вісь шляху, на сусідній шлях, введення додаткових точок;
- єдиний підхід до розрахунків кривих для проектних організацій і дистанцій колії;
- визначення допустимих швидкостей для існуючого і проектного шляхів з підбором раціонального поєднання підвищень зовнішньої рейки;

- урахування обмежень на величину і напрям зрушень, на пікетажні положення окремих елементів;
- рішення практично будь-яких завдань проектування плану;
- розрахунок плану сусідніх колій з перевіркою габаритів;
- побудова різних креслень, включаючи паспорт кривої для дистанції колії.

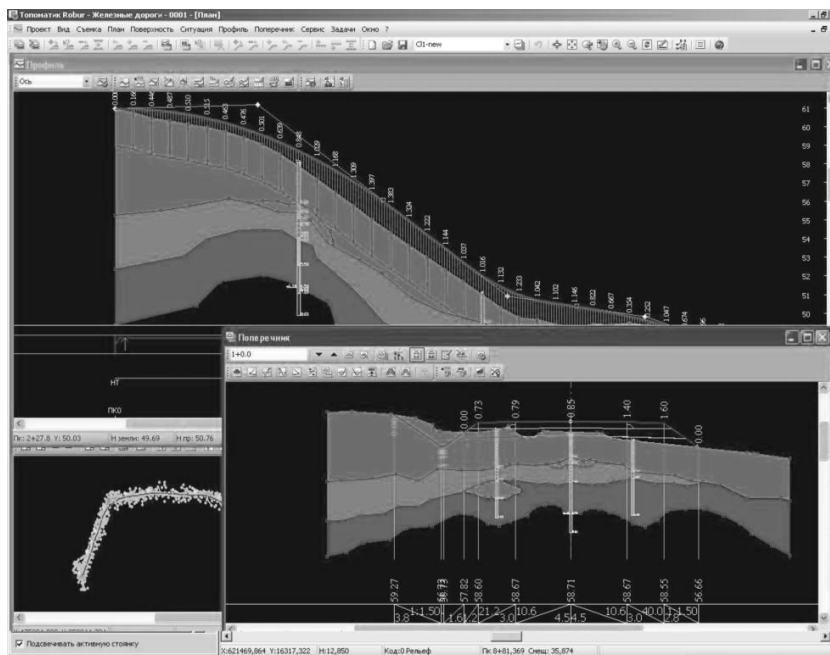


Рис. 1. Тривіконний інтерфейс Robur - Железные дороги

AutoCAD Civil 3D – це програма нового покоління, що базується на платформі AutoCAD і призначена для землепорядників, проектувальників автомобільних доріг, залізниць, генплану. Ключовою особливістю програми є інтелектуальний зв'язок між об'єктами, що дозволяє динамічно оновлювати всі зв'язані об'єкти при внесенні змін у проектні рішення.

AutoCAD Civil 3D має потужний і обширний функціонал з проектування та моделювання доріг. Використання критеріїв проектування (проектних обмежень) дозволяє проектувальнику не відслідковувати самостійно дотримання цих обмежень – AutoCAD Civil 3D робить перевірку всіх обмежень автоматично. У проектувальника є повний набір інструментів для трасування залізниць, створення складних перехідних,

плаваючих і вільних кривих, сполучення складних ділянок. За створеною трасою автоматично будується існуючий профіль з автоматичним заповненням підпрофільної таблиці з відповідними ДБН. План і профіль траси динамічно пов'язані між собою – будь-які зміни на плані автоматично призводять до зміни профілю траси. Для створення проектного профілю у проектувальника є редактор геометрії, який включає в себе об'ємний набір інструментів.

AutoCAD Civil 3D також автоматично [1] створює поперечні профілі вздовж траси. За допомогою бібліотеки типових рішень формується коридор. Зміна будь-якого елемента коридору призводить до автоматичної зміни всіх взаємопов'язаних з ним інших елементів. Це дозволяє максимально швидко і коректно вносити проектні зміни на будь-якій



стадії проектування залізниці. Візуальне редагування моделей коридорів ведеться за допомогою ручок. Реалізовано засоби візуального аналізу динамічної моделі коридору:

аналіз видимості по коридору, побудова зон видимості в певній точці коридору. Також подано розрахунок підвищення зовнішньої рейки по трасі залізниці (рис. 2).

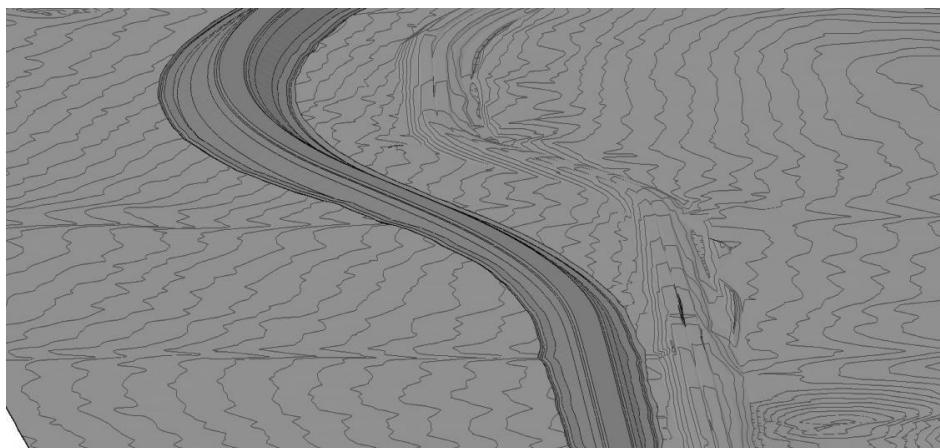


Рис. 2. Проектний коридор та існуюча ЦММ

Критерії оцінювання для порівняння та визначення найефективнішого програмного комплексу для проектування та реконструкції залізниць:

1. Підтримка національної нормативної бази.
2. Підтримка національних стандартів оформлення проектно-кошторисної документації.
3. Бібліотеки типових рішень по верхній будові колії, земляному полотну, водопропускних спорудах.
4. Редактор геометрії для створення та редагування елементів плану залізничної лінії.
5. Редагування геометрії для створення і редагування поздовжнього профілю.

6. Відображення зрушень габаритів, міжколійя.

7. Проектування залізничних кривих (піднесення зовнішньої рейки, уширення колії, баластної призми, земляного полотна).

8. Відображення, розміщення і редагування об'єктів залізничної колії (стрілочних переводів, з'їздів).

9. Ведення пікетажу (кілометражу).

10. Створення існуючого (чорного) і геометричний конструктор проектного (червоного) поперечного профілю.

11. Розрахунок обсягів об'ємів робіт і матеріалів [2].

Результати аналізу критеріїв функціоналу в різних ПК подано в таблиці.

Таблиця

№	Критерій оцінювання	CREDO	Robur Rail	Geonics ЖЕЛДОР	AutoCAD Civil 3D	RWplan
1	2	3	4	5	6	7
1	Підтримка національної нормативної бази	+	+	+	+	++
2	Підтримка національних стандартів оформлення проектно-кошторисної документації	+++	+++	+++	+++	+++
3	Бібліотеки типових рішень по верхній будові колії, земляному полотну, водопропускних спорудах	+	++	+	++	+

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7
4	Редактор геометрії для створення та редагування елементів плану залізничної лінії	+++	+++	+++	++	++
5	Редагування геометрії для створення і редагування поздовжнього профілю	++	++	+++	+++	++
6	Відображення зрушень габаритів, міжколійя	+	+++	++	+	++
7	Проектування залізничних кривих (піднесення зовнішньої рейки, уширення колії, баластної призми, земляного полотна)	-	+++	+++	++	+++
8	Відображення, розміщення і редагування спеціальних об'єктів залізничної колії (стрілочних переводів, з'їздів)	+	+++	+++	-	++
9	Ведення пікетажу (кілометражу)	++	++	++	+++	+++
10	Створення існуючого (чорного) і геометричний конструктор проектного (червоного) поперечного профілю	+	+	++	+++	+
11	Розрахунок обсягів об'ємів робіт і матеріалів	++	+	+++	++	+

Примітка:

+++ добре, ++ задовільно, + низький, - відсутній.

**Висновки з аналізу і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Реалізація даних критеріїв у програмних комплексах дозволяє в основному задовольнити потреби проектувальника при розробленні розділів «Поздовжній профіль і план шляху» і (меншою мірою) «Земляне полотно» проектів нових і реконструкції (модернізації) існуючих залізниць. Це, ймовірно, пов'язано з непорівнянними ємностями ринку ПК для проектування залізниць і, наприклад, ПК для проектування промислових і цивільних будинків. Розроблення ПК вимагає залучення значних ресурсів (люди, час, гроші). Витрати повинні окупитися. Факт і термін окупності залежать від ємності ринку. Всі розглянуті ПК з точки зору користувача приблизно рівноцінні.

Досягнуто певну межу розвитку функціоналу в рамках єдиної для всіх ПК концепції інтерактивної роботи з трасою, як лінійного об'єкта. Різниця спостерігається тільки в рівні зручностей, що надаються користувачеві при вирішенні тих чи інших завдань. Подальший розвиток функціоналу САПР залізниць вимагає залучення стартових ресурсів: інтелектуальних і матеріальних. Просування в даному напрямку слід насамперед очікувати від компаній, що спеціалізуються в галузі розроблення програмного забезпечення для проектування залізничних ліній за прямими замовленнями проектних організацій, і меншою мірою від компаній, що спеціалізуються в галузі розроблення універсального (платформного) програмного забезпечення.

#### *Список використаних джерел*

1. Пелевина, И.А. Самоучитель AutoCAD Civil 3D 2011 [Текст] / И.А. Пелевина. – СПб.: «БХВ-Петербург», 2011. – 416 с.
2. Проектирование дорог в системе Credo дороги [Текст]: практическое пособие. – Минск: Кредо образование, 2010. – 96 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Даренський О.М.

Белікова Наталія Віталіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел +38057730-10-67.

Гречаник Євгеній Миколайович, магістр Українського державного університету залізничного транспорту.  
Тел. +380958512858.

Лихицький Сергій Валерійович, майстер шляховий з планово-попереджувальних робіт Красноградської дистанції колії Південної Залізниці. Тел. +380667532482.

Byelikova Natalia Vitaliyevna, associate professor, candidate professor of the department «Road and trak acilities» of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel +38057730-10-67.

Hrechanik E, master student of Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: hrechanik1993@gmail.com. Tel.+380958512858.

Lechicki Sergey Valerievich, master of track planning-preventive works Krasnogradsky track of the southern Railway. Phone +380667532482.

Стаття прийнята 28.10.2015 р.

УДК 624.078

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЗАКЛАДНИХ ДЕТАЛЕЙ СИСТЕМИ КРІПЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН

Канд. техн. наук О.В. Малюшицький

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЕЙ СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН

Канд. техн. наук А.В. Малюшицкий

### RESEARCH OF WORK OF EMBEDDED PARTS OF THE MOUNTING SYSTEM OF CONCRETE COLUMNS

Cand. of techn. science A.V. Malushytsky

*Наведено результати експериментальних досліджень закладних деталей системи кріплення залізобетонних колон. Виконано порівняльний аналіз теоретичних розрахунків з результатами експериментальних досліджень.*

*Ключові слова:* закладні деталі, система кріплення залізобетонних колон, результати експериментальних досліджень.

*Приведены результаты экспериментальных исследований закладных деталей системы крепления железобетонных колонн. Выполнен сравнительный анализ теоретических расчетов с результатами экспериментальных исследований.*

*Ключевые слова:* закладные детали, система крепления железобетонных колонн, результаты экспериментальных исследований.

*Is described the design of the proposed embedded parts, of the mounting system of reinforced concrete columns. Revealed shortcomings of the existing embedded items and advantages of the offer.*

*The embedded parts are manufactured using the flexible anchors and the instantaneous welding technology.*

*Were designed fragments of columns for testing of embedded parts and developed the technique testing pilot samples. Presents the schemes of reinforcement fragments of columns; the scheme of research of the pilot samples and location scheme of the measuring equipment.*

*Presents the results of experimental investigations of embedded parts of the mounting system of reinforced concrete columns. Analyzed the growth charts of the longitudinal deformation of anchor rods.*

*Made a comparative analysis of the theoretical calculations with experimental results, and the conclusion regarding possible application of the offered embedded parts in the mounting system of reinforced concrete columns.*

**Keywords:** *the embedded parts, the mount system of concrete columns, the results of the research.*

**Вступ.** Залізобетонні конструкції є одними з найпоширеніших конструкцій у всіх галузях будівництва. На сьогодні широкого розповсюдження набуло збірно-монолітне будівництво, яке передбачає використання закладних деталей, що призводить до підвищення матеріалоемності та загальної вартості.

В умовах ринкової економіки виникає необхідність ефективного виробництва будівельних конструкцій на основі науково-технічного прогресу, що полягає в економії ресурсів при їх виготовленні та монтажі.

Використання закладних деталей у системі кріплення залізобетонних колон дозволяє скоротити тривалість і трудовитрати процесу монтажу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Традиційний спосіб монтажу залізобетонних колон передбачає їх встановлення в стакан підколонника з подальшим вивіренням за допомогою кондуктора та замоноличенням шва. При цьому використовується допоміжне обладнання, що значно ускладнює та сповільнює процес будівельного виробництва.

Новітній спосіб монтажу [1], який являє собою систему кріплення залізобетонних колон до фундаментів за допомогою закладних деталей (рис. 1,а), на ряду з такими перевагами, порівняно з традиційним способом, як швидкість і точність монтажу, має суттєвий недолік – велика кількість зварних швів при виготовленні закладних деталей (рис. 1,б).



Рис. 1. Загальний вигляд (а) і конструкція (б) закладної деталі система кріплення залізобетонних колон: 1 – зварні шви

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Конструкція відомих закладних деталей систем кріплення залізобетонних колон [1] передбачає приварювання арматурних стрижнів внапуск, що вимагає високої кваліфікації виконання робіт і значної витрати ресурсів.

Використання в запропонованих закладних деталях гнучких анкерів з висадженими головками і технології їх миттєвого приварювання дозволяє значно скоротити вартість і трудомісткість їх виготовлення.

Зважаючи на те, що гнучкі анкери приварюються в тавр, необхідно експериментально оцінити характер роботи і несучу здатність закладних деталей і можливість їх використання для наведеної системи кріплення.

**Постановка завдання.** Для оцінки можливості використання запропонованих закладних деталей у системі кріплення залізобетонних колон необхідно запроєктувати закладні деталі з гнучкими анкерами та фрагменти залізобетонних колон, розробити

методику випробувань і на основі експериментальних досліджень визначити характер роботи закладних деталей і виконати порівняльний аналіз результатів теоретичних розрахунків експериментальних випробувань.

**Основний матеріал і результати.**

Запропоновані закладні деталі мають таку конструкцію:

- пластина кріплення виготовлена зі сталі С235, має фактичні розміри  $a \times b \times h = 110 \times 110 \times 15$  мм, отвор має діаметром 27 мм для болта М24;

- захисний елемент закладної деталі, який призначений для запобігання потрапляння розчину під час бетонування в зону монтажу. Використовувався кутик рівнополичковий 90х90х7 і пластина розміром 85х85х5. Всі складові захисного елемента виготовлені зі сталі С235;

- гнучкі анкери з підсиленням у вигляді висаджених головок. Виготовлені за ЕТА-03/0041 зі сталі S325 J2. Номінальний діаметр анкера 10 мм.

Вище згадувана технологія зварювання дозволяє виконувати зварювання стрижнів один з одним, що дає можливість виготовляти елементи анкерування будь-якої довжини.

Приварювання гнучких анкерів виконувалося в інституті електрозварювання імені Є.О. Патона (м. Київ), за допомогою апарата «ALPHA 850».

Загальний вигляд закладних деталей, прийнятих для експериментальних досліджень, наведено на рис. 2, а. За результатами розрахунків, довжина анкерування для включення бетону в роботу становила 300 мм і

досягалася шляхом приварювання двох рядів анкерних стрижнів (рис. 2, б). У зв'язку з тим що під час зварювання довжина стрижня зменшується на 3 мм, фактична довжина анкерування складала 294 мм.

Для визначення несучої здатності закладних деталей були запроєктовані за роботами [3, 4] фрагменти залізобетонних колон з такими параметрами:  $b = 300$  мм,  $h = 300$  мм, бетон класу С20/25; арматура класу А400С; захисний шар бетону  $a' = a = 50$  мм. Схема армування колони наведена на рис. 3. У стиснутій зоні запроєктовано 2Ø8 А400С, у розтягнутій – 4Ø14 А400С. Поперечне армування виконано у вигляді хомутів з арматури Ø6 А240С.

При виготовленні бетонної суміші у якості в'язучого використовувався цемент марки М400, щебінь гранітний фракції 10-20 мм, пісок кварцовий з модулем крупності 1,0. Склад бетонної суміші на 1 м<sup>3</sup>: цемент – 345 кг, щебінь – 1420 кг, пісок – 450 кг, водо-цементне співвідношення  $v/c = 0,51$ . До випробувань зразки зберігалися у приміщенні при температурі +14...20°C і відносній вологості повітря 70...75 %.

Прийнята схема випробування дослідних зразків, яка б моделювала реальні умови роботи, наведена на рис. 4 та являє собою балку складену з двох фрагментів колон, об'єднаних болтовим з'єднанням у прогоні на рівні нижнього пояса за допомогою запроєктованих закладних деталей. За результатами розрахунків болтового з'єднання прийнято 2 болти діаметром 24 мм.

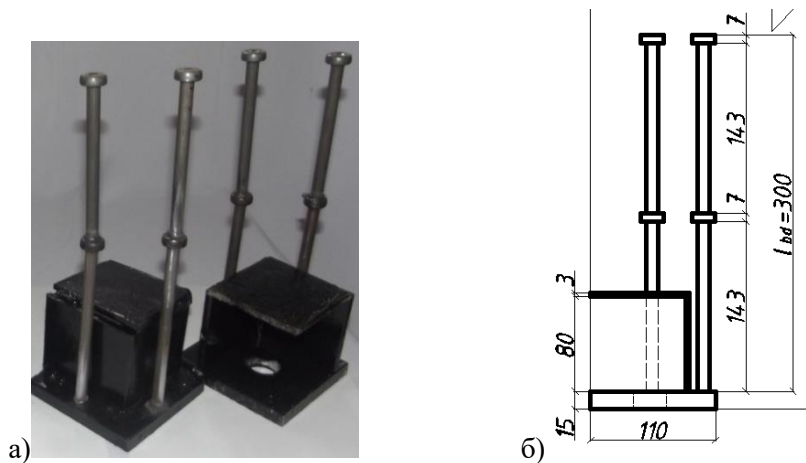


Рис. 2. Загальний вигляд (а) і конструктивні розміри (б) запропонованих закладних деталей

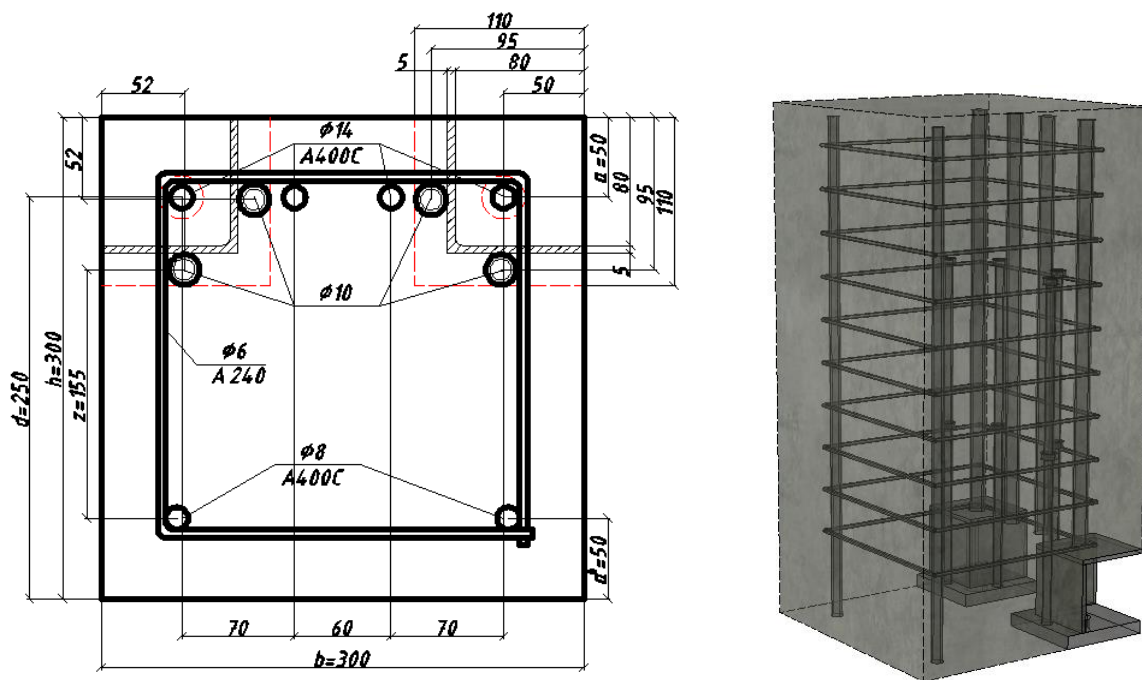


Рис. 3. Схема армування та модель фрагменту колони дослідних зразків

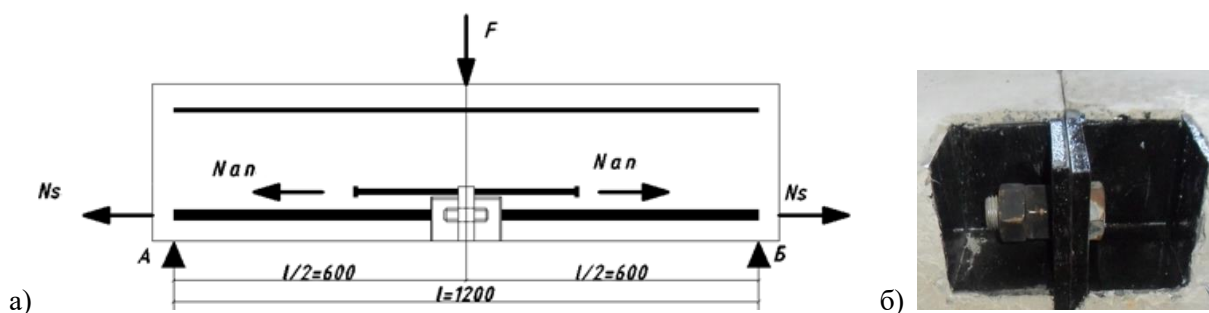


Рис. 4. Схема випробування дослідних зразків (а), загальний вигляд болтового з'єднання фрагментів колон (б)

Фактичні деформації в анкерних стрижнях фіксувалися за допомогою тензорезисторів з базою 20 мм на паперовій основі. Останні розташовувалися по довжині стрижнів у таких місцях (рис. 5):

- у місці приварювання анкера до пластины кріплення;
- під висадженою головкою першого анкера;
- у місці приварювання другого анкера до висадженої головки першого.

Зразки випробовувалися після досягнення проектної міцності, але не раніше як через 28 діб, на дію короточасного навантаження в лабораторії кафедри «Технології будівельних

конструкцій, виробів та матеріалів» Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Випробування проводилися на гідравлічному пресі ПГ-100 у горизонтальному положенні.

Визначення фізико-механічних характеристик арматурної сталі виконувалося за вимогами роботи [5]. Випробування зразків проводилися ступенево-зростаючим навантаженням на розривній машині МР-500 лабораторії кафедри «Залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів». За результатами випробувань арматура Ø14 А400С мала межу текучості  $R_{yn} = 402$  МПа, а Ø6 А240 –  $R_{yn} = 285,4$  МПа.

Межа текучості гнучких анкерів відповідно до сертифікату якості виробника становила  $R_{yn} = 408$  МПа.

Міцність бетону визначалась у відповідності з роботою [6] шляхом випробування на стиск стандартних бетонних кубиків і призм. За результатами випробувань були отримані такі значення фізико-механічних

характеристик бетонних зразків: нормативна кубикова міцність  $\bar{\sigma}_{bk}^n = 21,7$  МПа; нормативна

призмова міцність бетону на стиск  $\bar{\sigma}_{bpr}^n$  (клас бетону В) = 19,83 МПа.

На рис. 6 наведено загальний вигляд дослідних зразків, прийнятих до випробування.

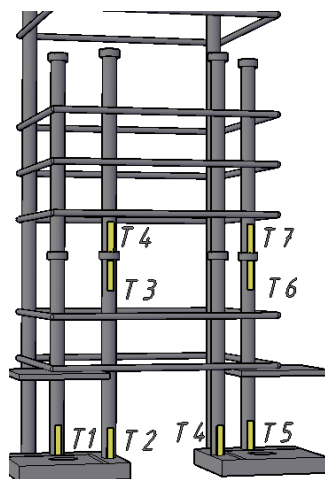


Рис. 5. Схема розташування електротензорезисторів і процес їх фіксації



Рис. 6. Загальний вигляд дослідних зразків, прийнятих до випробування

Навантаження прикладалося ступенями, що дорівнювало 1/10 – 1/20 руйнуючого з 3...5-хвилинною витримкою, протягом яких знімались показники з електротензорезисторів, записувались показники прогинів, проводився огляд зразків, фіксувалась поява тріщин. Прогини конструкції відносно горизонтальної осі вимірювались за допомогою прогинуміра годинникового типу ПАО-6.

Відліки з електротензорезисторів знімались за допомогою приладу «АИД-4».

На рис. 7 зображено дослідний зразок у процесі випробування.

У якості граничного стану за несучою здатністю було прийнято стан, при якому значення поздовжніх деформацій гнучких анкерів досягали межі текучості.

На рис. 8 наведено графік зростання поздовжніх деформацій анкерних стрижнів.



Рис. 7. Дослідний зразок у процесі випробування

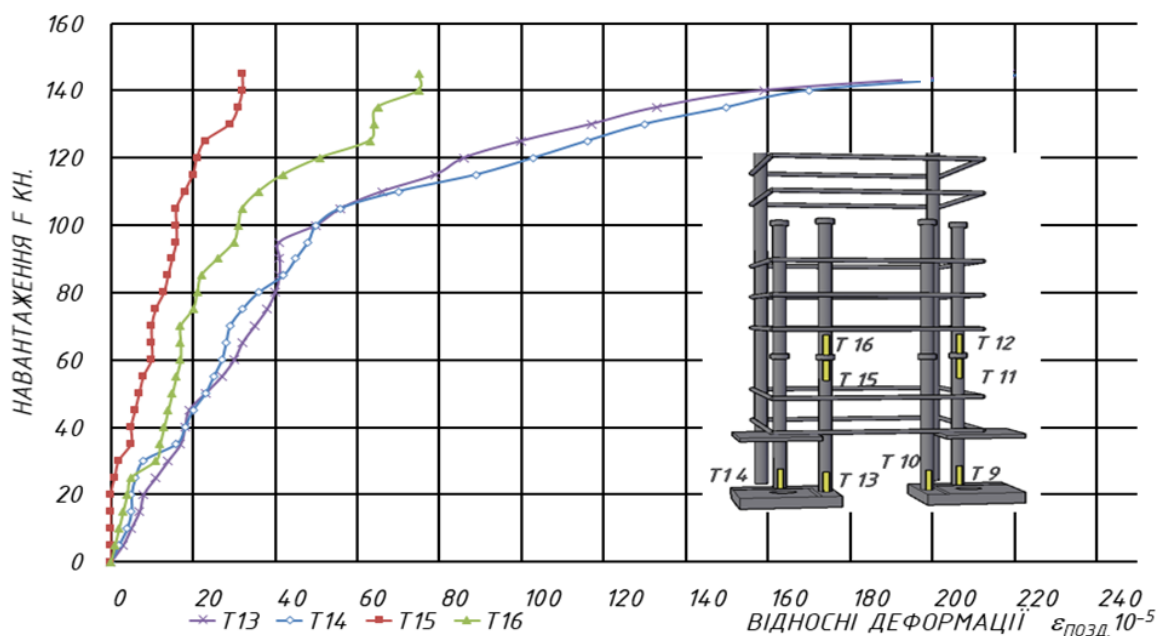


Рис. 8. Графік зростання поздовжніх деформацій анкерних стрижнів

Аналіз графіків поздовжніх деформацій вказує на те, що найбільші напруження виникають у місцях приварювання анкерних стрижнів до пластин кріплення. Максимальні значення поздовжніх деформацій при досягненні межі текучості становили  $\epsilon_{\text{поз}} = 195 \cdot 10^{-5}$  при  $\sigma_s = 408 \text{ МПа}$ .

Межі текучості зразки досягли при навантаженні  $F_{\text{експ.}} = 145 \text{ кН}$ .

Теоретична несуча здатність закладних деталей при характеристичних значеннях механічних властивостей анкерних стрижнів, за розрахунками, становила 132 кН, що на 9 % менше від експериментального значення. А при розрахункових значеннях механічних властивостей анкерних стрижнів – 86 кН, відповідно розбіжність з результатами експериментальних досліджень становить 40 %.

На рис. 9 зображено закладні деталі після випробування.





Рис. 9. Загальний вигляд закладної деталі після випробування

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Результати експериментальних досліджень запропонованих закладних деталей вказують на можливість їх використання в системі кріплення залізобетонних колон. Характер руйнування відповідав прикладеному навантаженню. Висаджені головки анкерних стрижнів забезпечили надійне кріплення закладних деталей у тілі бетону. Руйнування дослідних зразків відбувалося внаслідок досягнення анкерними стрижнями межі текучості, при цьому резерв несучої здатності порівняно з теоретичними розрахунками становить 9 %.

#### *Список використаних джерел*

1. Peikko groupe. Каталог «Башмаки колонн НРКМ, РРКМ, РЕС» [Текст]. – СПб., 2005. – 20 с.
2. Europäische Technische Zulassung ETA-03/0041, 30 Seiten einschliesslich 7 Anhänge, EOTZ, 2003. – 36 p.
3. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будинків і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 296 с.
4. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд, 2011. – 71 с.
5. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытаний на растяжения [Текст]. – М.: Стройиздат, 1986. – 14 с.
6. ДСТУ Б В.2.7-217:2009. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 16 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.В. Семко

---

Малюшицький Олександр Володимирович, канд. техн. наук, кафедра архітектури та міського будівництва  
Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. E-mail:  
malush.alexander@gmail.com.

Malushytskyy Alexander Vladimirovich, Ph. D, the department of architecture and urban construction, Poltava National  
Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail: malush.alexander@gmail.com.

Стаття прийнята 29.10.2015 р.

УДК 624.131.24:38

**ПРЕСИОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТИСЛИВОСТІ ПІЩАНИХ ОСНОВ, ЗАКРІПЛЕНИХ ГРУНТОЦЕМЕНТОМ**

Асп. В.Г. Іванченко

**ПРЕССИОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЖИМАЕМОСТИ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОЦЕМЕНТОМ**

Асп. В.Г. Иванченко

**PRESSIOMETRIC OF RESEARCH OF SANDY BASE COMPRESSIBILITY STRENGTHENED WITH THE SOIL-CEMENT USING**

Postgraduate V.G. Ivanchenko

*У роботі наведено результати обчислювального експерименту пресіометричних випробовувань піску. Встановлено залежності горизонтальної деформації ґрунту від тиску, розмірів і співвідношення сторін зонда пресіометра в закріпленій основі. Створено метод дослідження стисливості основи, що підсилена ґрунтоцементом, шляхом проведення пресіометричних випробовувань.*

**Ключові слова:** ґрунтова основа, пресіометричний метод, ґрунтоцемент, параметри зонда, стисливість ґрунту.

*В работе приведены результаты вычислительного эксперимента прессиометрических испытаний лёссового суглинка. Установлены зависимости горизонтальной деформации грунтов от давления, размеров и соотношения сторон зонда прессиометра в закреплённой основе. Создан метод исследования основы, которая усилена грунтоцементом по буромесительной технологии, путем проведения прессиометрических испытаний.*

**Ключевые слова:** ґрунтовое основание, прессиометрический метод, ґрунтоцемент, параметри зонда, сжимаемость ґрунта.

*The paper highlights the results of the calculation study of the pressiometric tests in the sandy. A stress-strain state (SSS) of the system “soil base – pressiometer probe – hard soil-cement elements” is considered in the process of calculation experiment for resolving the elastoplastic task of soil mechanics using PC PLAXIS 3D Foundation, and based on these data to define the optimum probe parameters ensuring maximum compressible mass versus the technical capabilities of the hydraulic pressiometers. The lateral soil deformation under the pressure, pressiometer probe sides and dimensions ratio, presence of soil-cement reinforcing elements in the foundation have been determined. The scientific originality stipulates development of the method allowing adequately assessing the compressibility of a base on the full depth strengthened with the reinforcing soil-cement elements prepared. Method development for assessment of the base on its complete thickness strengthened with the reinforcing soil-cement by the pressiometry tests.*

**Keywords:** soil base, pressiometric tests, soil-cement, probe parameters, soil compressibility.

**Вступ.** Сприйняття постійно зростаючих навантажень на основу сучасних будівель і споруд потребує її перевірки на надійність, тобто контролю якості даної основи. Державними будівельними нормами України [1] передбачено підсилення слабких основ шляхом армування їх жорсткими елементами, які пронизують ґрунт у вертикальному, похилому і горизонтальному напрямках для

покращення механічних властивостей основи. Використання ґрунтоцементу є ефективним напрямком зниження вартості фундаментобудування, адже використовуються ґрунти в якості матеріалу для зведення фундаментів, що залягають в основі об'єктів будівництва. Улаштування ґрунтоцементних елементів можливе в різноманітних ґрунтах: від мулів і торфів до “слабких” півскельних порід,

незалежно від їх хімічного складу, вологості, рослинних залишків, проникності та інших характеристик. Перевірка таких основ на стисливість є невід'ємною частиною при будівництві відповідальних будівель і споруд.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** У польових умовах дослідження стисливості основ проводиться штампами різних розмірів. Стандартним вважається жорсткий круглий штамп площею 5000 см<sup>2</sup>. Такий штамп використовується переважно при дослідженнях з поверхні Землі або з відмітки дна котлована. За необхідності дослідження більш глибоких шарів основи для встановлення штампів необхідно буріння свердловин великого діаметра або проходження шурфів для встановлення штампа [2, 3]. При пошаровому дослідженні основ необхідна циклічність процесу «буріння свердловини – випробовування штампом». На наш погляд, більш технологічними слід вважати випробовування ґрунтів пресіометрами у свердловинах, які попередньо пробурені на всю глибину досліджень. Відмінність штампових і пресіометричних досліджень полягає в навантаженні ґрунтів у перпендикулярних напрямках.

Актуальним є розроблення методу, що адекватно дає змогу оцінити стисливість основи, яку підсилено армуючими ґрунтоцементними елементами, що виготовлені за бурозмішувальним методом, за усією її глибиною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз низки досліджень вчених [4, 5] показує, що пресіометричний метод випробовування застосовується в глинистих ґрунтах природнього стану, при цьому використовується конструкція з малим діаметром зонда пресіометра. У роботі [6] розглянуто пресіометричні дослідження у природньому ґрунті без підсилення. Для перевірки якості армованих ґрунтів частіше за все застосовують метод статичного вдавлювання штампа [2]. Стандартний штамп економічно і технічно недоцільно встановлювати в шурфах і свердловинах [3]. Використання штампів великих розмірів для оцінювання стисливості армованої основи дозволяє оцінити лише невелику її товщу. Для квадратних штампів вказаних розмірів ця

товща складає лише два їх діаметра, тобто 2,0–2,5 м [7]. Для південних районів України товща просадочних ґрунтів складає 25 м і навіть більше. Великий штамп недоцільно встановлювати на такій глибині. Тому необхідно використовувати інші методи визначення стисливості армованих основ.

При цьому виникає необхідність використання зонда пресіометра з достатніми розмірами стислої товщі [8]. Для штампів численними дослідженнями встановлено, що глибина стислої товщі залежить від розмірів, співвідношення сторін прямокутного штампа, величини тиску на ґрунт [7]. Причому в публікаціях [8-10] питання випробувань основ, армованих ґрунтоцементними елементами за бурозмішувальним методом, не розглядалося. Для пресіометричних досліджень необхідно встановлювати експериментально залежність параметрів зонда від модуля деформації армованої основи.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Мета роботи полягає в оцінці напружено-деформованого стану (НДС) системи «Основа – зонд пресіометра – ґрунтоцементні елементи» шляхом проведення обчислювального експерименту за допомогою ПК PLAXIS 3D Foundation.

Для досягнення поставленої мети треба виконати такі завдання:

- провести моделювання пресіометричного дослідження у природньому стані ґрунту;
- встановити оптимальні параметри зонда, тобто такі, що забезпечують максимальну стисливу товщу при технічних можливостях пресіометра конструкції Д-76 [4] в армованому масиві (рис. 1);
- порівняти результати обчислювального експерименту з натурними випробовуваннями, проведеними на будівельному майданчику.

У геотехнічній практиці для оцінювання механічних властивостей ґрунтів у польових умовах використовують методи статичного і динамічного зондування та випробовування пресіометрами різних конструкцій. Всі ці методи можна використовувати для оцінювання стисливості армованих ґрунтів, коли користуються принципом, що за наявності горизонтальної складової напружень, яка створюється в процесі випробовувань (при зондуванні це розпір при зануренні конуса, а при пресіометрії взагалі маємо справу лише з горизонтальними напруженнями), тобто зонд

відчуває перепопу, яка знаходиться в межах горизонтально орієнтованої стисливої товщі. При цьому опір стисненню ґрунту збільшується. Модуль деформації такої основи буде вищим, ніж подібної, але без перепопи. У даному випадку такою перепопою слугують ґрунтоцементні елементи армування основи (рис. 1).

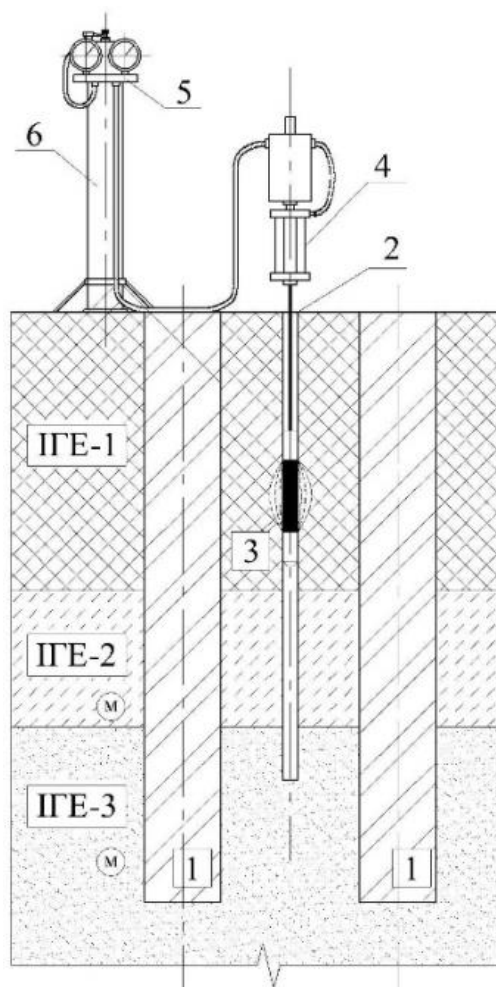


Рис. 1. Схема встановлення зонда пресіометра в армованому масиві:

1 – ґрунтоцементні елементи; 2 – бурова свердловина; 3 – зонд пресіометра; 4 – водомірний вузол; 5 – манометри; 6 – балон зі стиснутим газом

Проведення таких експериментальних досліджень потребує виготовлення додаткового обладнання, достатньої кількості випробовувань у польових умовах. Слід також зважати на той факт, що розміри зонда, з одного боку, обмежуються розмірами свердловини, а з іншого – потужністю

навантажувальної системи пресіометра. Вирішити поставлене завдання можливо шляхом проведення обчислювального експерименту з використанням одного з сучасних програмних комплексів, який використовує метод скінченних елементів.

**Основна частина дослідження.** Програмний інструментарій, який входить до складу ПК PLAXIS 3D Foundation, дозволяє виконувати геометричне й скінченно-елементне моделювання фізичних конструкцій, задавати початкові та остаточні граничні умови навантаження, які безпосередньо є крайовими задачами для їх подальшого розрахунку [10].

На вибір моделі впливають вимоги використання фізичних рівнянь, які спираються на основні параметри механічних властивостей ґрунтів, що визначають за стандартними чи близькими до них методиками. У моделі використано відомі гіпотези механіки ґрунтів:

1. Ґрунт у межах СЕ приймають за однорідне ізотропне середовище.

2. При деформаціях зберігається суцільність ґрунтового масиву.

3. Зміна значень фізико-механічних властивостей ґрунту за інших рівних умов є функцією зміни його коефіцієнта пористості.

4. Як і в інших сучасних теоріях, деформації формозміни в загальному випадку нелінійні, тобто зв'язок між компонентами девіатора напружень і деформацій нелінійний. Навантаження – просте (компоненти девіатора напружень зростають пропорційно одному параметру). Зберігається співвісність тензорів напружень і деформацій.

Розрахункова схема являє собою ідеалізовану модель об'єкта (рис. 2).

Вона автоматично розділяється на скінченні елементи. У результаті такого ділення з'являються вузли. Елементи і вузли нумеруються починаючи з нижніх і с початку системи координат.

Розміри розрахункової зони встановлено таким чином:

– бічні межі прямокутної розрахункової зони прийняті на достатній відстані від бічної поверхні стінки свердловини з урахуванням максимально очікуваної потужності стисливої товщі зонда з умови заборони горизонтальних переміщень, концентрації напружень і ущільнення ґрунту на контакті з зовнішньою межею розрахункової зони;

– верхню горизонтальну межу розрахункової зони розміщують на рівні поверхні землі (котлована);

– за глибину розрахункової зони прийнято нижню межу стисливої товщі підсиленої основи.

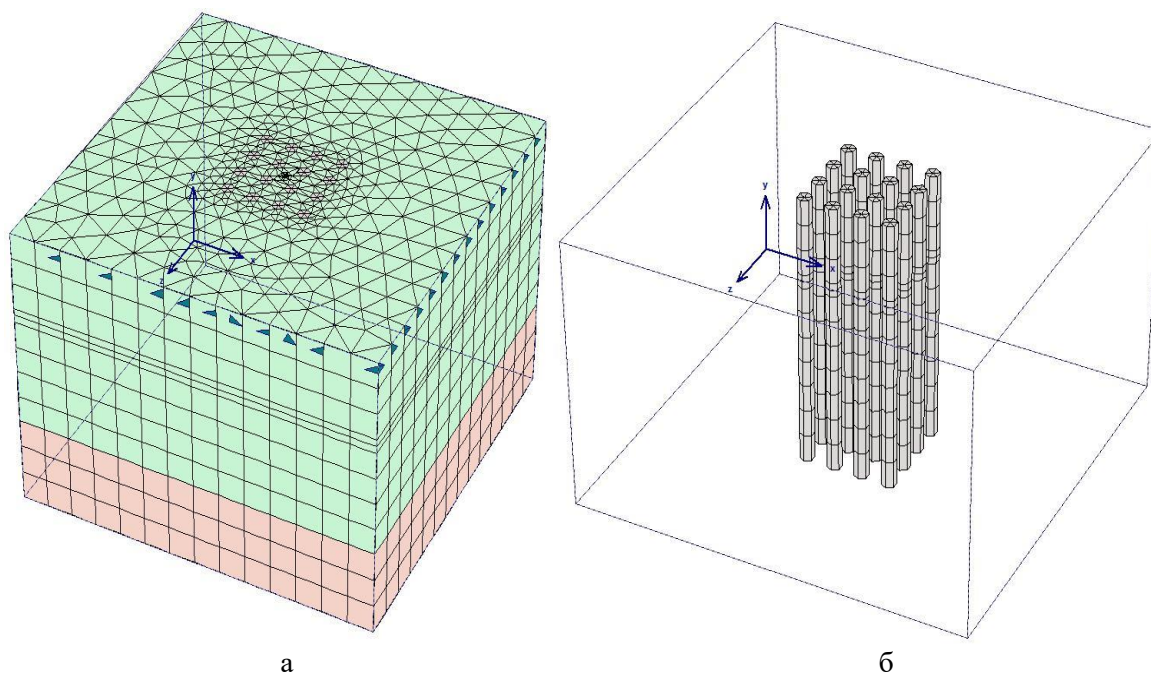


Рис. 2. Розрахункова схема системи «основа – зонд пресіометра – ґрунтоцементні елементи»: а – загальний вигляд; б – положення ГЦЕ

Вихідні дані для розрахунку приймалися за даними лабораторних досліджень відповідно до ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96) і ДСТУ Б В.2.1-5-96 (ГОСТ 20522-96). Призову

міцність  $\sigma_{пр}$  і модуль деформації  $E$  ґрунтоцементу визначали за результатами випробовувань зразків на одноосьове стиснення. Ці дані наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики матеріалів для розрахунку в Plaxis 3D Foundation

Матеріал	Питома вага $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Модуль деформації $E$ , МПа	Питоме зчеплення $c$ , кПа	Кут внутрішнього тертя $\phi$ , град	Коефіцієнт Пуассона $\nu$
Пісок пилюватий	18,8	8	8	25	0,3
Ґрунтоцемент	18,2	80	100	22	0,2

Розрахункові області подано прямокутниками на площині. Границям області задано такі умови, які виключають будь-яке переміщення. За вертикальними границями встановлено лише горизонтальні опори, які дозволяють тільки вертикальне переміщення, верхня границя без в'язів. Навантаження приймалися з розрахунку несучої здатності основи.

На рис. 3 у вигляді тестової задачі наведено результати обчислювального експерименту пресіометричних випробовувань для встановлення залежностей горизонтальної деформації ґрунту  $u$ , см, у природній основі (до її армування ГЦЕ) при постійному діаметрі зонда 10.8 см, і змінних висоти циліндричного зонда  $h$ , см, площі  $A$ , см<sup>2</sup>, і тиску за його поверхнею  $\sigma$ , МПа.

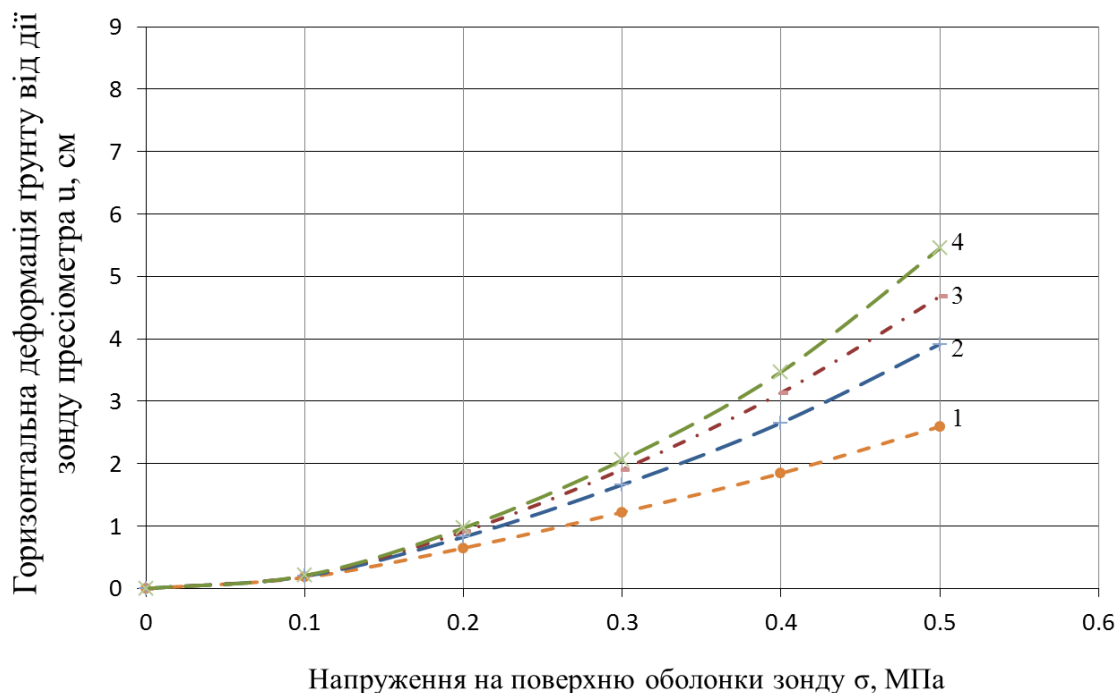


Рис. 3. Графіки залежності деформацій піщаного ґрунту від напружень і відстані між осями ГЦЕ: 1 – 80 см; 2 – 100 см; 3 – 120 см; 4 – 150 см

У результаті проведеного обчислювального експерименту отримано пресіометричні криві, за даними яких складено табл. 2, у якій значення модуля деформації  $E_n$  розраховано за рівнянням, складеним на основі формули Шлейхера та  $E_p$  – рекомендаціями ДБН [1]:

$$\dot{A}_l = (1 + \nu) b \frac{\sigma}{u}, \quad (1)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона;  
 $b$  – довжина кола зонда пресіометра, см;  
 $\sigma$  – тиск на ґрунт за поверхнею зонда пресіометра;  
 $u$  – горизонтальна деформація ґрунту.

Таблиця 2

Співставлення значень модулів деформації, отриманих за пресіометрією і розрахунком за ДБН [1]

Крок ГЦЕ $l$ , см	Модуль деформації за пресіометрією $E_n$ за рівнянням (1) при тиску зонда пресіометра на ґрунт $\sigma$ , МПа						Модуль деформації $E_p$ за ДБН
	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	
150	4.33	3.33	2.85	2.57	2.39	2.25	16,11
120	4.54	3.53	3.023	2.74	2.56	2.43	19,54
100	4.89	3.86	3.36	3.08	2.90	2.78	23,74
80	5.88	4.85	4.33	4.05	3.88	3.76	31,48

Коефіцієнт  $\lambda$  дорівнює співвідношенню розрахункового модуля деформацій ( $E_p$ ) до пресіометричного модуля ( $E_n$ ). Рівняння двофакторного аналізу з результатом співвідношення ( $\lambda = E_p/E_n$ ) на 28 значення:

$$\lambda = 16,43 \sigma - 0,0221 + 4,49 \quad (2)$$

за умови, що  $E_n$  змінюється від 2,25-5,88 МПа,  $\sigma$  від 0,15-0,4 МПа та  $l$  від 80-150 см; коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,94$ , кореляції  $r = 0,96$ ;

критерій Фішера  $F_p = 172,5$ ,  $a=0,05$ , звідки  $F_{кр}(2;25) = 3,38$  – рівняння значуще;  $t$  – критерій Стьюдента:  $t_\sigma = 17,5$ ;  $t_l = 6,12$ ;  $t_0 = 9,37$  при  $t_{кр}(0,05;25) = 2,06$  – коефіцієнти значущі.

У табл. 3 наведено значення масштабного коефіцієнта  $\lambda$  у розглянутих діапазонах

параметрів рівняння (2). Оцінюючи отримані результати в табл. 3, маємо значення масштабного коефіцієнта  $\lambda=3,72 - 8,37$  МПа, який враховує зміну відстані між армуючими елементами та величину анізотропії.

Таблиця 3

Значення масштабного коефіцієнта  $\lambda$  залежно від відстані між ГЦЕ

Крок ГЦЕ $l$ , см	Масштабний коефіцієнт $\lambda$ залежно від тиску на ґрунт $\sigma$ , МПа					
	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
150	3.721	4.838	5.653	6.268	6.741	7.160
120	4.304	5.535	6.464	7.131	7.633	8.041
100	4.855	6.150	7.065	7.708	8.186	8.540
80	5.354	6.491	7.270	7.773	8.113	8.372

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Будівельними нормами України передбачено армовані основи. Для контролю за їх якістю передбачено низку заходів, серед яких стисливість таких основ рекомендовано оцінювати за результатами штампових випробовувань. На наш погляд, штампові випробовування недостатньо висвітлюють стисливість армованої основи за глибиною масиву, тому що штамп можливо встановити лише на поверхню армованого масиву, а стислива зона не перевищує двох його діаметрів.

Проведені дослідження спрямовано на встановлення закономірностей деформування армованих ґрунтів під тиском, що створює зонд

пресіометра. Методом досліджень використано обчислювальний експеримент, який проведено за допомогою програмного комплексу PLAXIS 3D Foundation. Складено розрахункову схему і вихідні дані для розрахунків. Внаслідок проведених досліджень встановлено залежності горизонтальної деформації ґрунту від тиску, розмірів і співвідношення сторін зонда, наявності ґрунтоцементних елементів армування. На підставі цих даних встановлено, що ці залежності взагалі відповідають аналогічним рівнянням для штампів, а кількісну різницю між ними можливо коригувати масштабним коефіцієнтом. Встановлено формулу для визначення модуля деформації армованих основ за даними пресіометричних випробовувань.

#### *Список використаних джерел*

1. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення проектування. Зміна № 1. Зміна № 2 [Текст]. – К.: Мінрегіобуд України, 2009. – 83 с.
2. Степура, И.В. Армирование лессовых грунтов оснований зданий и сооружений [Текст] / И.В. Степура, В.С. Шокарев, А.С. Трегуб [и др.] // Международная конференция по проблемам механики грунтов, фундаментостроению и транспортному строительству. – Пермь: ПГТУ, 2004. – С. 213-219.
3. Текучев, Ю.Б. О полевых испытаниях грунтов штампом малой площади [Текст] / Ю.Б. Текучев, Е.П. Канагинская // Инженерные изыскания. – 2010. – № 8. – С. 24-25.
4. Бондарик, Г.К. Методические рекомендации по определению деформационных и прочностных свойств глинистых пород методом прессиометрии [Текст] / Г.К. Бондарик, С.Л. Коренева, Д.С. Горячева. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1971. – 96 с.
5. Bahar, R. Undrained strength of clays derived from pressuremeter tests [Text] / R. Bahar, F. Baidi, O. Belhassani, E. Vincens. // European Journal of Environmental and Civil Engineering. – 2012. – Vol. 16, Issue 10. – P. 1238-1260.

6. Goh, K. Understanding the Stiffness of Soils in Singapore from Pressuremeter Testing [Text] / K. Goh, K. Jeyatharan, D. Wen // Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA. – 2012. – Vol. 43, Issue 4. – P. 21–29.
7. Цытович, Н. А. Механика грунтов [Текст] / Н. А. Цытович. – М.: Стройиздат, 1983. – 635 с.
8. Messaoud, F. Pencil pressuremeter test evaluation for developing p-y curves for driven piles [Text] / F. Messaoud, M. Nouaouria, P. Cosentino // International Journal of Recent Trends in Engineering. – 2009. – Vol. 1, Issue 6. – P. 20–24.
9. Varaksin, S. Pressuremeter for design and acceptance of challenging ground improvement works [Text] / S. Varaksin, B. Hamidi // Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, 2013. – P. 1283-1286.
10. Pruska, J. Comparison of geotechnic software – Geo FEM, Plaxis, Z-soil [Text] // Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds. – Proceedings of the XIII-th European conference on soil mechanics and geotechnical engineering. – Prague, 2003. – P. 819 – 824.

Рецензент д-р техн. наук, професор Ю.Л. Винников

---

Иванченко Володимир Григорович, аспірант, кафедра видобування нафти і газу та геотехніки, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. E-mail: zaw78@mail.ru. Тел.: 099 37-80-977, 097 512 66 15.

Ivanchenko Vladimir, Postgraduate student, department of oil and gas industry and geotechnique, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail: zaw78@mail.ru.

Стаття прийнята 03.11.2015 р.

УДК 624.042

### ОБҐРУНТУВАННЯ АНАЛІТИЧНОГО ПІДХОДУ ДО ДИНАМІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ВИСОТНИХ СПОРУД ПРОСТОЇ АРХІТЕКТУРНОЇ ФОРМИ НА ДІЮ ВІТРУ

Д-р техн. наук А.В. Махінько, канд. техн. наук Н.О. Махінько

### ОБОСНОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ДИНАМИЧЕСКОМУ РАСЧЁТУ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОСТОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ ФОРМЫ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРА

Д-р техн. наук А.В. Махінько, канд. техн. наук Н.А. Махінько

### THE RATIONALE OF ANALYTICAL APPROACH TO DYNAMIC ANALYSIS OF HIGH-RISE BUILDINGS WITH SIMPLE ARCHITECTURAL FORMS ON WIND LOADS

Doct. of techn. sciences A. Makhinko, cand. of techn. sciences N. Makhinko

*У статті наведено чисельно-аналітичну методіку для визначення вітрових навантажень на висотні споруди простої архітектурної форми. Враховано імовірнісну природу турбулентних пульсацій швидкості вітру і динамічні характеристики споруд. Оцінку пульсаційної складової вітрових впливів обмежено першою формою власних коливань. Для уникнення складних математичних перетворень всі положення викладено відносно висотних споруд із домінантною реакцією вздовж вітрового потоку.*

**Ключові слова:** *атмосферна турбулентність, спектр пульсацій швидкості вітру, коефіцієнт лобового опору, функція когерентності, динамічний аналіз.*

*В статье приведена численно-аналитическая методика для определения ветровых нагрузок на высотные сооружения простой архитектурной формы. Учтена вероятностная природа*



турбулентных пульсаций скорости ветра и динамические характеристики сооружений. Оценка пульсационной составляющей ветровых воздействий ограничена первой формой собственных колебаний. Во избежание сложных математических преобразований все положения изложены относительно высотных сооружений с преобладающей реакцией вдоль ветрового потока.

**Ключевые слова:** атмосферная турбулентность, спектр пульсаций скорости ветра, коэффициент лобового сопротивления, функция когерентности, динамический анализ.

*Along-wind vibrations of structures present one of the most well-know subjects in the field of wind engineering. This is due, on the one hand, to the relative simplicity of the excitation mechanism the longitudinal turbulence, and, on the other hand, to the gust factor technique, a method as simple as it is reliable. Despite this fact, probabilistic character of wind turbulence is very often place emphasis only and probabilistic character of the mean wind is not considered. In building codes this approach seems justified. But in probabilistic design this approach leads to underestimations of construction reliability. High-rise buildings belong to a class of slender vertical structures. The accuracy of dynamic analysis of these structures first of all depends on adequate description of stochastic model of wind load (mean wind and atmospheric turbulence). Besides, the method of dynamic analysis should consider spatial variability of wind velocity and should be correct and simple. Faced with growing of the problem and the evident lack of engineering design criteria, this paper formulates a mathematical model of the dynamic analysis of slender vertical structures subjected to gust-excited along-wind vibrations.*

**Keywords:** atmospheric turbulence, spectrum of wind velocity pulsations, drag coefficient, coherence function, dynamic analysis.

**Вступ.** Вплив вітру на висотні об'єкти та їх реакція на цей вплив являють собою складні фізичні явища, які намагаються описати різними, іноді суперечливими, математичними моделями. Саме тому проблема їх досліджень та наукового обґрунтування викликає значний інтерес і залишається актуальною на сьогоднішній день.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Визначення вітрових впливів на висотні споруди в зарубіжній і вітчизняній практиці ґрунтується на різних методологічних основах. І якщо в описі статичної складової вітрового навантаження особливих відмінностей не спостерігається, то пульсації вітру були і залишаються предметом численних дискусій. Із виходом ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» принципи нормування вітрових впливів на конструкції кардинально змінилися порівняно зі СНиП 2.01.07-85. Це викликано, по-перше, уточненням розрахункових значень навантажень; по-друге, прагненням узгодити вітчизняну нормативну базу з системою стандартів Eurocode. Нововведений ДБН став предметом активних дискусій і нарікань стосовно його необхідності та методики визначення навантажень, зокрема вітрових. І якщо з одними зауваженнями можна погодитися і вимагати їх врахування, то інші –

це плід методологічних відмінностей у принципах збору вітрових навантажень у європейських країнах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемі динамічного розрахунку висотних споруд присвячено величезну кількість робіт вітчизняних і закордонних дослідників. Ці роботи залишили свій відбиток на теорію динаміки споруд і багато в чому вплинули на сьогоднішній стан нормативної бази в галузі вітрових впливів на будівлі та споруди. До визнаних класиків wind engineering можна по праву віднести А. Davenport, М.Ф. Барштейна, А. Kareem, В.І. Vickery, W. Clark, А. Tallin, В. Elingwood, G. Solary [4, 5, 8-10], які сформували сьогоднішнє «бачення» вітрового навантаження очима рядового інженера-проектувальника. Зокрема з іменем М.Ф. Барштейна асоціюється методика розрахунку висотних споруд на динамічну дію вітру у СНиП 2.01.07-85, а з іменами А. Davenport та G. Solary – у загальноєвропейських нормах Eurocode, яка і покладена в основу українського національного стандарту.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Обґрунтування можливих шляхів визначення вітрових навантажень на висотні споруди, не критикуючи жоден із згаданих нормативних документів, а навпаки, раціонально поєднуючи методику СНиП 2.01.07-85 із методологічними принципами опису вітрового навантаження у

ДБН В.1.2-2:2006 та загальноєвропейських нормах Eurocode 1.

**Основна частина дослідження.**

Розрахункова схема висотної будівлі схематизується, як відомо, у вигляді консолі з декількома зосередженими масами  $m_i$ , розподіленими за її висотою. У місцях розташування мас прикладається навантаження

$$\ddot{x}(\tau) + 2 \cdot \dot{x}(\tau) \cdot \zeta_x \cdot (2 \cdot \pi \cdot n_{x,1}) + x(\tau) \cdot (2 \cdot \pi \cdot n_{x,1})^2 = f_x(z, \tau) / m, \quad (1)$$

де  $\zeta_x$  та  $n_{x,1}$  - коефіцієнт відносного демпфірування та перша частота вільних коливань одномасової консолі:

$$n_{x,1} = (1 / 2 \cdot \pi) \cdot \sqrt{3EI / (m \cdot H^3)}.$$

Складність розв'язання даної системи обумовлюється стохастичною взаємозалеж-

$$S_{f,x}(z_1, z_2, n) = 4 \cdot F_x(z_1) \cdot F_x(z_2) \cdot I_u(z_1) \cdot I_u(z_2) \cdot S_{uu,ref}(z_1, z_2, n), \quad (2)$$

де  $F(z)$  - статична складова вітрового навантаження;

$I_u(z)$  - інтенсивність турбулентності в напрямі потоку.

На жаль, структура цього виразу доволі незручна для математичного маніпулювання не тільки в імовірнісних, але й в детермінованих розрахунках висотних споруд. Тому

$$S_{uu,ref}(z_1, z_2, n) = \sqrt{S_{u,ref}(z_1, n) \cdot S_{u,ref}(z_2, n)} \cdot coh_u(z_1, z_2, n). \quad (3)$$

Залишаючи останню поза увагою, розглянемо відношення точкових спектрів пульсацій на висотах  $z_1$  та  $z_2$ . Для цього представимо вертикальний профіль середнього вітру  $\phi_u(z)$ , інтенсивність турбулентності  $I_u(z)$  та інтегральний поздовжній масштаб довжини турбулентності  $L_u(z)$  у вигляді

$$\phi_u(z) = \beta_u \cdot (z / 10)^{\alpha_u}, \quad (4)$$

$$I_u(z) = \gamma_u \cdot (z / 10)^{-\alpha_u}, \quad (5)$$

$$L_u(z) = L_{u,0} \cdot (z / 10)^{\beta_u}, \quad (6)$$

$f_x(z, \tau)$ , яке не тільки визначається аеродинамічними характеристиками мас, але й кроком їх розташування. Для оцінки реакцій споруди в напрямі потоку необхідно розв'язати систему диференціальних рівнянь, кожне з яких має таку саму форму запису, як й рівняння споруди з одним ступенем вільності:

ністю аеродинамічних сил  $f_x(z, \tau)$  у правій частині виразу (1). Центральне місце в описі цієї залежності займає взаємний спектр пульсацій вітрового навантаження  $S_{f,x}(z_1, z_2, n)$ , який пропорційний взаємному спектру пульсацій швидкості вітру:

представляється корисним перш за все розглянути питання зі спрощення даного виразу.

Взаємний спектр пульсацій швидкості вітру  $S_{uu,ref}(z_1, z_2, n)$  визначається точковими спектрами пульсацій  $S_{u,ref}(z_i, n)$  і функцією просторової когерентності  $coh_\epsilon(z_1, z_2, n)$ :

де  $\alpha_u = 0.15$ ,  $\beta_u = 1.0$ ,  $\gamma_u = 0.152$ , м,  $L_{u,0} = 200$  м,  $\mathcal{G}_u = 1/8$  - безрозмірні параметри для відкритої місцевості;  
 $\alpha_u = 0.25$ ,  $\beta_u = 0.63$ ,  $\gamma_u = 0.356$ ,  $L_{u,0} = 100$  м,  $\mathcal{G}_u = 1/3$  - безрозмірні параметри для міської забудови.

Також візьмемо до уваги сталість відношень  $I_v(z) / I_u(z) = e_\sigma = const$  і  $L_v(z) / L_u(z) = e_L = const$ . Покладаючи в першому наближенні, що в діапазоні практично важливих висот  $B_\epsilon \cdot \xi_\epsilon^{D_\epsilon} \gg 1.0$ , отримаємо

$$\mathfrak{S}_{\epsilon}(z_1, z_2) = \sqrt{\frac{S_{\epsilon,ref}(z_1, n)}{S_{\epsilon,ref}(z_2, n)}} = \sqrt{\left(\frac{\xi_{\epsilon,1}}{\xi_{\epsilon,2}}\right)^{C_{\epsilon}} \cdot \left(\frac{1 + B_{\epsilon} \cdot \xi_{\epsilon,2}^{D_{\epsilon}}}{1 + B_{\epsilon} \cdot \xi_{\epsilon,1}^{D_{\epsilon}}}\right)^{E_{\epsilon}}} \approx \left(\frac{\xi_{\epsilon,1}}{\xi_{\epsilon,2}}\right)^{\frac{C_{\epsilon} - D_{\epsilon} \cdot E_{\epsilon}}{2}} = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^{\mu_{\epsilon}}, \quad (7)$$

де показник ступеня  $\mu_{\epsilon}$  визначається через константи спектра та параметри вертикального профілю середнього вітру  $\alpha$  і масштабу турбулентності  $\mathcal{G}$ :

$$\mu_{\epsilon} = 0.5 \cdot (C_{\epsilon} - D_{\epsilon} \cdot E_{\epsilon}) \cdot (\mathcal{G} - \alpha). \quad (8)$$

Наприклад, для спектрів Соларі [1, с. 146]  $C_u = D_u = C_v = D_v = 1$ ,  $E_u = E_v = 5/3$ , а тому показник  $\mu_{\epsilon}$  набуває простого визначення:

$$\mu = \mu_u = \mu_v = (\alpha - \mathcal{G}) / 3. \quad (9)$$

Спектри Кармана і Хіно для поздовжніх пульсацій мають дещо інші значення коефіцієнтів [1, с. 135]:  $C_u = 1$ ;  $D_u = 2$ ;  $E_u = 5/6$ , проте для показника  $\mu_u$  формула (9) залишається правомірною. Слід підкреслити, що вираз (8) справедливий тільки в тому випадку, якщо безрозмірна частота  $\xi_{\epsilon}$  є функцією висоти. У випадку незалежності  $\xi_{\epsilon}$  від  $z$ , наприклад при використанні спектра

Давенпорта, очевидно, що показник ступеня  $\mu_{\epsilon}$  слід покласти рівним нулю. Попутно зазначимо, що в галузі динаміки споруд доволі часто вираз для точкового спектра пульсацій записується як функція координати Моніна  $f_m = n \cdot z / U(z)$ :

$$S_{\epsilon,ref}(z, n) = \frac{1}{n} \cdot \frac{A_{\epsilon} \cdot f_m^{C_{\epsilon}}}{(1 + B_{\epsilon} \cdot f_m^{D_{\epsilon}})^{E_{\epsilon}}}. \quad (10)$$

У цьому випадку у виразі (8) слід покласти  $\mathcal{G} = 1$ . Наприклад, для спектрів Сіміу, Тельмана, Кеймала, Кареєма, Харріса та Наїто показник  $\mu_{\epsilon}$  буде дорівнювати  $\mu_u = \mu_v = (\alpha - 1) / 3$ . Таким чином, вираз (9) можна вважати певним інваріантом найбільш застосованих на сьогодні спектрів пульсацій швидкості.

У подальших міркуваннях покладемо у формулі (7)  $z_2 = H$  і запропонуємо для взаємного спектра пульсацій більш зручну формульну інтерпретацію:

$$S_{\epsilon,\epsilon,ref}(z_1, z_2, n) = S_{\epsilon,ref}(H, n) \cdot (z_1 / H)^{\mu} \cdot (z_2 / H)^{\mu} \cdot coh_{\epsilon}(z_1, z_2, n). \quad (11)$$

Конкретизувавши функцію просторової когерентності  $coh_{\epsilon}(z_1, z_2, n)$ , отримаємо розгорнутий аналог формули (11):

$$S_{\epsilon,\epsilon,ref}(y_1, y_2, n) = S_{\epsilon,ref}(H, n) \cdot y_1^{\mu} \cdot y_2^{\mu} \cdot \exp\left[-2 \cdot C_{z\epsilon} \cdot f_H \cdot \frac{|y_1 - y_2|}{y_1^{\alpha} + y_2^{\alpha}}\right], \quad (12)$$

де  $C_{z\epsilon}$  - коефіцієнти спадання експоненти для компоненти турбулентності  $\epsilon$ ;

$y_1 = z_1 / H$ ,  $y_2 = z_2 / H$  - безрозмірні висотні координати в межах  $[0 \div 1]$ ;

$f_H = n \cdot H / U(H)$  - координата Моніна при  $z$ , що дорівнює висоті споруди  $H$ .

Правомірність використання виразу (12) була перевірена для двох компонент атмосферної турбулентності в умовах рівнинної місцевості та міської забудови. Параметри вітрового режиму місцевості обирались відповідно до норм СНиП 2.01.07-85 та ASCE 7-10. Застосування функції  $\mathfrak{S}_{\epsilon}(z_1, z_2)$  замість

еталонного відношення спектрів призвело до незначної похибки, яка зменшується зі зростанням відносної висоти  $y$  та переходом від поперечних до поздовжніх пульсацій швидкості вітру. Крім того, відмінність результатів не перевищує 1.0 % для поздовжніх

і 3.0 % - для поперечних пульсацій швидкості вітру.

На підставі зроблених спрощень взаємний спектр вітрового навантаження за напрямом потоку  $S_{f,x}(y_1, y_2, n)$  запишеться як

$$S_{f,x}(y_1, y_2, n) = 4 \cdot F_x^2(H) \cdot I_u^2(H) \cdot S_{u,ref}(H, n) \cdot b(y_1) \cdot b(y_2) \cdot C_D(y_1) \cdot C_D(y_2) \times \\ \times y_1^{\alpha+\mu} \cdot y_2^{\alpha+\mu} \cdot \exp\left[-2 \cdot C_{zu} \cdot f_H \cdot |y_1 - y_2| / (y_1^\alpha + y_2^\alpha)\right] / \left[C_D^2(H) \cdot b^2(H)\right]. \quad (13)$$

Корисно проінформувати, що при записі цього виразу використовувались альтернативні форми запису середнього вітрового навантаження  $F(z)$  та інтенсивності

турбулентності  $I_u(z)$ , які легко отримати, привівнявши однакові складові у формулах (4) та (5):

$$F(z) = F(H) \cdot \left(\frac{z}{H}\right)^{2\alpha} \cdot \frac{C_D(z) \cdot b(z)}{C_D(H) \cdot b(H)}, \quad I_u(z) = I_u(H) \cdot \left(\frac{z}{H}\right)^{-\alpha}. \quad (14)$$

Очевидно, що подальша конкретизація виразу (13) залежить від функціональної залежності коефіцієнта лобового опору  $C_D(y)$ , ширини споруди  $b(y)$  і її вертикального обрису, який, зважаючи на багатоманітність висотних споруд, може мати абсолютно довільну форму. Проте розглядати поведінку функцій  $C_D(y)$  та  $b(y)$  на всьому діапазоні можливих значень аргументу  $y$  зовсім необов'язково. Це пояснюється тим, що функція просторової когерентності  $coh_u(z_1, z_2, n)$  доволі швидко прямує до нуля зі зростанням відстані  $|z_1 - z_2|$  між двома точками (див. рисунок).

На цю швидкість в основному впливають два параметри: коефіцієнт спадання експоненти  $C_{zu}$  і частота основного тону коливань споруди  $n_{x,1}$ . Різниця  $|z_1 - z_2|$  порівняно з вказаними параметрами майже не впливає на форму кривої когерентності, а тільки визначає її положення на осі абсцис. Крім того, відомо, що для заданої компоненти турбулентності коефіцієнт  $C_{zu}$  є величиною постійною, що робить частоту  $n_{x,1}$  єдиним фактором, що впливає на форму кривої  $coh_u(z_1, z_2, n)$ . На рисунку виконано побудови функції

когерентності для трьох характерних частот. Перша частота  $n_{x,1} = 0.5$  Гц стосується порівняно високих споруд  $H \approx 170 - 200$  м, друга – споруд середньої висоти  $H \approx 50 - 70$  м, а третя – невеликих споруд  $H < 30$  м. Із рисунка видно, що інтервал ненульових значень  $\Delta z$  функції когерентності порівняно з висотою споруди доволі вузький. Наприклад, у трьох зазначених вище випадках його розумно покласти відповідно  $\Delta z \approx 20$  м,  $\Delta z \approx 10$  м та  $\Delta z \approx 5$  м. Звідси випливає, що значення спектральної щільності залежатимуть від того, наскільки сильно коефіцієнт лобового опору та ширина споруди змінюються на інтервалі  $\Delta z$ . Для споруд різних конструктивних форм ця зміна несуттєва, а тому в межах висоти  $z_1 \pm \Delta z$  значення  $C_D$  та  $b$  можна вважати незалежними від висоти. Це виправдовується і тим, що при побудові розрахункової схеми споруди її розбивають на ряд розрахункових полів, у межах яких інерційно-жорсткісні характеристики вважають незмінними. У якості останнього аргументу висунутого допущення додамо, що воно дозволяє отримувати розв'язок задач динаміки споруд «у запас надійності», оскільки деякою мірою ми нехтуємо кореляцією пульсацій швидкості вітру, а це, як відомо підсилює динамічний вплив вітру.

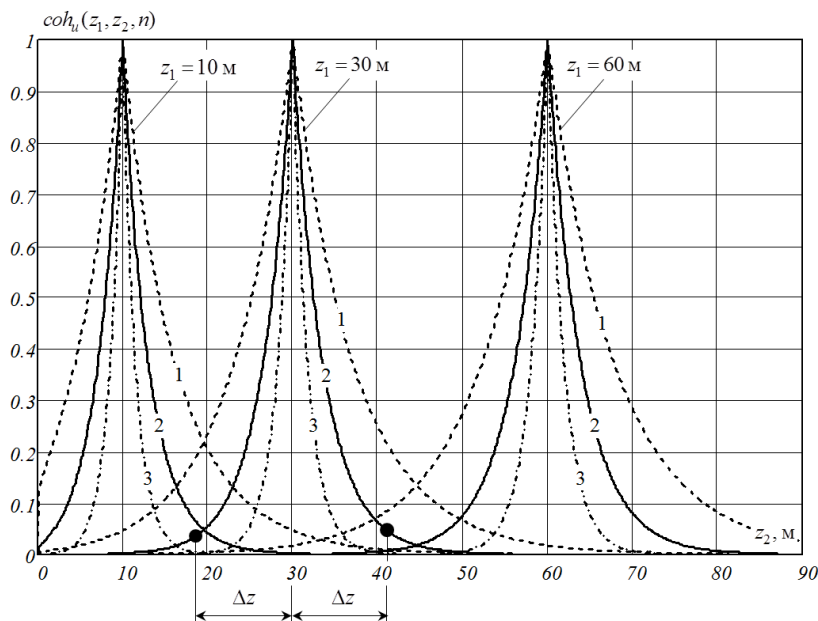


Рис. 1. Графічна інтерпретація функції просторової когерентності:  
 1 –  $n_{x,1} = 0.5$  Гц; 2 –  $n_{x,1} = 1.0$  Гц; 3 –  $n_{x,1} = 2.0$  Гц

Беручи до уваги висловлені зауваження, підставимо формули (14) у загальний вираз (13) для спектра узагальненої реакції споруди:

$$S_{r,\Lambda}(z, n) = \int_0^H \int_0^H S_{f,\Lambda}(z_1, z_2, n) \cdot \eta_{r,\Lambda}(z, z_1) \cdot \eta_{r,\Lambda}(z, z_2) dz_1 dz_2, \quad (15)$$

де  $\eta_{r,\Lambda}(\bullet)$  - коефіцієнт впливу (influence factor) для  $r$ - реакції висотної споруди [2, с. 1759; 3, с. 29],

$$\eta_{d,\Lambda}(z, z') \cong \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot n_{\Lambda,1})^2 \cdot m_{\Lambda,1}} \cdot \psi_{1,\Lambda}(z) \cdot \psi_{1,\Lambda}(z'). \quad (16)$$

Перейшовши до безрозмірних змінних  $y_1 = z_1 / H$  і  $y_2 = z_2 / H$ , матимемо

$$S_{r,x}(y, n) = 4 \cdot F_x^2(H) \cdot I_u^2(H) \cdot H^2 \cdot S_{u,ref}(H, n) \cdot b^2(y) \cdot C_D^2(y) / [C_D^2(H) \cdot b^2(H)] \times \\ \times \int_0^1 \int_0^1 y_1^{\alpha+\mu} \cdot y_2^{\alpha+\mu} \cdot \eta_{r,x}(y, y_1) \cdot \eta_{r,x}(y, y_2) \cdot \exp \left[ -2 \cdot C_{zu} \cdot f_H \cdot \frac{|y_1 - y_2|}{y_1^\alpha + y_2^\alpha} \right] dy_1 dy_2. \quad (17)$$

З іншого боку, середня складова реакції висотної споруди на будь-якому рівні  $z$  може бути виражена формулою

$$R_{r,\Lambda}(z) = \int_0^H F_\Lambda(z') \cdot \eta_{r,\Lambda}(z, z') dz'. \quad (18)$$

Застосовуючи залежності (14), запишемо:

$$R_{r,x}(y) = \frac{F(H) \cdot H}{C_D(H) \cdot b(H)} \cdot \int_0^1 y_0^{2\alpha} \cdot C_D(y_0) \cdot b(y_0) \cdot \eta_{r,x}(y, y_0) dy_0 \quad (19)$$

Нехай точна оцінка реакції  $R_{r,x}(y)$  нам відома і ми хочемо підібрати такі дві функції

$C_{D,ref}(y)$  і  $b_{ref}(y)$ , щоб вираз (19) стало можливим записати як

$$R_{r,x}(y) = \frac{F(H) \cdot H \cdot C_{D,ref}(y) \cdot b_{ref}(y)}{C_D(H) \cdot b(H)} \cdot \int_0^1 y_0^{2\alpha} \cdot \eta_{r,x}(y, y_0) dy_0 \quad (20)$$

На вигляд функцій  $C_{D,ref}(y)$  і  $b_{ref}(y)$ , які інтерпретуватимемо як умовний лобовий опір та умовну ширину споруди, не накладаємо

ніяких обмежень. Головне, щоб для заданого рівня  $y$  вони задовольняли умову

$$C_{D,ref}(y) \cdot b_{ref}(y) = \int_0^1 y_0^{2\alpha} \cdot C_D(y_0) \cdot b(y_0) \cdot \eta_{r,x}(y, y_0) dy_0 \Bigg/ \int_0^1 y_0^{2\alpha} \cdot \eta_{r,x}(y, y_0) dy_0 \quad (21)$$

Споруда з коефіцієнтом лобового опору  $C_{D,ref}(y)$  і шириною  $b_{ref}(y)$  буде еквівалентна заданій за середньою реакцією в напрямі потоку. Спектральна щільність динамічної реакції такої споруди визначатиметься за виразом (17) із

ототожненням функцій  $C_D(y) \equiv C_{D,ref}(y)$  і  $b(y) \equiv b_{ref}(y)$ . Припускаючи, що спектри заданої та еквівалентної споруди будуть відрізнятися на нескінченно малу величину, остаточно для  $S_{r,x}(y, n)$  отримаємо

$$S_{r,x}(y, n) = 4 \cdot I_u^2(H) \cdot R_{r,x}^2(y) \cdot S_{u,ref}(H, n) \cdot J_{x,1}^r(y, f_H) \cdot J_{x,2}^r(y), \quad (22)$$

де  $J_{x,1}^r(y, f_H)$  і  $J_{x,2}^r(y)$  - фундаментальні інтеграли реакції споруди.

$$J_{x,1}^r(f_H) = \int_0^1 \int_0^1 y_1^{\alpha+\mu} \cdot y_2^{\alpha+\mu} \cdot \eta_{r,x}(y, y_1) \cdot \eta_{r,x}(y, y_2) \cdot \exp \left[ -2 \cdot C_{zu} \cdot f_H \cdot \frac{|y_1 - y_2|}{y_1^\alpha + y_2^\alpha} \right] dy_1 dy_2 \quad (23)$$

$$J_{x,2}^r(y) = \left( \int_0^1 y_0^{2\alpha} \cdot \eta_{r,x}(y, y_0) dy_0 \right)^{-2} \quad (24)$$

Подальша конкретизація виразу (22) залежить від простору реакції споруди, який визначається відповідними коефіцієнтами впливу  $\eta_{r,x}(\bullet)$ , що мають різну математичну структуру. У якості прикладу розглянемо реакцію висотних споруд у просторі переміщень, оскільки саме він використовувався

А. Davenport [4, с. 12; 5, с. 189] і М.Ф. Барштейном [6, с. 93-102; 7, с. 306-309] для обґрунтування своїх квазістатичних моделей вітрового впливу на гнучкі висотні споруди.

Коефіцієнт впливу для простору переміщень  $\eta_{d,x}(\bullet)$  залежить від обраної

кривої  $\psi_{x,1}(z)$  власних коливань споруди. Аналіз багатьох робіт, наприклад [8, с. 145; 9, с. 937; 10, с. 336], дозволяє прийняти для неї степеневу залежність вигляду

$\psi_{x,1}(z) = (z/H)^\chi$ . Підставляючи цей вираз у формулу для  $\eta_{d,x}(\bullet)$ , зможемо записати:

$$\eta_{d,x}(y, y') \cong y^\chi \cdot y'^\chi / \left[ (2 \cdot \pi \cdot n_{x,1})^2 \cdot m_{x,1} \right]. \quad (25)$$

Фундаментальні інтеграли  $J_{x,1}^r(f_H, n)$  і наберуть вигляду

$$J_{x,1}^d(f_H) = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot n_{x,1})^4 \cdot m_{x,1}^2} \cdot \int_0^1 \int_0^1 y_1^\ell \cdot y_2^\ell \cdot \exp \left[ -2 \cdot C_{zu} \cdot f_H \cdot \frac{|y_1 - y_2|}{y_1^\alpha + y_2^\alpha} \right] dy_1 dy_2, \quad (26)$$

$$J_{x,2}^d(y) = (2 \cdot \pi \cdot n_{x,1})^4 \cdot m_{x,1}^2 \cdot \left( \int_0^1 y_0^{2\alpha+\chi} dy_0 \right)^{-2}, \quad (27)$$

де  $\ell = \alpha + \mu + \chi$  - узагальнений показник степеня.

Для другого інтегралу, позначивши  $Y_{d,x} = 2\alpha + \chi + 1$ , відразу маємо

$$J_{x,2}^d(y) = (2 \cdot \pi \cdot n_{x,1})^4 \cdot m_{x,1}^2 \cdot Y_{d,x}^2. \quad (28)$$

Інтеграл виразу (26) не виражається через елементарні функції і потребує залучення методів комп'ютерної математики. Для інженерних розрахунків це незручно. Крім

того, розв'язання даного інтегралу використовується при обчисленні стандарту квазістатичної реакції:

$$\sigma_{Qr,\Lambda}^2(z) = \int_0^{\Re} S_{r,\Lambda}(z, n) dn, \quad \sigma_{Br,\Lambda}^2(z) = \frac{\pi \cdot n_{\Lambda,1}}{4 \cdot \xi_{\Lambda,1}} \cdot S_{r,\Lambda}(z, n_{\Lambda,1}). \quad (29)$$

Як наслідок – наявність трикратного інтегралу, числова оцінка якого навіть для сучасного апаратного і програмного забезпечення не проста, а іноді нездійснена задача. Зважаючи на це, були виконані пошуки

альтернативної функції, яка б при тих самих параметрах, що використовуються у виразі (26), змогла б описати останній з достатньою точністю:

$$\omega_{x,1}(f_H) = \int_0^1 \int_0^1 y_1^\ell \cdot y_2^\ell \cdot \exp \left[ -2 \cdot C_{zu} \cdot f_H \cdot \frac{|y_1 - y_2|}{y_1^\alpha + y_2^\alpha} \right] dy_1 dy_2 = \frac{2}{(1+\ell)^2} \cdot \left\{ \frac{1}{f_H \cdot \ell_0} - \frac{1}{(f_H \cdot \ell_0)^2} \cdot [1 - \exp(-f_H \cdot \ell_0)] \right\}. \quad (30)$$

$$\ell_0 = C_{zu} \cdot (1+\ell)^2 / (3.7 \cdot \ell^2 + c_{const}), \quad (31)$$

де  $C_{const}$  - константа нормалізації, яка залежить від числових значень  $\ell$ ; у діапазоні можливої зміни параметрів  $\mu$ ,  $\alpha$  та  $\chi$ , а саме  $\mu = 0 \div 1$ ,  $\alpha = 0 \div 5$  та  $\chi = 1.5 \div 4$ , може бути прийнятою рівною нулю. Зазначимо, що

$$S_{d,x}(y, n) = 4 \cdot I_u^2(H) \cdot R_{d,x}^2(y) \cdot Y_{d,x}^2 \cdot S_{u,ref}(H, n) \cdot \omega_{x,1}(f_H). \quad (32)$$

Стандарт випадкового процесу динамічного переміщення  $\sigma_{d,x}(d)$  шукатимемо відповідно до дуалістичного розкладання спектра  $S_{d,x}(y, n)$  на резонансну  $\sigma_{Bd,x}(z)$  і

$$\sigma_{Bd,x}(y) = 2 \cdot I_u(H) \cdot R_{d,x}(y) \cdot Y_{d,x} \cdot \sqrt{Z_g \cdot \omega_{x,1}(f_H)}, \quad (33)$$

де  $Z_g$  - коефіцієнт динамічної чутливості висотної споруди,

$$Z_g = S_{u,ref}(n_{x,1}) \cdot \frac{\pi \cdot n_{x,1}}{4 \cdot \zeta_x}. \quad (34)$$

Цікаво відмітити, що вираз вигляду  $\sqrt{1+Z_g}$  за змістом тотожний коефіцієнту динамічності в методиці М.Ф. Барштейна, реалізованій у радянському СНиП 2.01.07-85. Проте в математичному плані – це два різних

при  $f_H \geq 2$  у виразі (30) можна знехтувати другою складовою у фігурних дужках.

Таким чином, поєднавши вирази (22), (28) і (31), для спектральної щільності переміщення споруди матимемо лаконічну замкнену форму

квазістатичну  $\sigma_{Qd,x}(z)$  складові. Для першої з них на основі другої формули (29) відразу маємо

коефіцієнти, для яких і використовуються різні назви.

Стандарт квазістатичної реакції відповідно до першого виразу (29) знаходимо шляхом інтегрування спектральної щільності (32) по частоті:

$$\sigma_{Qd,x}(y) = 2 \cdot I_u(H) \cdot R_{d,x}(y) \cdot Y_{d,x} \cdot \sqrt{\int_0^\infty S_{u,ref}(H, n) \cdot \omega_{x,1}(f_H) dn}. \quad (35)$$

Інтеграл під коренем формули (35) також не має аналітичного розв'язку і повинен знаходитися за допомогою прийомів

комп'ютерної математики. Проте виконаний нами детальний аналіз дозволив шукати його розв'язок у такій аналітичній формі:

$$\omega_{x,2}(f_H) = \int_0^\infty S_{u,ref}(H, n) \cdot \omega_{x,1}(f_H) dn = \left[ 1 - \ln\left(1 + k_1 \cdot \ell_\xi^{k_2}\right) \right] / (1 + \ell)^2, \quad (36)$$

де  $\ell_\xi = \ell_0 \cdot f_H / \xi_H$  розцінюється як добуток коефіцієнта  $\ell_0$  на відношення координати Моніна  $f_H$  до відносної частоти  $\xi_H$  на висоті  $z = H$ ; враховуючи формульне визначення  $f_H$  і  $\xi_H$ , у нагоді може стати корисним інший запис для коефіцієнта  $\ell_\xi$ :  
 $\ell_\xi = \ell_0 \cdot H / L_u(H)$ ;

$k_1$  та  $k_2$  - безрозмірні коефіцієнти, числова оцінка яких залежить від співвідношення констант спектра пульсацій.

Підстановка аналітичного рішення (36) у формулу (35) дає для стандарту квазістатичної реакції споруди просту залежність



$$\sigma_{Qd,x}(y) = 2 \cdot I_u(H) \cdot R_{d,x}(y) \cdot Y_{d,x} \cdot \sqrt{\omega_{x,2}(f_H)}. \quad (37)$$

Сумарний стандарт переміщення, як корінь квадратний із суми квадратів складових  $\sigma_{Bd,x}(z)$  і  $\sigma_{Qd,x}(z)$ , запишеться як

$$\sigma_{d,x}(y) = 2 \cdot I_u(H) \cdot R_{d,x}(y) \cdot Y_{d,x} \cdot \sqrt{\omega_{x,2}(f_H) + Z_g \cdot \omega_{x,1}(f_H)}. \quad (38)$$

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Наведені у статті пропозиції з визначення вітрових навантажень на висотні споруди, не зважаючи на певну математичну громіздкість, являють собою автономну і повністю аналітичну методику розрахунку. Дана методика, базуючись на методологічних

принципах подання вітрового навантаження в загальноєвропейських нормах Eurocode, дозволяє точно і швидко виконувати оцінку реакції висотних споруд у напрямі вітрового потоку. Методика може знайти застосування при попередньому призначенні інерційно-жорсткісних параметрів висотних будівель і споруд.

#### Список використаних джерел

1. Пичугин, С.Ф. Ветровая нагрузка на строительные конструкции [Текст] / С.Ф. Пичугин, А.В. Махінко. – Полтава: АСМІ, 2005. – 342 с.
2. Kasperski, M. The L.R.C. (Load Response-Correlation) Method - a General Method for Estimating Unfavorable Wind Load Distributions for Linear and Non-linear structural behavior [Text] / M. Kasperski, H.J. Niemann // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1992. - №41-44. – P. 1753-1763.
3. Kasperski, M. Extreme Wind Load Distributions for Linear and Non-linear Design [Text] / M. Kasperski // Engineering Structures. – 1992. - №14 – P. 27-34.
4. Davenport, A.G. Gust Loading Factors [Text] / A.G. Davenport // Journal of Structural Division. – ASCE, 1967. – vol. 93. – № 3. –P. 11-34.
5. Davenport A.G. Note on the Distribution of the Largest Value of a Random Function with Application to Gust Loading [Text] / A.G. Davenport // Proc. Instn Civ. Engrs. - London, UK, 1964. - №24. – P. 187-196.
6. Руководство по расчёту зданий и сооружений на действие ветра [Текст] / [ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко]. – М.: Стройиздат, 1978. – 216 с.
7. Справочник по динамике сооружений [Текст] / [под.ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича]. – М.: Стройиздат, 1972. – 511 с.
8. Piccardo, G. 3-D Gust Effect Factor for Slender Vertical Structures [Text] / G. Piccardo, G. Solari // Probabilistic Engineering Mechanics. – 2002. - №17. – P. 143-155.
9. Piccardo, G. 3D Wind-Excited Response of Slender Structures: Closed-Form Solution [Text] / G. Piccardo, G. Solari // Journal of Structural Engineering. - August, 2000. – Vol. 126, №8. – P. 936-943.
10. Repetto, M.P. Equivalent Static Wind Actions on Vertical Structures [Text] / M.P. Repetto, G. Solari // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2004. - Vol. 91, №12-15. – P. 335-357.

Махінко Антон Володимирович, д-р техн. наук, будівельна компанія «Етуаль». E-mail: pasargada@mail.ru.  
 Махінко Наталія Олександрівна, канд. техн. наук, кафедра комп'ютерних технологій будівництва, Національний авіаційний університет. E-mail: pasargada@yandex.ua.

Makhinko Anton, doct. of techn. sciences, Construction Company "Etual" E-mail: pasargada@mail.ru.  
 Makhinko Natalia, ph.d. in engineering, department of Computer Technology Building, National Aviation University. E-mail: pasargada@yandex.ua.

Стаття прийнята 09.11.2015 р.

УДК 004.89

## АНАЛІЗ ПРОСТОРОВОЇ ЖОРСТКОСТІ СКРІПЛЕНЬ ДО

Инж. Ю.Л. Тулей

## АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ СКРЕПЛЕНИЯ ДО

Инж. Ю.Л. Тулей

## ANALYSIS OF SPATIAL INFLEXIBILITY OF CLAMPING DO

Ing. Tuley J.L.

*У статті виконано аналіз роботи проміжних скріплень типу ДО в процесі експлуатації під дією вертикальних і горизонтальних поперечних сил.*

*Отримано математичні моделі вертикальної і горизонтальної поперечної жорсткостей, а також жорсткості рейки при крученні.*

*При визначенні найбільш точних значень жорсткостей скріплень ДО визначено необхідність враховувати значення коефіцієнтів постелі підкладки та жорсткість костилів при їх поперечному віджиманні.*

**Ключові слова:** жорсткість скріплень, коефіцієнт постелі підкладки, скріплення ДО.

*В статье выполнен анализ работы промежуточных скреплений типа ДО в процессе эксплуатации под действием вертикальных и горизонтальных поперечных сил.*

*Получены математические модели вертикальной и горизонтальной поперечной жесткостей, а также жесткости рельса при кручении.*

*При определении наиболее точных значений жесткостей скреплений ДО определена необходимость учитывать значение коэффициентов постели подкладки и жесткость костылей при их поперечном отжатии.*

**Ключевые слова:** жесткость скреплений, коэффициент постели подкладки, скрепления ДО.

*In the article the analysis of work of the intermediate clamping of type is executed DO in the process of exploitation, under action of transversal forces vertical and horizontal.*

*The mathematical models of transversal vertical, horizontal are got inflexibilities, and also inflexibility of rail at twisting.*

*At determination of vertical inflexibility of clamping DO, for the receipt of more exact numeral meaning, the coefficient of bed of podkladki, which takes into account resilient properties of tree under action of loading, was entered.*

*A calculation chart for determination of horizontal transversal inflexibility is resulted. This chart is used for determination of horizontal transversal force which causes only the horizontal moving of rail without his twisting, and also between the sole of rail, by podkladkoyu and crutches gaps are absent.*

*For the terms of display and forming of horizontal transversal inflexibility of clamping DO expressions, which I take into account clamping operating on a knot forces vertical and horizontal, coefficient of friction of podkladki on a railroad tie and inflexibility of crutch, at his transversal wringing out are resulted.*

*At determination of inflexibility of rail at twisting under action of vertical force, which causes crumpling and compression of tree on a size which causes resilient resistance, intensity of this force as equalization of reaction was represented.*

**Keywords:** inflexibility of clamping, coefficient of bed of podkladki, clamping DO.

**Вступ.** Скріплення типу ДО є найпоширенішим типом проміжного скріплення для

конструкції ланкової колії на дерев'яних шпалах, протяжність якої на окремих

залізницях сягає 35 %. Така конструкція застосовується, у першу чергу, у кривих малих радіусів.

Українським залізницям необхідно витрачати щорічно на заміну дефектних рейок і ремонту колії 100 тис. т рейок. З дефектних рейок, що вилучаються з колії, більш ніж 20 % припадає на рейки, у яких боковий знос головки перевищив допустимий за умов безпеки руху поїздів. Рейки з такими дефектами вилучаються практично тільки з кривих ділянок, радіуси яких менш ніж 400 м, між тим загальна протяжність таких ділянок складає більше 2,5 %. Безумовно, інтенсивний боковий знос рейок викликається значною кількістю причин. Для вирішення цієї проблеми важливо знати кількісну оцінку кожної з причин, які передбачаються. Такі дослідження можливо виконувати тільки за допомогою чисельних методів. Але чисельний аналіз неможливий без математичного моделювання, у тому числі роботи скріплення типу ДО під дією просторових сил.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у вирішення питань взаємодії рухомого складу та колії належить науковим школам, які сформували Ангелейко В.І. [1], Даниленко Е.І. [9], В.В. Рибкін [10], В.А. Лазарян [4] та М.А. Фрішман [3], М.Ф. Веріго [2], С.П. Першин [8], Яковлєва В.Ф. [7], Коган О.Я. [5, 6].

Слід зазначити, що в цих дослідженнях використовувалася загальна розрахункова схема у вигляді балки на суцільній пружній основі. Ця схема передбачає постійність пружних дисипативних характеристик підрейкової основи. Однак аналіз, зроблений у роботі [11], показав, що така схема для деяких умов експлуатації надмірно ідеалізує колію та її технічний стан.

**Визначення мети та задач дослідження.** Метою даної статті є аналіз роботи проміжних скріплень типу ДО під дією вертикальних і горизонтальних поперечних сил та отримання математичних моделей жорсткостей цього скріплення.

**Основна частина. Вертикальна жорсткість скріплень ДО**

При дії вертикального навантаження  $R_y$  на скріплення ДО відбувається зминання і стиснення упоперек волокон деревини шпали під підкладкою. Приймаючи пружний опір деревини рівномірно розподіленим за площею підкладки (рис. 1), можна записати, кН,

$$R_y = \omega_n \cdot q_{под} ,$$

де  $\omega_n$  – площа підрейкової підкладки скріплення ДО, м<sup>2</sup>;

$q_{под}$  – розподілений пружний опір деревини, кН/м<sup>2</sup>.

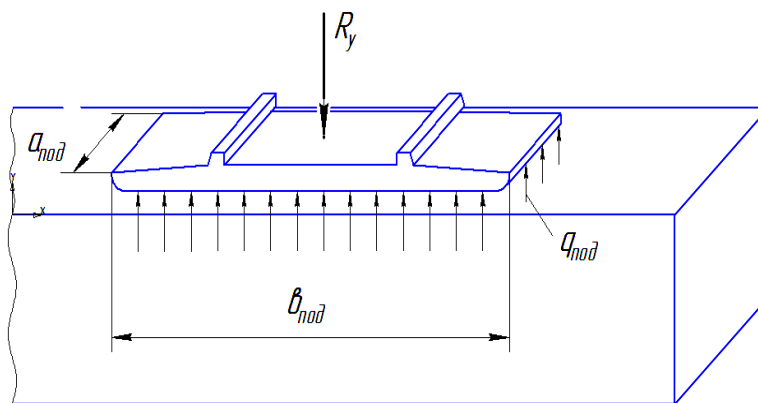


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення вертикальної жорсткості скріплення ДО

Введемо розрахункову величину  $C_{под}$  – коефіцієнт постелі підкладки, який характеризує властивості деревини при її зминанні і стисненні упоперек волокон і

чисельно дорівнює навантаженню, яке прикладено до одиначної площі деревини і викличе одиначну пружну деформацію, кН/м<sup>3</sup>.

Тоді

$$q_{\text{под}} = C_{\text{под}} \cdot y_{\text{скр}}^{\text{сп}},$$

де  $y_{\text{скр}}^{\text{сп}}$  – середнє значення вертикальної пружної деформації в скріпленні ДО, м.

Металева підкладка повинна розглядатися як пластина, що розташована на пружній підставі і працює під дією вертикальних сил. Прогинання її в підрейковому перетині виявляються більшими, ніж це було б у разі жорсткого штампа. Проте при визначених пружних властивостях деревини не під штампом, а під металевою підкладкою скріплення в результаті експериментальних робіт можна отримати значення  $C_{\text{под}}$  з урахуванням жорсткості підкладки.

З урахуванням висловленого, вертикальну жорсткість скріплення ДО можна визначати як

$$C_{\text{уск}} = \omega_n \cdot C_{\text{под}}, \quad (1)$$

де  $W_n$  - площа підкладки, м<sup>2</sup>.

### Горизонтальна поперечна жорсткість скріплення ДО

Розрахункова схема для визначення горизонтальної поперечної жорсткості наведена на рис. 2. Ця схема застосовна за таких умов: дія горизонтальної поперечної сили  $R_z$  викликає тільки горизонтальне переміщення рейки без її кручення; між підшовною рейки, підкладкою і костиллями зазори відсутні.

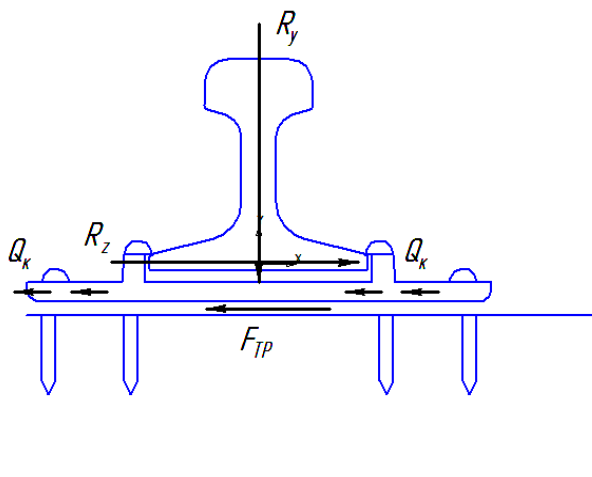


Рис. 2. Схема завантаження вузла скріплення ДО поперечним навантаженням

Умова рівноваги у вузлі скріплення має вигляд

$$R_z = F_{\text{тр}} + m Q_k,$$

де  $F_{\text{тр}}$  – сила тертя підкладки по шпалі;

$Q_k$  – опір одного костилля поперечному віджиманню;

$m$  – кількість основних і обшивних костилів у вузлі скріплення.

До подолання сили тертя  $F_{\text{тр}}$  горизонтальних поперечних деформацій у вузлі скріплення не відбувається.

Тоді умови прояву і формування горизонтальної поперечної жорсткості скріплення ДО можна представити такими виразами:

$$\left. \begin{aligned} -n\mu R_z &< f_{\text{под}} \cdot R_y \\ C_z &= \infty \\ -n\mu R_z &\geq f_{\text{под}} \cdot R_y \\ C_z &= m \cdot C_k \text{ (кН/м)} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $R_y$  і  $R_z$  – діючі на вузол скріплення вертикальна і горизонтальна поперечні сили, кН;

$f_{\text{под}}$  – коефіцієнт тертя підкладки по шпалі;

$C_k$  – жорсткість костилля при його поперечному віджиманні, кН/м.

### Жорсткість скріплення ДО при крученні рейки

Скріплення ДО, як і скріплення КБ, працює на кручення, будучи одночасно завантаженим вертикальною силою  $R_y$ . Ця сила створює

зминення і стиснення деревини на величину  $y$ , викликаючи пружний опір, інтенсивність якого можна представити у вигляді розподіленої по ширині підкладки  $\epsilon_{\text{под}}$  реакції (рис. 1):

$$q_n = \frac{R_y}{\epsilon_{\text{под}}} = \frac{\omega_n \cdot C_{\text{под}}}{\epsilon_{\text{под}}} \cdot y,$$

де  $\omega_n$  – площа підкладки,  $\text{м}^2$ ;

$C_{\text{под}}$  – коефіцієнт постелі підкладки,  $\text{кН}/\text{м}^3$ .

Під дією крутного моменту  $M_{\text{кр}}$  кромки підшви підкладки одержують додаткові деформації  $\Delta y_1$  і  $\Delta y_2$  (рис. 3).

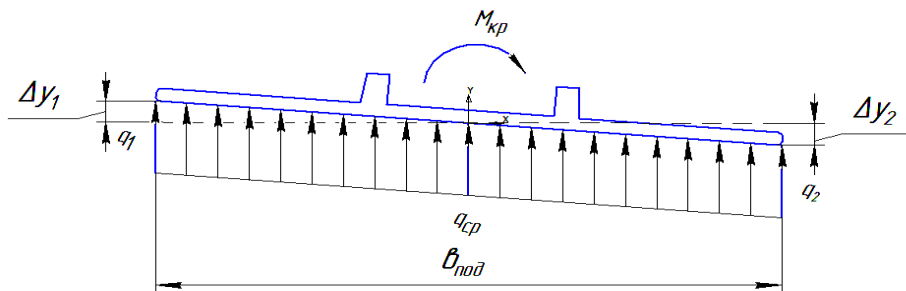


Рис. 3. Схема навантаження вузла скріплення ДО крутним моментом

При цьому величини  $\Delta y_1$  і  $\Delta y_2$  значно менше від величини деформації  $y_1$ , викликаній вертикальним навантаженням  $R_y$  [9]. Таким чином, розглядаючи умову рівноваги моментів у вузлі скріплення ДО, зміною сил притиснення основних і обшивних костилів можна нехтувати.

Умова рівноваги зовнішнього крутного моменту  $M_{\text{кр}}$  і моменту нерівномірно розподіленої реакції деревини шпали відносно центра повороту перетину рейки матиме вигляд

$$M_{\text{кр}} + (q_1 + q_{\text{ср}}) \frac{\epsilon_{\text{под}}^2}{16} - (q_{\text{ср}} + q_2) \frac{\epsilon_{\text{под}}^2}{16} = 0$$

Або інакше

$$M_{\text{кр}} = (q_2 - q_1) \frac{\epsilon_{\text{под}}^2}{16}. \quad (3)$$

Інтенсивності розподіленого навантаження  $q_1$  і  $q_2$  представимо як

$$q_1 = (y - \Delta y_1) \frac{\omega_n \cdot C_{\text{под}}}{\epsilon_{\text{под}}}$$

$$q_2 = (y + \Delta y_2) \frac{\omega_n \cdot C_{\text{под}}}{\epsilon_{\text{под}}}$$

Тоді вираз (3) матиме вигляд

$$M_{\text{кр}} = \left( \frac{\Delta y_2 + \Delta y_1}{\epsilon_{\text{под}}} \right) \omega_n \cdot C_{\text{под}} \frac{\epsilon_{\text{под}}^2}{16}$$

Враховуючи, що з причини малості кута закручування  $\varphi = \frac{\Delta y_2 + \Delta y_1}{\epsilon_{\text{под}}}$ , можна одержати

залежність жорсткості скріплення ДО при крученні від коефіцієнта постелі підкладки,  $\text{кН}/\text{рад}$ ,

$$C_{\varphi} = \omega_n \cdot C_{\text{под}} \cdot \frac{\epsilon_{\text{под}}^2}{16}. \quad (4)$$

**Висновки.** Таким чином, для визначення значень жорсткостей скріплення ДО і їх змін у процесі експлуатації необхідні значення коефіцієнтів постелі підкладки  $C_{\text{под}}$ , жорсткість костилів  $C_{\text{к}}$  при їх поперечному віджиманні.

#### Список використаних джерел

1. Ангелейко, В.И. Вывод основных уравнений для расчета рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях [Текст]: монография / В.И. Ангелейко. – Харьков: ХИИТ, 1958. – 38 с.
2. Вериго, М.Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго // Труды ВНИИЖТ. – М.: Трансжелдориздат, 1955. - № 97. – С. 25-288.

3. Фришман, М.А. Экспериментальные определения жесткостей и неупругих сопротивлений пути [Текст] / М.А. Фришман, Л.Я. Воробейчик, Р.С. Липовской // Вестник ЦНИИ МПС. – 1970. – № 8. – С. 31-35.
4. Лазарян, В.А. Изгибные колебания кузова полувагона в вертикальной и горизонтальной плоскостях [Текст] / В.А. Лазарян, В.Ф. Ушаков // Труды ДИИТ. – 1967. – № 68. – С. 32-38.
5. Коган, А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь [Текст] / А.Я. Коган // Труды ЦИИТ МПС. – М.: Транспорт, 1969. – 206 с.
6. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку [Текст] / под ред. А.Я. Когана // Труды ВНИИЖТ. – 1973. – № 502. – 80 с.
7. 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.
8. Першин, С.П. Вертикальная жесткость пути и его надежность [Текст] / С.П. Першин // Путь и путевое хозяйство. – 1996. – №8. – С.8-10.
9. 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 // Транспорт України. – 2002. – № 6. – С. 3-12.
10. Рибкін, В.В. Теоретичні дослідження впливу пружності проміжних рейкових скріплень на деформативну роботу колії [Текст] / В.В. Рибкін, М.Д. Костюк, Н.П. Настечник, М.П. Сисин // Тези LXVI Міжнар. наук.-практ. конф. “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”. – Дніпропетровськ, 2006. – № 1. – С. 188.
11. Даренський, О.М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту [Текст]: монографія / О.М. Даренський. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.М. Даренський

---

Тудей Юзеф Леонідович, начальник Департаменту колії Укрзалізниці. Тел.: 044-465-03-50.

Tuley Yusef Leonidovich, head of the Department Ukrzaliznytsia. Tel. 044-465-03-50.

Стаття прийнята 09.11.2015 р.

УДК 626/627

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ НА БЕТОННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПЛОТИНАХ НА СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ

Асист. Е.А. Балабай

## ІМОВІРНІСНА ОЦІНКА РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ НА БЕТОННИХ ГРАВІТАЦІЙНИХ ГРЕБЛЯХ НА СКЕЛЬНІЙ ОСНОВІ

Асист. О.О. Балабай

## PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT OF ACCIDENT AT CONCRETE GRAVITY DAM ON ROCK FOUNDATION

Assistant O.O. Balabai

*Метою роботи є розроблення способу імовірнісної оцінки ризику виникнення аварії на високих бетонних гравітаційних греблях. Об'єктивна оцінка надійності бетонних гравітаційних гребель може бути отримана імовірнісними методами сучасної теорії надійності. Запропоновано методику, що дозволяє виконати імовірнісну оцінку ризику виникнення аварії на бетонних гравітаційних греблях на скельній основі.*

**Ключові слова:** бетонна гребля, імовірнісна оцінка, аварії, скельна основа, ризик виникнення аварії.

Целью работы является разработка способа вероятностной оценки риска возникновения аварии на высоких бетонных гравитационных плотинах. Объективная оценка надёжности бетонных гравитационных плотин может быть получена вероятностными методами современной теории надёжности. Предложена методика, позволяющая выполнить вероятностную оценку риска возникновения аварий на бетонных гравитационных плотинах на скальном основании.

**Ключевые слова:** бетонная плотина, вероятностная оценка, аварии, скальное основание, риск возникновения аварии.

The aim is to provide a method for probabilistic assessment of the risk of accidents on the high concrete gravity dam. An objective assessment of the reliability of concrete gravity dams can be obtained by probabilistic methods of the modern theory of reliability. Determination of the risk of an accident at gravity concrete dams on the bedrock was carried out by the example of the Great Ethiopian renaissance dam energy. All the original data provided by PJSC "Ukrhydroproject". Calculations are performed for the basic and special combinations of loads and impacts. Accidents on concrete gravity dams can be caused due to the ultimate state of the first group. The calculation is performed by the Monte Carlo (statistical tests). The technique, which allows to perform probabilistic risk assessment of accidents on concrete gravity dam on rock foundation.

**Keywords:** concrete dam, a probabilistic assessment, accident, bedrock, the risk of an accident.

**Введение.** Для оценки надёжности бетонных гравитационных плотин используется два подхода. Первый – традиционный детерминистический по форме – подход основан на методе предельных состояний. Согласно этому методу учёт случайных нагрузок и воздействий, показателей свойств материалов и грунтов, расчётных сроков эксплуатации сооружений, а также условий их работы выполняется на основе системы нормативных коэффициентов [1-2]. Метод предельных состояний не позволяет получить объективную оценку надёжности бетонных гравитационных плотин. Это связано с тем, что значения нормативных коэффициентов не всегда являются объективными и несут условный характер.

Второй подход основан на использовании вероятностных методов оценки надёжности бетонных гравитационных плотин [3].

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами**

**Определение цели и задачи исследования.** Нормативный документ [4] регламентирует необходимость оценки риска возникновения аварий на гидротехнических сооружениях. Поэтому актуальной проблемой является разработка вероятностного способа оценки риска возникновения аварий на

бетонных гравитационных плотинах на скальном основании.

Аварии на бетонных гравитационных плотинах возникают вследствие достижения предельного состояния, связанного с потерей устойчивости плотины против сдвига  $P_c$ , с исчерпанием прочности бетона тела плотины на сжатие  $P_b$ , с превышением предельной глубины зоны растяжения в горизонтальных сечениях тела плотины у верховой грани и в сечении по контакту плотины с основанием  $P_o$ , с потерей устойчивости плотины против опрокидывания  $P_m$ , с исчерпанием прочности контактного сечения  $P_p$  [5,6]. Одной из главных проблем при вероятностной оценке является получение достоверной информации об исходных данных случайных величин, которые характеризуют природные факторы. Поэтому актуальной задачей является разработка вероятностного способа оценки риска возникновения аварий на бетонных гравитационных плотинах на скальном основании.

**Основная часть исследования.** Определение риска возникновения аварии на бетонных гравитационных плотинах на скальном основании выполнялось на примере Великой энергетической плотины Эфиопского возрождения. Все исходные данные

предоставлены ПАО «Укрэнергопроект», г. Харьков.

Строительство гидроузла Великой энергетической плотины Эфиопского возрождения мощностью 6 ГВт ведётся на р. Голубой Нил в Эфиопии. Высота плотины 142,00 м, ширина по основанию 109,60 м, общая длина 1783 м. Низовая грань плотины - ступенчатая с заложением откосов 0,8. Для сообщения сооружений правого берега с левым по гребню бетонной плотины предусмотрена автодорога шириной 4,5 м. Основанием плотины служат скальные коренные породы (гнейсы). Основная часть плотины и напорная грань выполняются из вибрированного бетона RCC, который также укладывается в основание плотины. Вдоль верховой грани плотины предусмотрена система дренажа в виде вертикальных скважин диаметром 130 мм, которые имеют выход в смотровые галереи. Расстояние между осями скважин 3,00 м. Расстояние от оси дренажных скважин до напорной грани плотины изменяется по высоте плотины от 2,0 до 7,3 м в зависимости от напора. Вдоль верховой грани плотины за слоем вибрированного бетона предусмотрены горизонтальные смотровые галереи на отметках +614,500 м, +573,600 м, +554,850 м, +525,000 м, +520,000 м, +506,000 м. В галереях размещены системы для отвода фильтрационных вод в нижний бьеф. Через тело плотины проходит транспортно-коммуникационная галерея, которая соединяет правую и левую части станционной плотины.

Физико-механические и фильтрационные свойства скальных грунтов составлены по данным объектов-аналогов и по данным изысканий фирмы «Salini», Италия.

Высота наносов определена в соответствии с работами [7, 8] и составила 50 м. Удельный вес наносов, насыщенных водой, 13 кН/м<sup>3</sup>.

В районе строительства летом преобладают Индийские муссоны, а зимой – Аравийские пассаты. Средняя многолетняя скорость ветра в районе строительства ГЭС 2 м/с, в зимние месяцы 1,6-1,9 м/с, в летний период до 2,5 м/с.

Удельный вес и характеристики укатанного бетона (см. рисунок):

- цилиндрическая прочность на сжатие в зоне 1  $f_{ck} > 12$  МПа (от отметки 503 до отметки 515 м);

- цилиндрическая прочность на сжатие в зоне 2  $f_{ck} > 10$  МПа (от отметки 515 до отметки 565 м);

- цилиндрическая прочность на сжатие в зоне 3  $f_{ck} > 8$  МПа (от отметки 565 до отметки 645 м).

Характеристики грунта скального основания: модуль Юнга – 10 ГПа; коэффициент Пуассона – 0,15; удельный вес – 23,5 кН/м<sup>3</sup>; удельное сцепление для поверхности сдвига по контакту бетон-скала – 300 кПа; угол внутреннего трения для поверхности сдвига по контакту бетон-скала – 50 град.

На рисунке показан разрез глухой бетонной гравитационной плотины Великой энергетической плотины Эфиопского возрождения.

Надёжность бетонной гравитационной плотины на скальном основании согласно действующим нормам проектирования определяется по двум группам предельных состояний [1-2, 4].

Расчеты выполняются для основного и особого сочетания нагрузок и воздействий. Аварии на бетонных гравитационных плотинах могут быть вызваны из-за достижения предельного состояния первой группы [3].

Основными этапами определения вероятности достижения предельного состояния бетонной гравитационной плотины являются [4]:

1. Построение уравнения связи между входными (нагрузки и воздействия на плотину, свойства материалов и основания) и выходными параметрами (результаты расчётов).

2. Подготовка входных параметров для расчёта в соответствии с принятым уравнением связи и распределением входных параметров на вероятностные и детерминистические.

3. Определение вероятностных характеристик входных параметров.

4. Вероятностная оценка достижения предельного состояния бетонной гравитационной плотины на основании решения задачи системной теории надёжности. Для решения этой задачи использовался метод статистических испытаний (Монте-Карло), который представляет собой численный метод решения математических задач на основании моделирования случайных величин.

5. Комплексная вероятностная оценка достижения какого-либо предельного состояния бетонной гравитационной плотины.



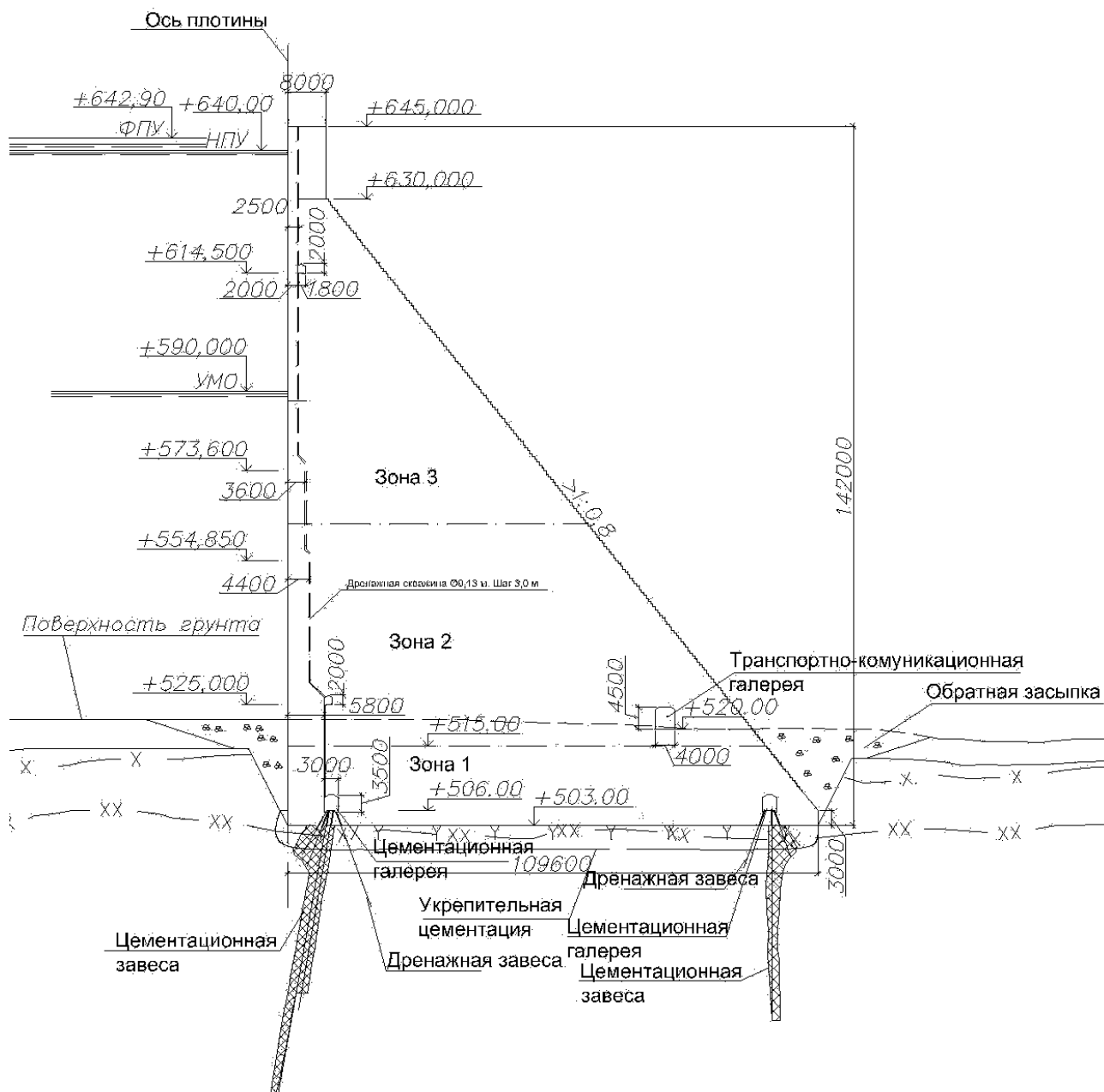


Рис. Разрез глухой бетонной гравитационной плотины Великой энергетической плотины Эфиопского возрождения

Оценка надёжности выполнена детерминистическим методом, в результате получены коэффициенты устойчивости против сдвига  $k_c$ , против опрокидывания  $k_o$ , потери прочности бетона на сжатие  $k_m$ . Например, для первого расчётного случая  $k_c=1,61$ ;  $k_o=2,68$ ;  $k_m=2,35$ . Для второго расчётного случая  $k_c=1,54$ ;  $k_o=2,8$ ;  $k_m=2,0$ . Для третьего расчётного случая  $k_c=1,46$ ;  $k_o=1,6$ ;  $k_m=1,6$ .

Далее выполняется расчёт по методу Монте-Карло (статистических испытаний). При

этом производится необходимое количество  $N$  статистических испытаний. Алгоритм расчетов при каждом статистическом испытании  $j$  ( $j=1,2,\dots,N$ ) следующий:

1. Для каждой из входящих случайных величин по номеру  $i$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) задаём равномерно распределённую в интервале от 0 до 1 случайную вероятность  $P_{ij}$ .

2. По полученным значениям  $P_{ij}$ , используя функции распределения, вычисляем

значения аргументов  $X_{ij}$  каждой из случайных величин.

3. По известным значениям  $X_{ij}$  в соответствии с уравнением связи вычисляем значения совокупного фактора  $Y_j$ .

4. Проверяем выполнение условия достижения предельного состояния по полученным значениям совокупного фактора.

5. После выполнения всех  $N$  испытаний вычисляем значение вероятности достижения предельного состояния  $P_u$  как отношение числа испытаний  $N_j$ , когда условие наступления предельного состояния было достигнуто, к числу всех испытаний  $N$ .

При оценке надёжности гидротехнических сооружений должны учитываться нагрузки и воздействия, которые регламентируются действующими нормами проектирования [2]. Нагрузки и воздействия на бетонные гравитационные плотины принимаются в разнообразных, но возможных сочетаниях.

Детерминистическими величинами приняты геометрические характеристики плотины; плотность бетона; плотность воды; вес моста; полезная нагрузка.

Вероятностными величинами приняты нагрузка от действия ветра; отметка уровня воды со стороны верхнего бьефа; средняя глубина уровня воды в зависимости от расчетного уровня; прочностные характеристики бетона; длина разгона волны; высота ветрового нагона; средняя высота волны; средний период волны; средняя длина волны; высота волны 1 % обеспеченности в системе волн 1 %; сила горизонтального волнового давления; собственный вес секции плотины; сила гидростатического давления; сила фильтрационного противодействия; сила давления наносов; инерционная сейсмическая нагрузка; сейсмическое гидродинамическое давление воды; сейсмическое давление наносов; характеристики скального грунта.

По полученным значениям вероятности возникновения аварии определяем обобщенный риск возникновения аварии на бетонной гравитационной плотине как для системы с последовательным соединением элементов (вероятность события, которое находится в безотказной работе системы, равно вероятности пересечения событий, которые находятся в безотказной работе каждого из элементов). Предполагается, что наступление хотя бы

одного предельного состояния приводит к утрате надёжности бетонной плотины. Риск возникновения отказа этой системы определяется по следующей формуле [9]:

$$P := 1 - (1 - pcr)^{\frac{1}{T}}, \quad (1)$$

где  $pcr$  - вероятность аварии на плотине вследствие реализации событий, соответствующих рассмотренным предельным состояниям;

$T$  - расчётный срок службы плотины,  $T=100$  лет.

**Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.** Результаты расчётов для класса сооружения ССЗ:

1. Ежегодная вероятность достижения предельного состояния, связанного с потерей устойчивости плотины против сдвига,  $P_c=5,9 \cdot 10^{-5}$  1/год.

2. Ежегодная вероятность достижения предельного состояния, связанного с исчерпанием прочности бетона тела плотины на сжатие,  $P_b=1,1 \cdot 10^{-3}$  1/год.

3. Ежегодная вероятность достижения предельного состояния, связанного с превышением предельной глубины зоны растяжения в горизонтальных сечениях тела плотины у верховой грани и в сечении по контакту плотины с основанием,  $P_o=1,1 \cdot 10^{-3}$  1/год.

4. Ежегодная вероятность достижения предельного состояния, связанного с потерей устойчивости плотины против опрокидывания,  $P_m=1,9 \cdot 10^{-4}$  1/год.

5. Ежегодная вероятность достижения предельного состояния, связанного с исчерпанием прочности контактного сечения,  $P_p=8,0 \cdot 10^{-6}$  1/год.

6. Ежегодный обобщённый риск возникновения аварий на плотине,  $P=1,3 \cdot 10^{-5}$  1/год.

7. Обобщённый риск возникновения аварий на плотине за весь срок службы,  $P=1,3 \cdot 10^{-3}$ .

8. Ежегодная допустимая вероятность аварий на ГТС составляет  $5 \cdot 10^{-5}$  1/год.

Анализ полученных результатов показывает, что большое влияние на обобщённый риск возникновения аварий на плотине оказывают риск, связанный с потерей устойчивости плотины против опрокидывания  $P_m$ , риск, связанный с превышением прочности

бетона на сжатие  $P_b$ , и риск, связанный с превышением предельной глубины зоны растяжения в горизонтальных сечениях тела плотины у верховой грани и в сечении по контакту плотины с основанием  $P_o$ .

При сравнении допустимой вероятности возникновения аварий с полученной по алгоритму, представленном в данной работе, очевидно, что полученная вероятность меньше, чем допустимая.

Также определено необходимое количество статистических испытаний для достижения довольно узкого доверительного интервала, которое составило  $1,22 \cdot 10^6$ .

Данная методика может быть использована при расчёте надёжности бетонных гравитационных плотин на скальном основании.

### Список использованных источников

1. СНиП 2.06.06-85. Плотины бетонные и железобетонные [Текст]. – М.: Госстрой СССР, 1986. – 40 с.
2. СНиП 2.06.04-82\*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения [Текст]. – М.: Госстрой СССР, 1988. – 36 с.
3. Вайнберг, А.И. Надёжность и безопасность гидротехнических сооружений. Избранные проблемы [Текст] / А.И. Вайнберг. – Харьков: Издательство «Тяжпромавтоматика», 2008. – 304 с.
4. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні споруди. Основні положення [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 37 с.
5. ICOLD. Dam failures – Statistical Analysis [Text] // Bulletin/ - 1995. – № 99. – 75 p.
6. Blind H. The Safety of Dams [Text] // Int. Water Power and Dam construction. – 1983. – Vol. 35. – № 5. – P. 17-21.
7. Мозговой, А.О. Умови формування замулення водосховищ річкових гідровузлів / А.О. Мозговой, О.О. Балабай [Електронний ресурс]: Матеріали VI міжнар. наук.-техн. інтернет конф. ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. – Харків, 2014. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/37509/>.
8. Шапов, Г.И. Заиление водохранилищ [Текст] / Г.И. Шапов. – М.-Л.: Гидрометеиздат, 1939. – 139 с.
9. Ржаницын, А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надёжность [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.И. Вайнберг

---

Балабай Олена Олександрівна, асистент кафедри гідротехнічного будівництва Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел. (057) 706-18-99. E-mail: balabai.olena@gmail.com.

Balabai Elena assistant of the Department of hydraulic engineering of Kharkiv National University of Construction and Architecture. Phone: (057) 706-18-99. E-mail: balabai.olena@gmail.com.

Стаття прийнята 09.11.2015 р.

УДК 625.768.5

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПАДУ БІТУМНИХ ТА МОДИФІКОВАНИХ БІТУМНИХ ЕМУЛЬСІЙ**

**Асп. В.Я. Новаковська**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПАДА БИТУМНЫХ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ**

**Асп. В.Я. Новаковская**

**INVESTIGATION OF BITUMEN AND MODIFIED BITUMEN EMULSIONS BREAKING PROCESS**

**Postgraduate V. Novakovska**

*Розглянуто механізм розпаду бітумних та модифікованих бітумних емульсій на поверхні мінеральних матеріалів. Згідно із запропонованим механізмом швидкість розпаду емульсій залежить від швидкості зменшення концентрації кислоти в дисперсійному середовищі та швидкості адсорбції емульгатора на поверхні мінеральних матеріалів. Експериментально досліджено вплив концентрації емульгатора, кислоти та водного латексу на індекс розпаду емульсій.*

**Ключові слова:** катіонна бітумна емульсія, водний катіонний латекс, швидкість розпаду, емульгатор.

*Рассмотрен механизм распада битумных и модифицированных битумных эмульсий на поверхности минеральных материалов. Согласно с предложенным механизмом скорость распада эмульсий зависит от скорости уменьшения концентрации кислоты в дисперсионной среде и скорости адсорбции эмульгатора на поверхности минеральных материалов. Экспериментально исследовано влияние концентрации эмульгатора, кислоты и водного катионного латекса на показатель индекса распада.*

**Ключевые слова:** катионная битумная эмульсия, водный катионный латекс, скорость распада, эмульгатор.

*The paper deals with process of breaking of cationic bitumen and modified bitumen emulsion. The stage of the setting of cationic bitumen emulsion on the mineral surface are the following: adsorbs acid, water and emulsifier; reverse the charge of the minerals by emulsifier; loss of charge of the emulsion droplets; flocculation and coalescence of bitumen droplet, displacing the water film by emulsifier with bitumen. Regarding the modified bitumen emulsions, latex adsorbs before bitumen. It was set that the breaking index depends on speed of diminishing of concentration of acid in emulsion and speed of adsorption of emulsifier onto the mineral surface. The speed of adsorption slows with the increase of amount of emulsifier and acid. It was provide that adding of water cationic latex to emulsion slow break of emulsion. In our view, this slower breaking of emulsion is due the additional amount of emulsifier and water in modified emulsions.*

**Keywords:** cationic emulsion, water cationic latex, breaking index of emulsions, emulsifier.

**Вступ.** Катіонні дорожні бітумні емульсії успішно використовуються в різних технологіях при будівництві та ремонті автомобільних доріг у багатьох країнах світу. Одним із напрямків покращення структурно-механічних властивостей в'язучого, що утворюється при розпаді катіонних бітумних емульсій, є введення до його складу

полімерних речовин. Особливості проектування складів, виготовлення, властивості катіонних дорожніх бітумних емульсій, модифікованих полімерами, та в'язучого, виділеного з них, на сьогодні залишаються недостатньо вивченими.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науко-**

вими та практичними завданнями. Довговічність шарів дорожнього одягу, влаштованих із застосуванням бітумних та модифікованих бітумних емульсій, залежить від якості зчеплення в'язучого, що виділяється при розпаді емульсії, з поверхнею мінеральних матеріалів. Одним із чинників, що впливає на його зчеплення з поверхнею мінерального матеріалу, є повнота обволікання поверхні мінеральних матеріалів в'язучим. У свою чергу ступінь покриття в'язучим поверхні мінерального матеріалу напряду залежить від швидкості розпаду емульсії. Для цілеспрямованого управління вказаними процесами необхідно чітко уявляти, що відбувається при виділенні в'язучого з емульсії на поверхні мінеральних матеріалів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На процес розпаду емульсії впливають як властивості мінерального матеріалу, так і склад емульсії. Будівельні мінеральні матеріали являють собою складну гетерогенну структуру, до складу якої входять різні хімічні сполуки. Серед основних можна

виділити: оксиди металів і кремнію, гідроксиди металів, солі металів та ін. Таким чином, поверхня мінерального матеріалу є досить неоднорідною з хімічної точки зору. Кожна окрема зона мінерального матеріалу має свій заряд і може адсорбувати різні види полярних груп. Спрощено прийнято вважати, що основною сполукою, що утворює вапняки, є карбонат кальцію, а граніти – оксид кремнію. Таким чином, внаслідок іонізації оксиду кремнію з утворенням  $SiO_n^- H_n^+$  при наявності води, поверхня гранітів заряджається негативно і відповідно притягує до себе позитивно заряджені іони. Позитивний заряд вапняку обумовлений тим, що іони двовалентного кальцію  $Ca^{2+}$  лише частково компенсуються карбонат-іонами  $CO_3^{2-}$  [1, 2].

На основі аналізу робіт М.І. Волкова, Е.О. Казарновської, Л.О. Кирилової, М.І. Кучми, І.А. Плотнікової, Г. Холлерана та інших учених [1-4] можна виділити основні стадії розпаду емульсії на поверхні мінеральних матеріалів (рис. 1).

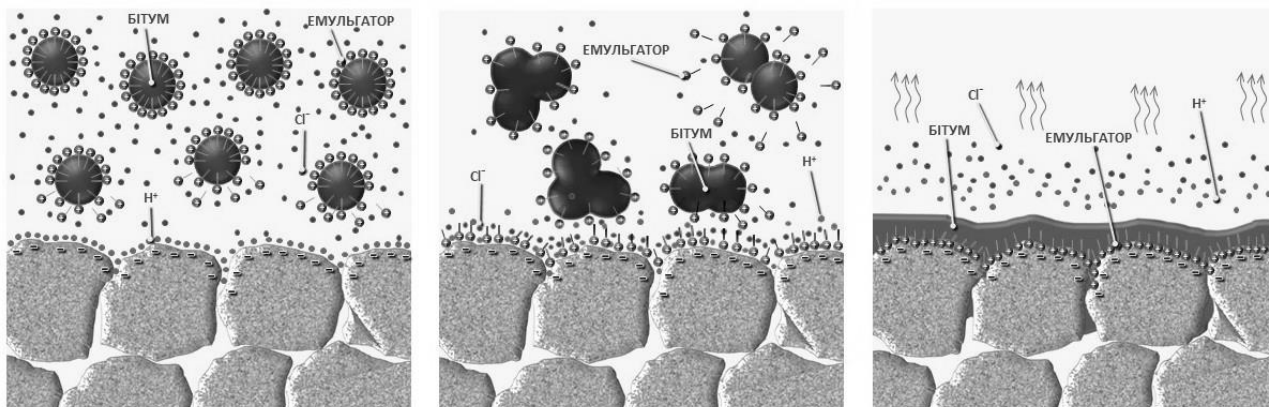


Рис. 1. Процес розпаду емульсії на поверхні мінерального матеріалу

У першу чергу на поверхні мінеральних матеріалів адсорбуються вода та кислота, які містяться у водній фазі емульсії. Під впливом полярних молекул води, іонів кислотного залишку та іонів водню відбувається поляризація сполук, що входять до складу мінеральних матеріалів. Паралельно відбувається поступова адсорбція емульгатора. Наступним етапом є утворення зв'язку між активними центрами мінерального матеріалу та кислотою і емульгатором. Можливе утворення хімічного зв'язку внаслідок реакції обміну;

хімічного зв'язку за донорно-акцепторним механізмом або фізико-хімічного зв'язку за рахунок сил Ван-дер-Ваальса. Внаслідок адсорбції емульгатора поступово відбувається перезарядка поверхні та гідрофобізація її вуглецевими «хвостами» емульгаторів. Одночасно, внаслідок взаємодії кислоти з поверхнею мінеральних матеріалів, відбувається падіння кислотності розчину. У нейтральному середовищі катіоноактивний емульгатор втрачає здатність розчинятися, що приводить до його повної адсорбції на поверхні

мінеральних матеріалів. Внаслідок адсорбції емульгатора та падіння кислотності краплі бітуму втрачають свої захисні оболонки і спочатку злипаються, а потім осідають на ліофільну поверхню мінеральних матеріалів. Невелика частина води з емульсії адсорбується поверхнею мінеральних матеріалів, інша вода поступово витискується бітумом з емульгатором та випаровується.

Виходячи із запропонованого механізму розпаду можна сказати, що розпад катіоноактивної емульсії на мінеральному матеріалі залежить від швидкості зменшення концентрації кислоти в дисперсійному середовищі та швидкості адсорбції емульгатора. При цьому для емульсій на емульгаторах меншої молекулярної маси та більш простої молекулярної будови буде характерна більш швидка адсорбція та формування плівки бітуму. Дифузія об'ємних катіонів четвертинних амонієвих сполук до активних центрів мінерального матеріалу протікає поволі. Поліаміни також здатні створювати об'ємну захисну оболонку на частках бітуму, яка має складну просторову структуру, і тому також досить повільно десорбуються з поверхні часток бітуму при контакті з мінеральним матеріалом. Це означає, що регулюючи тип та концентрацію кислоти та емульгатора можна впливати на швидкість розпаду емульсії. Так, для приготування швидко розпадаючих катіонних емульсій можна рекомендувати застосовувати алкіламіни, алкілдіаміни, аміноєфіри, амідоаміни, імідазоліни; для приготування катіонних

емульсій з меншою швидкістю розпаду – четвертинні амонієві сполуки, які при переводі в сольову форму утворюють полізарядні молекули з розгалуженою гідрофільною частиною, і поліаміни.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою роботи є обґрунтування механізму розпаду катіонних бітумних та модифікованих бітумних емульсій на поверхні мінеральних матеріалів. Задачі дослідження полягають у оцінці впливу водного катіонного латексу, будови емульгатора, концентрації емульгатора та кислоти на швидкість розпаду катіонних бітумних емульсій.

**Основна частина дослідження.** Для оцінки швидкості розпаду емульсій було обрано показник «індекс розпаду», який вимірюється кількістю піску, що витрачається для визначення розпаду одиниці маси емульсії. При проведенні експериментальних досліджень використовували кварцовий пісок для скляної промисловості марки ВС-050-1.

Для оцінки впливу хімічної будови емульгатора на індекс розпаду емульсій були виготовлені катіонні бітумні емульсії в лабораторній установці конструкції заводу «Укрбудмаш». Вміст бітуму в емульсіях складав 59-62 %, вміст емульгатора 0,3 %, водневий показник (рН) 2,5-3,0.

Аналіз впливу хімічної будови емульгатора на індекс розпаду емульсій (рис. 2) показав, що емульсіям на основі емульгаторів з простішою просторовою будовою (Dinoram SL-алкілдіамін) властива більша швидкість розпаду.

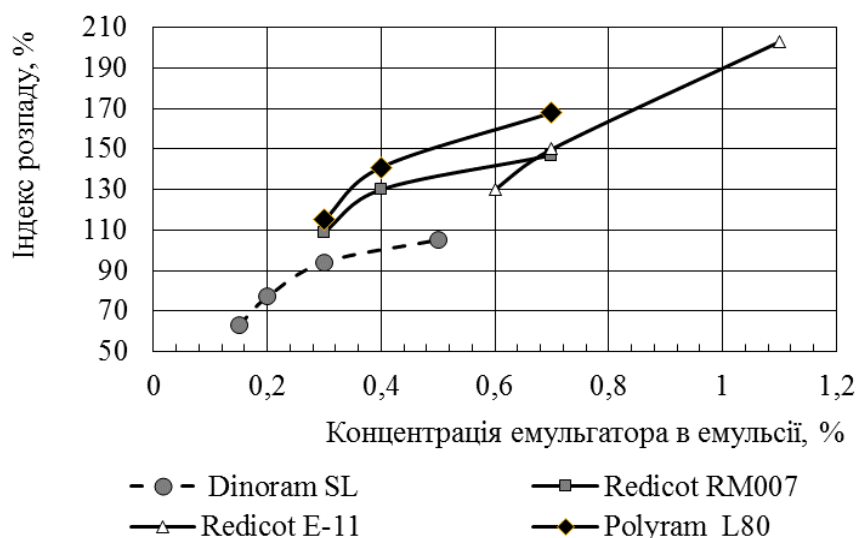


Рис. 2. Концентраційні залежності індексу розпаду

Емульсіям на основі інших емульгаторів (Redicot RM007 – алкілдіамін етоксилат, Polyram L80 – суміш алкілполіаміну та амідопо-ліаміну та Redicot E-11 – талевий алкіл-1,3 – пропандіамін хлорид) із складнішою просторовою будовою властива менша швидкість розпаду. При цьому спостерігається зменшення швидкості розпаду емульсій при зростанні концентрації емульгатора, що

підтверджує наведений вище механізм розпаду.

Для оцінки впливу концентрації кислоти на швидкість розпаду емульсій були виготовлені емульсії на основі емульгатора Redicot RM007. Концентрація емульгатора в емульсіях складала 0,3 %, вміст бітуму 60 %. З отриманих результатів досліджень (рис. 3) видно, що при зменшенні рН на 4 одиниці індекс розпаду збільшився на 86 одиниць.

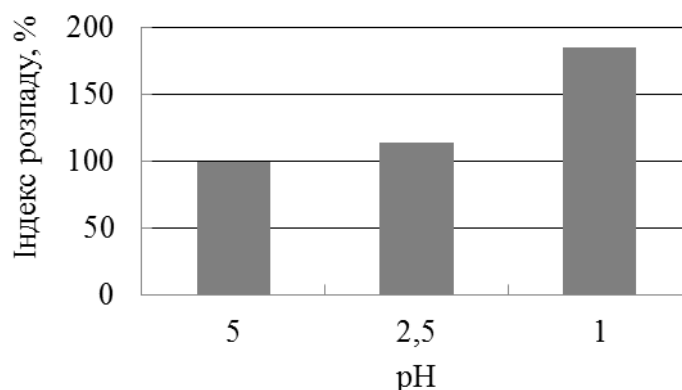


Рис. 3. Вплив рН на індекс розпаду емульсії

Це підтверджує те, що чим більша концентрація кислоти, тим повільніше відбувається розпад емульсії.

Щодо механізму розпаду модифікованої бітумної емульсії, можливо припустити, що він має відмінності, пов'язані з наявністю у складі бітумної емульсії водного катіонного латексу [5,6]. Водний катіонний латекс це також катіонна емульсія, але як фаза в ній виступає співполімер стирол-бутадієну. У зв'язку з тим, що краплі латексу мають менший розмір, порівняно з краплями бітуму, і містяться у водній фазі, вони дестабілізуються раніше. Внаслідок втрати захисного шару з емульгатора краплі полімеру зливаються і утворюють стільникову структуру навколо крапель бітуму. Паралельно з цим процесом відбувається адсорбція та зменшення захисного шару емульгатора на поверхні крапель бітуму, що також призводить до їх коалесценції. У зв'язку з тим, що адсорбція латексу протікає швидше, бітум осідає на утворену латексом сітку.

Розгалужена структура, яку утворює полімер, забезпечує закріплення мінерального матеріалу між прошарками в'язучого.

Виходячи з того, що при додаванні водного латексу до готової емульсії незначно збільшується кількість води та емульгатора, швидкість розпаду може дещо сповільнитися.

Для підтвердження запропонованого механізму розпаду модифікованих емульсій було проведено порівняльні дослідження швидкості розпаду катіонних бітумних емульсій (КБЕ) та катіонних бітумних модифікованих емульсій (КБМЕ), що були виготовлені на підприємстві «Паркінг +» м. Харків на основі емульгатора Redicot EM-44. Латекс змішували з готовими бітумними емульсіями. Як можна бачити з діаграм, поданих на рис. 4, індекс розпаду емульсій внаслідок модифікації їх водним катіонним латексом, збільшується, що може бути підтвердженням адекватності запропонованого механізму розпаду.

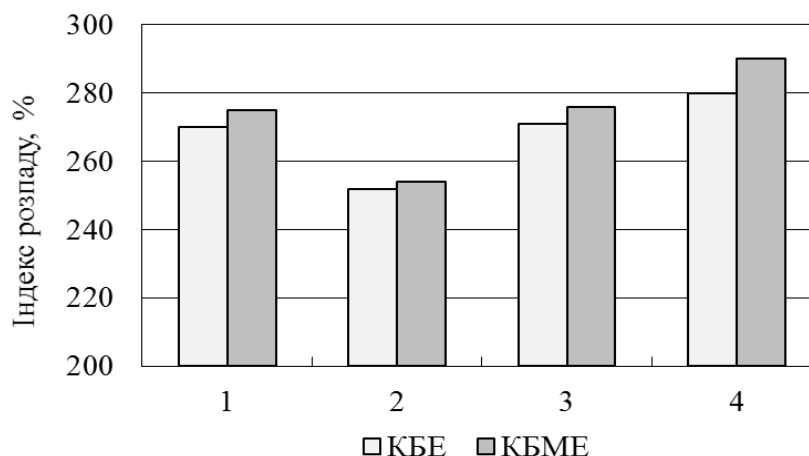


Рис. 4. Порівняння показників індексу розпаду КБЕ та КБМЕ

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** На основі аналізу результатів досліджень можна відзначити таке. Розпад бітумних емульсій на поверхні мінеральних матеріалів відбувається в такій послідовності: хімічна або фізико-хімічна адсорбція кислоти, потім емульгатора та бітуму. На швидкість розпаду серед інших чинників впливає природа та концентрація емульгатора, концентрація кислоти. Більш швидка адсорбція

та формування плівки бітуму характерні для емульсій на емульгаторах більш простої молекулярної будови. Із збільшенням кількості емульгатора та кислоти швидкість адсорбції зменшується. При введенні водного катіонного латексу до готової бітумної емульсії її швидкість розпаду, порівняно з вихідною емульсією, зменшується за рахунок надходження у склад додаткової кількості емульгатора та води.

#### Список використаних джерел

1. Волков, М.І. До питання про кінетику бітумних емульсій [Текст] / М.І. Волков, Л.О. Кирилова // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1974. – №4. – С. 73-75.
2. Кучма, М.И. Поверхностно-активные вещества [Текст] / М.И. Кучма. – М.: Транспорт, 1980. – 190 с.
3. Улучшение качества и совершенствование технологии применения битумных эмульсий [Текст]: сб. науч. трудов СоюздорНИИ. – М.: Научн.ред., 1974. – Вып. 71. – 96 с.
4. Holleran, G. Analysis of Emulsion Stability and Asphalt Compatibility, Asphalt Emulsion (Manufacturing Association, International Symposium on Asphalt Emulsion Technology, 1999) [Електронний ресурс] / G. Holleran, R. Jeffrey. – Режим доступу: <http://www.slurry.org>.
5. Takamura, K. Using latex modified asphalt emulsion: view from the colloid scientist (Materials of UNH Materials Science Seminar, November 4, 2003 New Hampshire) [Електронний ресурс] / К. Takamura. – Режим доступу: <http://worldaccount.basf.com>.
6. Терлецька, В.Я. Існуючі уявлення про структуру катіонних бітумних емульсій з добавками полімерів [Текст] / В.Я. Терлецька, В.К. Жданюк // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожнього факультету «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів». – Харків, 2010. – С. 163-168.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.К. Жданюк

Новаковська Вікторія Яківна, аспірант, кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківський національний автомобільно-дорожній університет. тел. (057)707-37-80. E-mail: vitasmolyakova@yandex.ru.

Novakovska V, postgraduate, department of building and maintenance of automobile road Kharkiv National Automobile and Highway University. tel. (057)707-37-80. E-mail: vitasmolyakova@yandex.ru.

Стаття прийнята 9.11.2015 р.



УДК 691.3

**УМОВИ ФОРМУВАННЯ ДОДАТКОВИХ КРИСТАЛОГІДРАТІВ НА ПОВЕРХНІ ПОЛІЕФІРНОГО ВОЛОКНА**

**Инж. В.А. Арутюнов**

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭФИРНОГО ВОЛОКНА**

**Инж. В.А. Арутюнов**

**FORMATION CONDITIONS OF ADDITIONAL CRYSTALLINE HYDRATE ON THE SURFACE OF POLYESTER FIBER**

**Engineer V.A. Arutyunov**

*Проаналізовано й експериментально доведено можливість застосування поліефірного волокна у цементних складах за умови додаткового введення хімічних сполук які сприятимуть синтезу додаткових кристалогідратів на поверхні поліефірного волокна, що вироблено на силіконових апаретах, це дасть змогу захистити поверхню волокна від лужного середовища порового електроліту цементного каменю.*

**Ключові слова:** поліефірне волокно, цементний камінь, кристалічні сполуки.

*Проанализирована и экспериментально доказана возможность применения полиэфирного волокна в цементных составах при дополнительном введении химических соединений, способствующих синтезу дополнительных кристаллогидратов на поверхности полиэфирного волокна, которое произведено на силиконовых аппаратах, что позволит защитить поверхность волокна от щелочной среды порового электролита цементного камня.*

**Ключевые слова:** полиэфирное волокно, цементный камень, кристаллические соединения.

*Analyzed and experimentally demonstrated the possibility of using a polyester fiber in cement compositions with the additional administration promotes the synthesis of chemical compounds on the surface of other crystalline polyester fiber, which will protect the surface of the fiber from the alkaline medium of the pore electrolyte cement stone. Silicones - a typically organic siloxane polymers. Organic groups may have a dipole moment on siloxane chain therefore provide hydrophilic silicone film and elektropoverhnevyy capacity, ie the ability to serve as a substrate for products of hydration of cement. The dipole moment is determined by the structure of syloksanovoy what causes polarization communication silicon hydrocarbon. Extremely flexible silicon circuit responds to the dipole moment and rozdashuvuye siloxane link so that positively charged silicon single link located opposite the negatively charged oxygen atom of another link. The result is a kind of spiral structure. This structure allows organically embedded in the metrics arrays water structures, including solutions and chemicals introduced into the composition of cement for the synthesis of crystalline.*

**Keywords:** polyester fiber, cement stone, crystalline compounds.

**Вступ.** На сьогодні для ремонту, захисту й гідроізоляції бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій застосовуються сухі будівельні суміші з широким діапазоном захисних властивостей, у тому числі гідроізоляційні, рулонні матеріали, полімерні мастики, плівки та мембрани. Кожен з цих матеріалів має свої недоліки, що обмежують

сфери їх застосування. Так, сухі суміші дають змогу влаштовувати захисно-гідроізоляційні шари, що мають високе зчеплення з поверхнями і витримують гідростатичний тиск будь-якого знака, як на притиск, так і на відрив. Проте їх механізоване нанесення (торкретування) потребує застосування спеціального обладнання, а нанесення вручну –

високої кваліфікації і ретельного дотримання технології. Рулонні матеріали (полімерні плівки і мембрани, бентонітові мати) не потребують високої кваліфікації робітників, однак працюють лише при їх притиску тиском води, а при протилежному тиску води потребують улаштування притискної стінки і, як правило, не можуть виконувати несучих функцій.

Найбільш перспективними для ремонтних робіт бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій є композиційні матеріали на основі цементу, що працюють за принципом інтегрально-капілярної дії. Вони здатні не тільки зовні захищати конструкцію, але і формувати в поровому просторі контактного шару бетону конструкції ущільнені кристалічними новоутвореннями бар'єр, що перешкоджає фільтрації води як усередину конструкції, так і назовні. Тому отримання високоякісного матеріалу для ремонтних і гідроізоляційних робіт, що поєднує в собі корисні властивості сухих сумішей інтегрально-капілярної дії і рулонних матеріалів, є актуальним завданням.

#### Завдання дослідження:

- проаналізувати теоретично й експериментально довести можливість поєднання поліефірного волокна у вигляді нетканого матеріалу об'ємної структури з цементною матрицею;

- експериментально обґрунтувати введення хімічних сполук для синтезу додаткових кристалогідратів на поверхні поліефірного волокна, що дасть змогу захистити поверхню волокна від лужного середовища порового електроліту цементного каменю.

**Методи дослідження.** Методами рентгенофазового, диференційно-термічного аналізу та електронної мікроскопії досліджувалися продукти гідратації цементного каменю і мікроструктури композита.

**Результати дослідження.** У результаті проведених досліджень встановлено, що поліефірне волокно на силіконовому апреті забезпечує здатність волокна служити підкладкою для продуктів гідратації цементу, що, з одного боку, захищає її поверхню від гідролізу в лужному середовищі, а з другого – сприяє найкращому затисканню фібри в структурі цементного каменю (рис. 1).

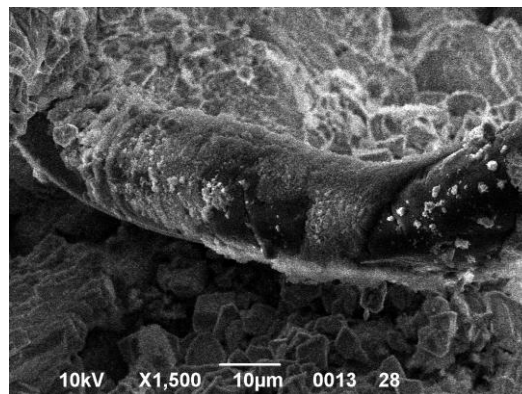


Рис. 1. Затискання поліефірного волокна в цементному камені через 28 днів тверднення, електронний мікроснімок

Силікони – це, як правило, органосилоксанові полімери (поліорганосилоксани) зі структурною формулою  $[R_2SiO]_n$ , де R – органічна група. Ці групи можуть мати дипольний момент щодо силоксанового ланцюга, отже, забезпечувати силіконовій плівці гідрофільність і електроповерхневий потенціал, тобто здатність служити підкладкою для продуктів гідратації цементу. Дипольний момент визначається будовою силоксанової групи, що саме викликає поляризацію зв'язку кремнію з вуглеводнем. Виключно гнучкий силоксановий ланцюг Si-C і Si-O реагує на дипольний момент і «намагається» розташувати силоксанові ланки таким чином, щоб позитивно заряджений кремній однієї ланки розташовувався навпроти негативно зарядженого атома кисню іншої ланки. У результаті виникає своєрідна спіральна конструкція, запропонована М.М. Левицьким [1,3]. При цьому вуглеводневі радикали спрямовані назовні, а гідрофільні «головки» втягуються всередину (рис. 2).

Така будова дає змогу органічно вбудовуватися в метрики ґраток водним структурам, тому що, незважаючи на відмінності в будові «жирних хвостів» молекул і їх гідрофільних «головок», спостерігається закономірність у значеннях їх періодів.

В.І. Лобишев із співробітниками запропонував комп'ютерний модульний дизайн параметричних структур води. В об'ємі води основний структурний елемент, показаний на рис. 3, також утворюється не лінійним, а закрученим у спіраль, з кутовим параметром  $132^\circ$  [2].

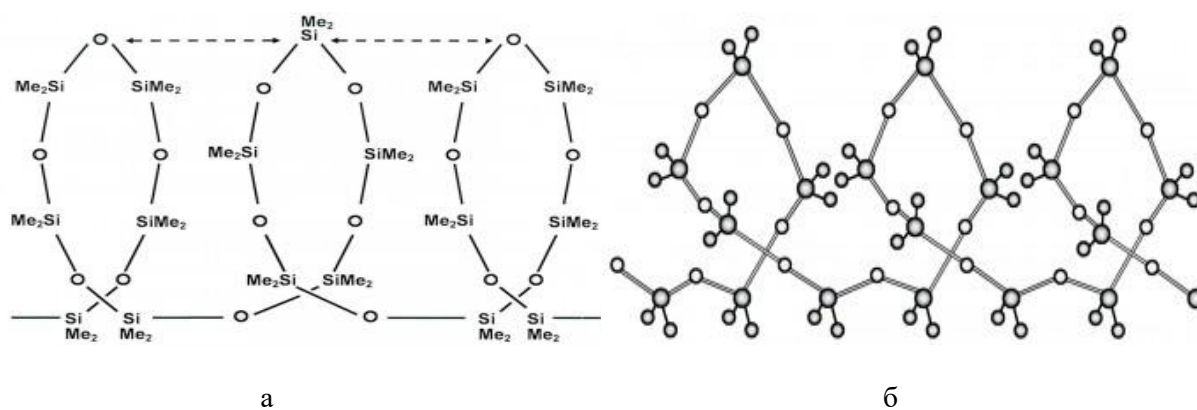


Рис. 2. Силоксановий ланцюг:  
 а – спіральна конструкція силоксанового ланцюга;  
 б – об’ємна модель силоксанового ланцюга

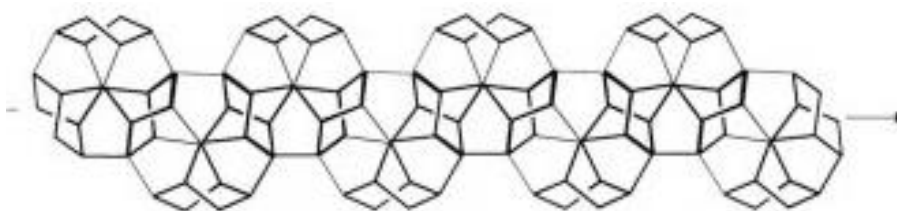
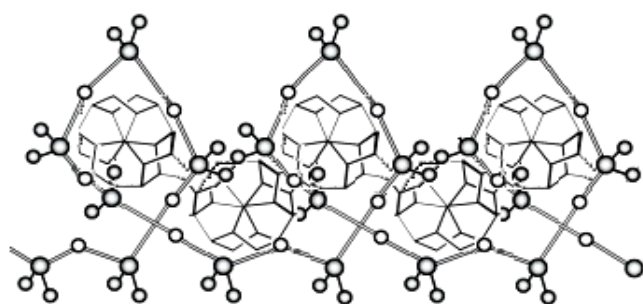


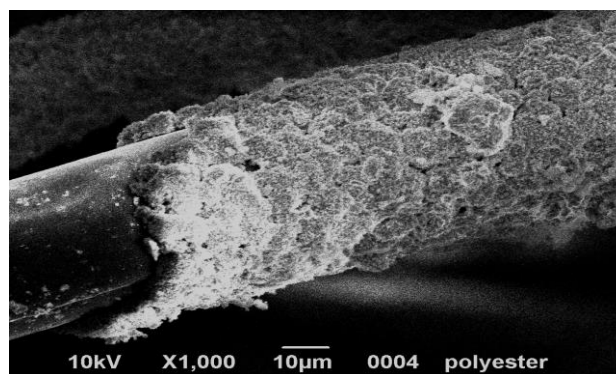
Рис. 3. Формування структури води, спіраль 30/11, вільні Н-зв’язки виділені жирним

При цьому системоутворююча ієрархічна структура води відіграє роль матриці або «будівельних риштувань» для самоорганізації просторових структур при формуванні кристалічної обойми на поверхні поліефірного волокна. Елементи збірки таких

систематизованих структур подано на електронному знімку (рис. 4,а). При пересіченні водних плівок іонами в процесі гідрації цементу відбувається зростання кристалів на поверхні поліефірного волокна (рис. 4,б).



а



б

Рис. 4. Формування кристалічної обойми на силіконовій плівці поліефірного волокна:  
 а – структурна модель силоксанового ланцюга з вбудованим спіралевидним структурним елементом води; б – зростання кристалічних структур на поверхні поліефірного волокна, обробленого силіконовим апретом

Теоретично обґрунтовано і визначено склад комплексу хімічних сполук. На процеси структуроутворення великий вплив мають гідроксильні групи гідроксидів лужноземельних металів. Найбільший ефект при малих концентраціях досягається при спільній дії катіонів та однойменних гідроксидів, при якому коагуляційні зв'язки, що виникають, перетворюються в більш міцні конденсаційно-кристалізаційні структури. Такі структури мають високу міцність внаслідок безпосередніх фазових контактів між частинками. При цьому міцність зростає зі зменшенням пористості і розмірів часток не

тільки через збільшення числа контактів, але і внаслідок меншої ймовірності наявності всередині частинок небезпечних дефектів.

Таким чином, твердження про те, що підвищити міцність зчеплення поліефірного фіброволокна з цементним каменем можна шляхом його обробки силанами, було підтверджено у роботі експериментально, методами електронної мікроскопії. На користь поліефірного волокна може свідчити і те, що його ціна менша у 5-10 разів по відношенню до інших полімерних волокон (табл. 1). Крім того, значна частина волокна переробляється із вторинної сировини (пластикових пляшок).

Таблиця 1

Ціни на різні волокна в порівнянні з поліефірним технічним волокном

№ п/п	Вид волокна	Ціна у дол. США за 1 кг
1	Поліефірні	3
2	Високомолекулярний поліетилен	14-17
3	Вуглецеві волокна	15-2000
4	Скляні волокна	
	Е-типу	3
	S-2-типу	15
5	Поліпропіленові	50
6	Керамічні	1000

Розрахунковим шляхом було встановлено вплив мікроармуючих добавок на міцнісні і пружні властивості цементних композиційних матеріалів. Установлено, що наповнення цементної матриці мікрволокнами знижує

модуль пружності композита до 30 %, що відповідно підвищує його пластичні властивості і може служити демпфером у цементному камені (табл. 2).

Таблиця 2

Розрахункові значення модуля пружності і міцності цементних композитів з різними наповнювачами

Матеріал	Модуль пружності наповнювача $E$ , МПа	Модуль пружності композита $E_c$ , МПа	Міцність композита при стиску $R$ , кгс/см <sup>2</sup> (МПа)	Відносний об'єм	
				цементного каменю $V_T$	заповнювача $V_{me}$
Поліпропіленове волокно	3600	17180	144,82 (14,48)	0,7	0,3
Поліефірне волокно	8500	18650	175,28 (17,53)	0,7	0,3
Скляне волокно	8000	18500	172,04 (17,20)	0,7	0,3
Кварцовий пісок	45000	29600	493,55 (49,36)	0,7	0,3
Цементний камінь	23000	23000	282,42 (28,24)	0,7	0,3

Застосування поліефірних волокон по відношенню до поліпропіленових більш перспективне, оскільки на поліпропіленових волокнах, за даними, отриманими у ході експерименту, не спостерігалось зростання кристалогідратів (рис. 5) на відміну від

поліефірних (рис. 4). Кристалічна обійма на поліефірному волокні захищає його поверхню від гідролізу і сприяє спільній роботі цементної матриці і волокна, що підвищує деформативно-міцнісні і гідрофізичні показники цементних композитів.

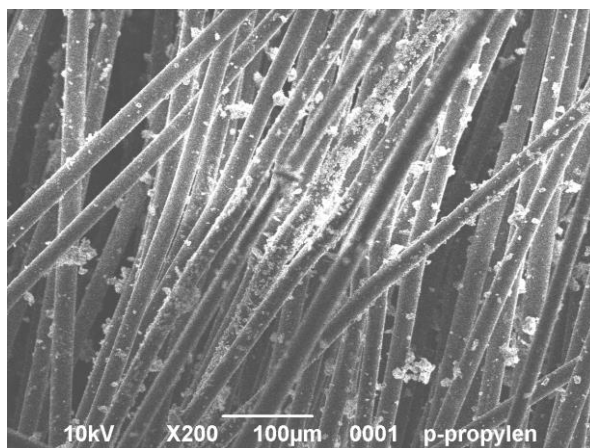


Рис. 5. Електронно-мікроскопічні знімки поліпропіленового волокна з витяжки цементного складу інтегрально-капілярної дії на 28 добу твердіння

**Висновок.** Доведена можливість введення поліефірного армуючого компонента в цементну матрицю; теоретично обґрунтовано і визначено склад комплексу хімічних сполук,

що надають можливість отримати додаткові кристалічні фазові структури на поверхні поліефірного волокна, подібні за походженням до кристалогідратів цементного каменю.

### Список використаних джерел

1. Левицкий, М.М. Многоликие силоксаны - URL [Электронный ресурс] / М.М. Левицкий. – Режим доступа: <http://him.1september.ru/2003/45/1.htm>.
2. Лобышев, В.И. Компьютерный модульный дизайн параметрических структур воды [Текст] / В.И. Лобышев, А.Б. Соловей, Н.А. Бульенков // Биофизика, 2003. – Т. 47. – С. 1011-1021.
3. Гончарова, Г.Ю. Новый подход к выбору соединений для направленного воздействия на свойства ледовых поверхностей [Электронный ресурс] / Г.Ю. Гончарова. – Режим доступа: [http://ice4sport.com/d/660339/d/4\\_4.jpg](http://ice4sport.com/d/660339/d/4_4.jpg).

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

Арутюнов Валерій Ашотович, здобувач кафедри будівельних матеріалів та виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057)706-20-73. E-mail: [kstuca.bmiv@gmail.com](mailto:kstuca.bmiv@gmail.com).

Arutyunov Valery Ashotovich, postgraduate, department building materials and products Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel. (057) 706-20-73. E-mail. [kstuca.bmiv@gmail.com](mailto:kstuca.bmiv@gmail.com).

Стаття прийнята 11.12.2015 р.

УДК 69.036.3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННОГО СТАНУ СФЕРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ПОКРИТТЯ**

Канд. техн. наук Л.В. Гапонова, канд. техн. наук О.А. Калмыков, С.С. Гребенчук

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПОКРЫТИЯ**

Канд. техн. наук Л.В. Гапонова, канд. техн. наук О.А. Калмыков, С.С. Гребенчук

**EXPERIMENTAL-THEORETICAL RESEARCH OF STRESS-STRAIN STATE SPHERICAL SHELL COVERING**

Cand. of techn. sciences L. Gaponova, cand. of techn. sciences O. Kalmykov, S. Grebenchuk

*У статті досліджено характер деформування фрагменту сферичної оболонки покриття системи «Монофант».*

*Стаття містить результати експериментально-теоретичного дослідження напружено-деформованого стану залізобетонної конструкції покриття, що має складну зовнішню і внутрішню геометрії. Отримана в результаті дослідження інформація зумовлює більш коректне відображення навантаження розглянутої оболонки сніговим навантаженням.*

**Ключові слова:** сферична оболонка покриття, гідростатичний метод, експериментальні дослідження, напружено-деформований стан.

*В статье исследован характер деформирования фрагмента сферической оболочки покрытия системы «Монофант».*

*Статья содержит результаты экспериментально-теоретического исследования напряженно-деформированного состояния железобетонной конструкции покрытия, имеющей сложную внешнюю и внутреннюю геометрии. Полученная в результате исследования информация предопределяет более корректное отображение нагружения рассмотренной оболочки снеговой нагрузкой.*

**Ключевые слова:** сферическая оболочка покрытия, гидростатический метод, экспериментальные исследования, напряженно-деформированное состояние.

*The paper contains the results of experimental and theoretical research of the stress-strain state of reinforced concrete roof structure which has complex internal and external geometries. By the complex external geometry refers the spherical surface of the shell shape and by complex internal - that it contains voids filled with insulation material. The paper assessed the technological aspects of the production of monolithic reinforced concrete structures specified form, fabricated by method of wet shotcrete. In turn, built finite element model of the structure allows analyzing the impact of qualitative and quantitative attributes describing the load applied to the surface of the shell to the nature of its deformation. Experimental verification of the theoretical data was obtained in the laboratory. Investigated shell model with plan dimensions was 2.2 x 2.2 meters. The loading was carried out by hydrostatic method (by the device over the surface of the shell a special "honeycomb" pool with filled water). Designed for the experimental measurement system has allowed building the package surface shell deformation under various schemes of loading. These findings determine more correct display of load considered shell by snow load.*

**Keywords:** spherical shell coating; hydrostatic method; experimental studies; stress-deformovannyy state.

**Вступ.** Технологічні процеси та прийоми сучасного монолітного будівництва, а також сучасний стан теорії розрахунку залізобетонних

конструкцій у цілому, дають змогу створювати довільні криволінійні конструктивні форми, проектувати і зводити будівлі та споруди,

унікальні за своєю архітектурою, з довільним плануванням приміщень, великими прогонами і т.д. Однак, як правило, сміливі і нестандартні рішення архітекторів, унікальність яких нерідко забезпечується за рахунок створення несучих конструктивних елементів складної конфігурації, призводять до значного подорожчання проекту, викликаного в першу чергу чималою перевитратою матеріалу, а також необхідністю розроблення унікальних технологічних операцій і виготовленням «разової» опалубки.

У зв'язку зі сказаним запропонована нова конструктивна система «Монофант» (аббревіатура: монолітна фантазія), яка спрямована на вирішення вищезазначеної проблеми [1]. Відмінною особливістю цієї системи є використання всередині монолітного залізобетонного елемента вкладишів-пустотоутворювачів. Вкладиші можуть бути виконані з будь-якого доступного, легкого матеріалу (наприклад, пінополістиролу, пінопласту, пінополіуретану та ін.). Поміщені всередині залізобетонної оболонки вкладиші перетворюють переріз згинаного елемента з прямокутного у двотавровий, одна полиця якого сприймає напруги розтягнення, інша – стиснення. На стадії проектування визначається необхідна товщина залізобетонних полиць перерізу, виходячи з чого призначаються розміри вкладиша.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Поставлені в статті завдання вирішувались із застосуванням методів, що базуються на основних положеннях фізичного і математичного моделювання. По завершенню теоретичного аналізу виконані експериментальні дослідження напружено-деформованого стану фрагментів нової конструктивної будівельної системи багатокритеріальної відповідності «Монофант» гідростатичним методом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** Моделюванням та розрахунком таких систем, з урахуванням їх особливостей займалися безліч видатних науковців: О.К. Аксентян, П.А. Жилін, Е.І. Григолюк, А.Л. Гольденвейзер, Л.М. Кондратьєва, А.І. Лур'є, І. Мек'явік, В.В. Новожилов, А.В. Погорелов, Ю.Н. Работнов, І.Г. Терегулов, С.П. Тимошенко, В.С. Черніна, К.Ф. Черних, В.С. Шмуклер та ін. [2-7].

У роботі [2] проведено аналіз деформативного стану найвідоміших залізобетонних сферичних оболонок, автор – доктор наук Івана Івана Мек'явік описує важливість саме для оболонок досліджувати не тільки деформативну, але й постдеформативну поведінку, оскільки вона має безпосередній вплив на величину руйнівного навантаження.

Автором виявлена залежність значення критичного навантаження від геометрії оболонки, матеріалу, з якого виготовлена оболонка, розташування арматурної сталі і типу навантаження. Також встановлено, що сферичні оболонки можуть бути надзвичайно чутливі до незначних відхилень від ідеальних параметрів (геометрія, граничні умови, нелінійні властивості матеріалів тощо).

П.А. Жилін у своїх роботах [3] розглянув теорії простих оболонок, а також двошарових та тришарових оболонок симетричної побудови та постійної товщини. За допомогою наведеного методу стає можливим розглядати оболонки складної внутрішньої побудови, чого не можна зробити при класичних методах розрахунку (у тому числі через їх складність).

Напружено-деформований стан кривих оболонок детально розглянула д-р техн. наук Л.М. Кондратьєва у своїй роботі [4]. Вона довела, що такі оболонки раціонально використовувати у будівлях з великими прогонами, оскільки зломи серединної поверхні працюють як ребра жорсткості. При цьому параметри Ляме та кривизни оболонки повинні відповідати рівнянням Кодацци-Гаусса. Математична модель оболонки урахує геометричні та фізичні співвідношення, функціонал повної енергії деформації, з умови мінімуму якого отримують рівняння рівноваги в переміщеннях.

Безмоментна теорія А.Л. Гольденвейзера [5] при розрахунку напружено-деформованого стану базується на тому, що, окрім основного напруженого стану, в оболонці виникають крайові ефекти, які мають локальний характер. Для розрахунку напружено-деформованого стану ці фактори розраховуються окремо, а потім об'єднуються за допомогою задавання краєвих умов для оболонки.

Закономірності включення у залізобетонну конструкцію вкладишів із іншого матеріалу та принцип розрахунку таких конструкцій викладено у роботі [6].

У роботі [7] описані принципи розроблення оптимальних будівельних структур. З урахуванням цих факторів було розроблено декілька систем, зокрема «РАМПА», «ІКАР», «ДОБОЛ».

**Визначення мети та задачі дослідження**

**Мета дослідження** – дослідити характер деформування фрагменту сферичної оболонки покриття системи «Монофант».

**Для досягнення мети поставлені такі задачі:**

1. Дослідити напружено-деформований стан (НДС) полегшеної сферичної оболонки покриття.

2. Порівняти отримані експериментальні дані з теоретичними та підтвердити коректність розрахункової моделі оболонки.

**Об'єкт дослідження** – фрагмент сферичної оболонки покриття, що має розміри в плані 2200x2200 мм. Загальна схема конструкції наведена на рис. 1. Зовнішня і внутрішня бетонні обшивки вироблялися товщиною 50 мм, а між ними розташовувався вкладиш-пустотоутворювач з екструдованого пінополістиролу товщиною 160 мм. Обшивки армовано однаково сіткою 200x200 мм,  $d = 6$  мм. По діагональних напрямках оболонки розташовувалися забезпечуючі спільну роботу обшивок ребра шириною 100 мм, які армовані плоским каркасом з  $d = 10$  мм.

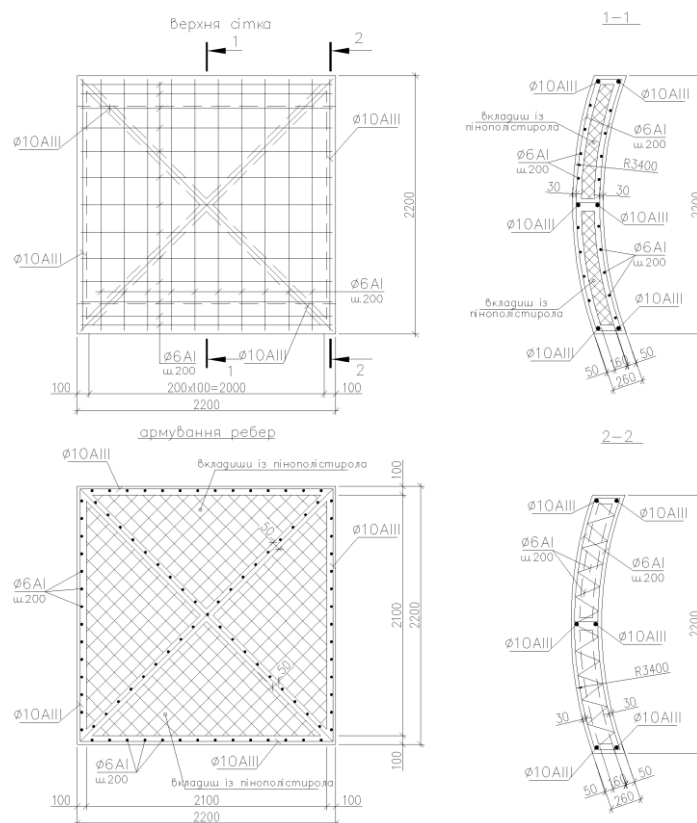


Рис. 1. Геометрія й армування оболонки

**Основна частина дослідження, отримана в результаті дослідження.** Розроблена конструктивна система «Монофант» потребує аналізу напружено-деформованого стану запроєктованого і виготовленого фрагмента сферичної оболонки покриття. Як відомо, для північноєвропейського регіону в цілому,

зокрема для України, найбільш суттєвою складовою навантаження на елементи покриття будівель і споруд є снігове навантаження. Урахування впливу снігового навантаження регламентується як загальноєвропейськими, так і національними нормами [10, 11], при цьому найбільш впливовим фактором на величину і



характер розподілу навантаження від снігового навантаження є конфігурація поверхні покриття. Ураховуючи сказане, в рамках цього дослідження побудована скінченноелементна модель розробленої оболонки в середовищі ПК «ANSYS» (рис. 2). Інструментарій згаданого розрахункового комплексу дає змогу проводити автоматичну триангуляцію складних форм на

кінцеві об'ємні елементи шляхом автоматичного імпорту з допоміжного програмного комплексу тривимірного моделювання (у цьому випадку використовувався ПК «Autodesk Inventor»). Побудована модель складалася з 459 061 елементів і 261 791 вузлів.

На рис. 2 показано побудову сітки скінченних елементів для розглянутого об'єкта.

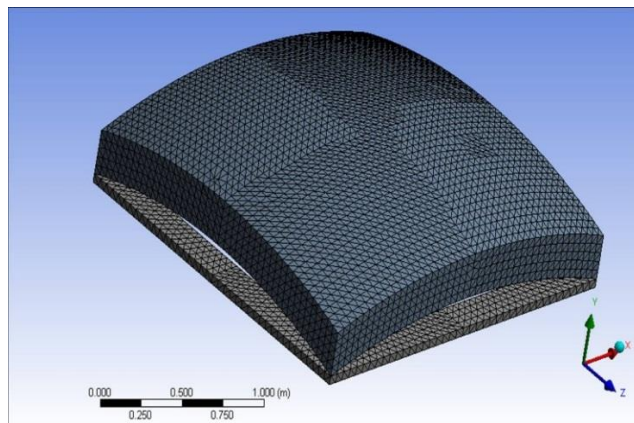


Рис. 2. Побудова сітки скінченних елементів для оболонки

**Експериментальні дослідження анізотропної оболонки.** Для випробовування використовувався метод дослідження, оснований на гідростатичному навантаженні, коли навантаження задається вагою води, та її величина регулюється висотою водяного стовпа [8, 9].

За основу для наведених випробовувань використали пристрій для натурних випробовувань плит та оболонок при дії вертикальних короточасних та довготривалих навантажень (рис. 3) [8].

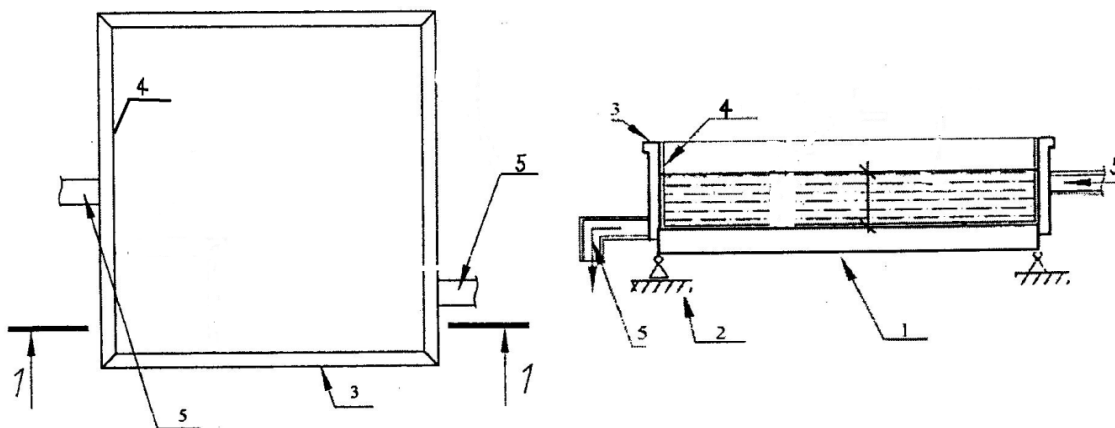


Рис. 3. Схема пристрою для натурних випробовувань

Пристрій має у собі випробовувану конструкцію 1, установлену на опори 2, щитки 3, що створюють резервуар та встановлені по контуру навантажуваної області, гідрофобну плівку 4 усередині резервуара, підвідні та

відвідні патрубки 5. Ця конструкція відзначається простотою та невеликою вартістю, вона легко сполучається із системою вимірювання. У випробуваннях сферичної

оболонки цій пристрій набув вигляду стенда, зображеного на рис. 4.

Для проведення експериментальних досліджень оболонка була встановлена на спеціально виготовлений каркас (рис. 4, 5), виконаний з профілю квадратного перерізу



Рис. 4. Стенд для випробовувань сферичної оболонки



Рис. 5. Каркас для випробовувань

*Система вимірювання.* Для визначення якісного та кількісного характеру деформування об'єкта дослідження виконувалися заміри вертикальної складової переміщень оболонки у 25 точках (рис. 6, 7). Беручи до уваги значну жорсткість досліджуваної конструкції, котра в свою чергу є основним фактором малості величин очікуваних переміщень, у реальному експерименті

використовувалися індикатори годинникового типу з ціною поділки шкали 2 мк та ходом штока 2 мм (рис. 8, 9). Індикатори закріплювалися у вказаних точках за допомогою спеціально виготовлених каркасів, виконаних із профілю квадратного перерізу 40x3 мм та металевого прута 10x10 мм, котрі у свою чергу за допомогою зварювання прикріплювалися до основного експериментального каркаса.



Рис. 6. Конструкція для закріплення індикаторів

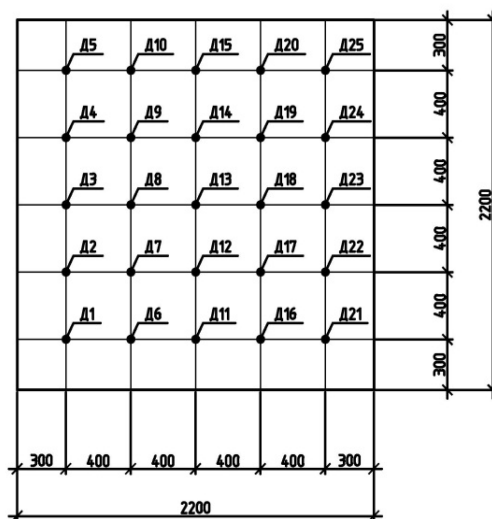


Рис. 7. Схема розстановки індикаторів



Рис. 8. Індикатори годинникового типу



Рис. 9. Закріплення індикаторів

*Система навантаження.* Навантаження досліджуваної оболонки виконувалося гідростатичним методом, який дає змогу максимально точно, на думку авторів, моделювати дію рівномірно-розподіленого навантаження, що прикладене до поверхні конструкції. Цей метод припускає спорудження над досліджуваною конструкцією спеціального басейну, при заповненні рідиною якого створюється гідростатичний тиск на дно басейну, котрим, власне, і є поверхня об'єкта

дослідження. Ураховуючи складність конфігурації навантажуваної поверхні дослідження, для рівномірного розподілення тиску від стовпа води стало необхідним спорудження додаткових перегородок усередині басейну у подовжньому та поперечному напрямках. Таким чином, споруджений над оболонкою басейн являв собою комірчасту систему, що складається з 121 комірки розмірами 200x200 мм та має висоту 1200 мм (рис. 10, 11).



Рис. 10. Комірчаста система, споруджена над оболонкою



Рис. 11. Загальний вигляд комірчастого басейну

Стінки басейну та внутрішні перегородки виконувалися із семишарової дощатоклеєної фанери, товщина якої для зовнішніх стінок –

20 мм, для внутрішніх перегородок – 10 мм. Зовнішні стінки басейну опиралися на випробуваний каркас, а внутрішні

перегородки жорстко прикріплювалися до зовнішніх стінок за допомогою саморізів та клею. Між внутрішніми перегородками басейну та оболонкою встановлювався проміжок 10 мм (рис. 12), що під час зведення заповнювався монтажною піною, тим самим забезпечуючи розподілення власної ваги басейну виключно на каркас для випробовувань.



Рис. 12. Установлений проміжок між внутрішніми перегородками басейну та оболонкою

У кожному із утворених комірок улаштувалися спеціально виготовлені поліетиленові футляри, що в цілому забезпечували герметичність басейну, виконуючи роль гідрофобної плівки (рис. 13-18).

Навантаження виконувалося за чотирма схемами, аналогічними теоретичним дослідженням оболонки (рис. 19).



Рис. 13. Корегування рівня води у комірках



Рис. 14. Заповнення комірок водою



Рис. 15. Корегування рівня води у комірках



Рис. 16. Комірка, заповнена водою

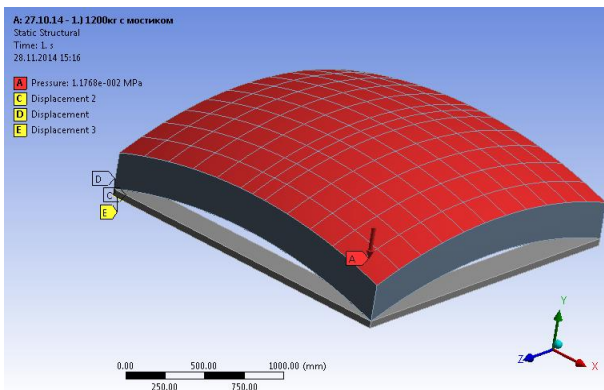


Рис. 17. Комірки, заповнені водою

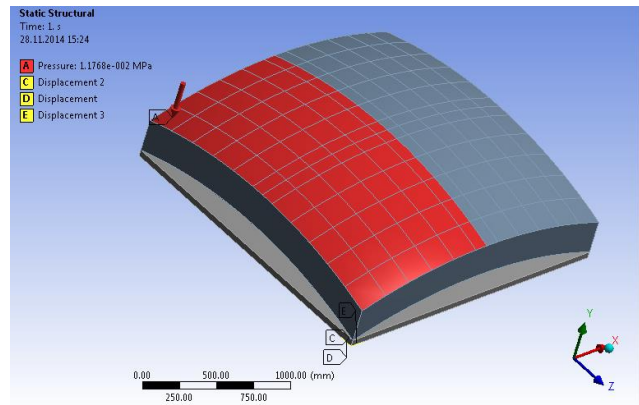


Рис. 18. Комірки, заповнені водою

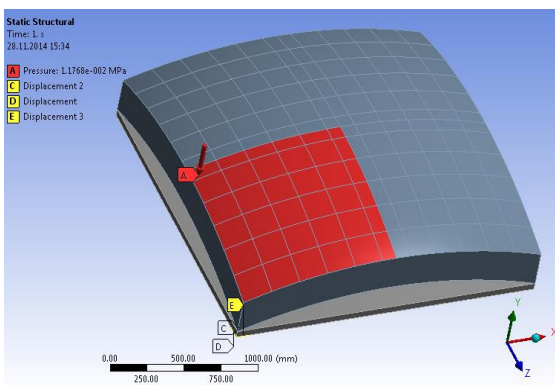
а



б



в



г

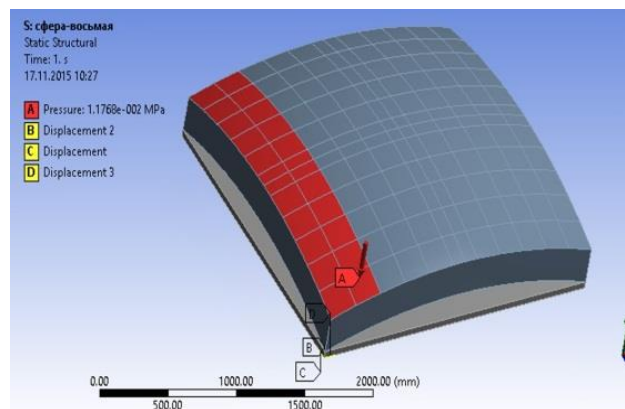


Рис. 19. Схеми навантаження: а – повна; б – 1/2 поверхні; в – 1/4 поверхні; г – 1/8 поверхні

За кожною з чотирьох схем виконувалося 6 незалежних циклів завантаження/розвантаження. До аналізу бралися усереднені дані

за результатами проведення шести завантажень, що наведені у таблиці та на рис. 20.

Усереднені дані індикаторів

Датчик	Вертикальні переміщення, мм							
	повне	Δ	1/2 поверх- ні	Δ	1/4 поверх- ні	Δ	1/8 поверх- ні	Δ
1	0,275	0,021	0,117	0,004	0,044	0,026	0,016	0,006
2	0,382	0,009	0,136	0,000	0,055	0,024	0,023	0,006
3	0,419	0,082	0,153	0,021	0,068	0,013	0,027	0,007
4	0,377	0,013	0,133	0,003	0,051	0,003	0,020	0,009
5	0,264	0,030	0,115	0,006	0,039	0,031	0,015	0,007
6	0,383	0,008	0,157	0,023	0,142	-0,021	0,042	0,001
7	0,597	-0,021	0,195	0,004	0,149	-0,018	0,054	0,000
8	0,496	0,026	0,197	0,011	0,159	-0,003	0,063	-0,004
9	0,590	-0,014	0,185	0,014	0,093	0,003	0,049	0,005
10	0,387	0,004	0,153	0,027	0,050	0,004	0,039	0,003
11	0,417	0,084	0,231	0,020	0,208	0,014	0,077	-0,009
12	0,490	0,031	0,257	0,031	0,231	-0,014	0,091	0,000
13	0,686	-0,054	0,281	0,022	0,178	-0,026	0,096	-0,001
14	0,495	0,026	0,265	0,023	0,156	-0,005	0,095	-0,004
15	0,420	0,081	0,241	0,010	0,064	0,019	0,080	-0,012
16	0,384	0,007	0,295	0,005	0,233	-0,016	0,108	-0,016
17	0,595	-0,019	0,331	-0,010	0,237	0,011	0,130	-0,008
18	0,498	0,021	0,349	0,012	0,227	-0,018	0,184	-0,015
19	0,593	-0,017	0,335	-0,006	0,151	-0,020	0,127	-0,005
20	0,381	0,010	0,308	-0,008	0,059	0,020	0,103	-0,012
21	0,268	0,026	0,238	-0,039	0,178	0,021	0,120	-0,017
22	0,386	0,004	0,349	-0,008	0,236	-0,013	0,138	-0,011
23	0,413	0,088	0,405	-0,007	0,211	0,011	0,223	0,003
24	0,380	0,010	0,358	-0,017	0,144	-0,023	0,135	-0,008
25	0,275	0,021	0,246	-0,047	0,047	0,019	0,118	-0,015

Зіставлення отриманих експериментальних даних з теоретичними наочно демонструє коректність розрахункової моделі оболонки, а також чистоту проведеного експерименту (рис. 21).

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** З проведеного дослідження випливає, що конструктивні елементи наділені всіма необхідними міцнісними та жорсткісними

атрибутами несучих елементів будівель з монолітного залізобетону.

У цілому слід зауважити, що виконані дослідження визначають репрезентативність системи «Монофант», що відкриває принципово нові можливості у монолітному домобудуванні. Наочним підтвердженням сказаному є проект комплексу у м. Харків, будівництво якого заплановане на весну 2016 року (рис. 22).

Прогин, мм

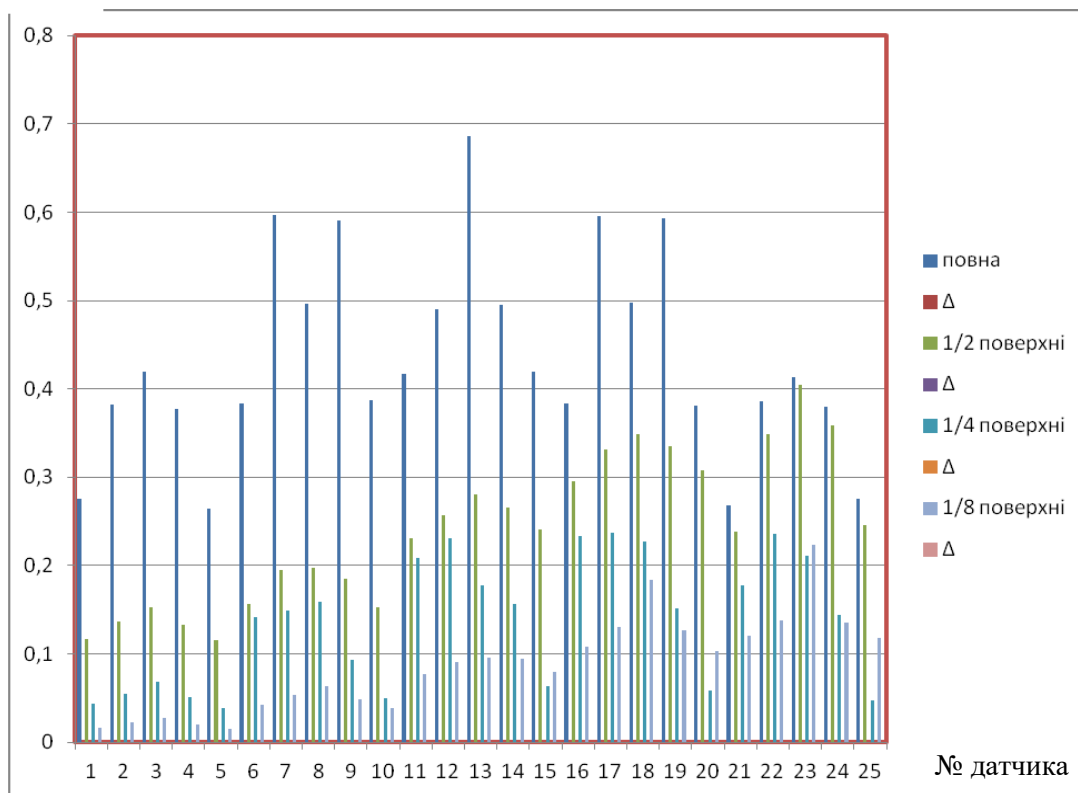
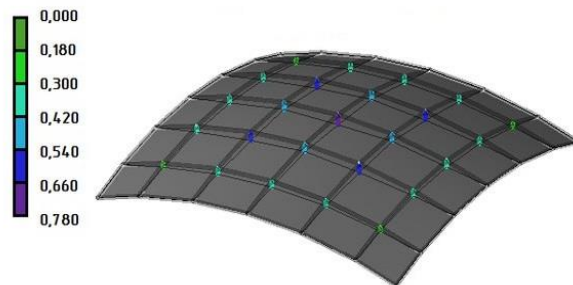
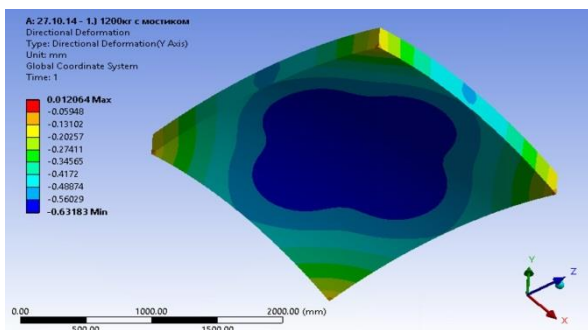


Рис. 20. Графічне зображення вертикальних переміщень оболонки

а)



б)

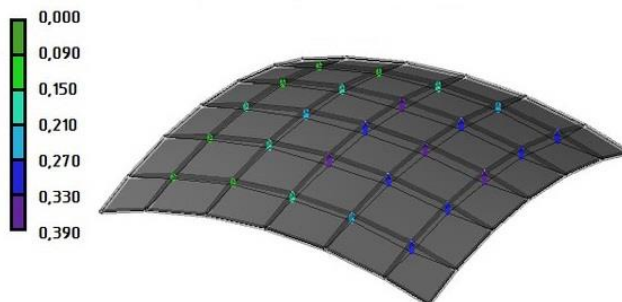
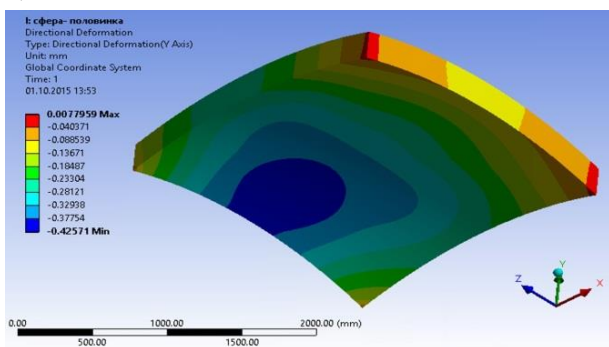
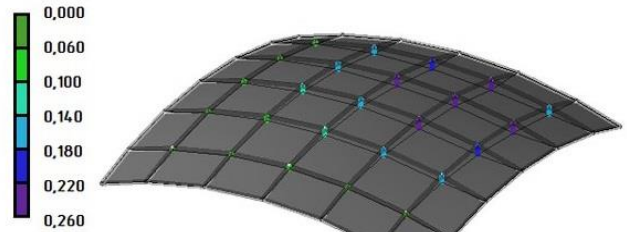
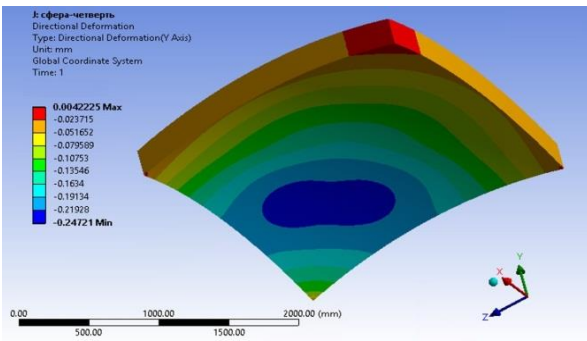


Рис. 21. Порівняльний аналіз ізоліній переміщень: а – рівномірно розподілене навантаження на всю поверхню; б – рівномірно розподілене навантаження на 1/2 поверхні

В)



Г)

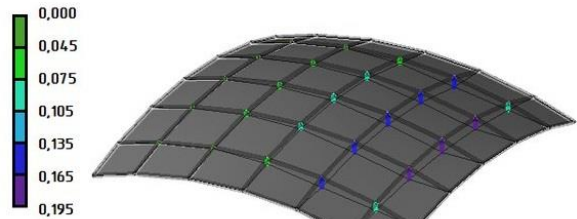
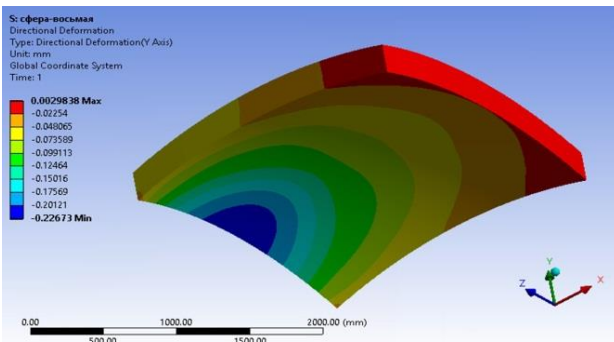


Рис. 21. Порівняльний аналіз ізоліній переміщень: в – рівномірно розподілене навантаження на 1/4 поверхні; г – рівномірно розподілене навантаження на 1/8 поверхні (продовження)

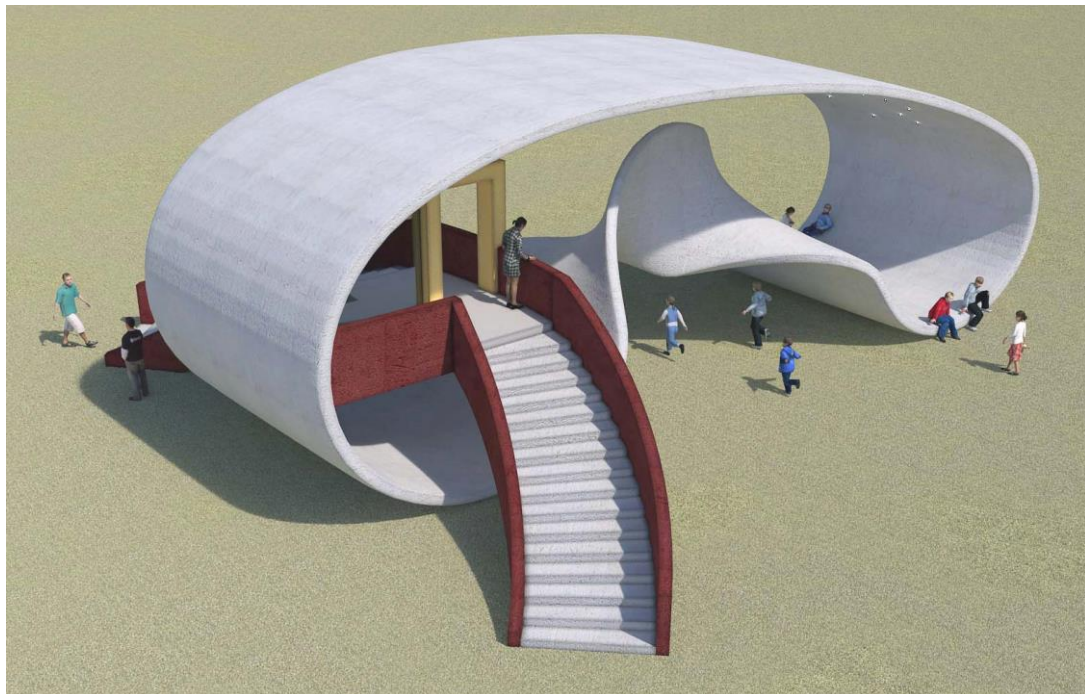


Рис. 22. Проект (система «Монофант»)



*Список використаних джерел*

1. Патент на корисну модель №89464 Україна, Е 04В 1/В (2006.01) Каркасна будівля «Монофант» / В.С. Шмуклер, В.М. Бабаєв, С.О. Бугаєвський, К.В. Бережна, І.А. Карякін, В.І. Кондращенко, І.М. Сеїрські. – № u 2013 11919; заявка 10.10.2013; публікація 25.04.2014. Бюл. №8.
2. Mekjavić, I. Analiza izbočavanja betonskih sfernih ljusaka [Text] // Tehni ki vjesnik (Zagreb). – 2011. – №18. – Р. 633-639.
3. Жилин, П.А. Прикладная механика. Основы теории оболочек [Текст] / П.А. Жилин. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 167 с.
4. Кондратьева, Л.Н. Напряженно-деформированное состояние, устойчивость и колебания тонких пологих оболочек с изломами поверхности в линейной и геометрически нелинейной постановках [Текст]: дис... д-ра техн. наук: 05.23.17 / Кондратьева Лидия Никитовна. – СПб., 2001. – 248 с.
5. Гольденвейзер, А.Л. Теория упругих тонких оболочек [Текст] / А.Л. Гольденвейзер. – М.: Наука, 1976. – 512 с.
6. Майборода, В.М. Трехслойные железобетонные конструкции [Текст] / В.М. Майборода, В.Ф. Карпюк. – К.: Будівельник, 1990. – 144 с.
7. Шмуклер, В.С. Каркасные системы облегченного типа [Текст] / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Бурак. – Харьков: Золотые страницы, 2008. – 336 с.
8. Патент України на корисну модель №44125, МПК G01M19/00, G01N3/00, G01M5/00. Пристрій для натурних випробувань плит і оболонок / В.С. Шмуклер, А.А. Чупринін, Р. Аббасі. – № u200901598; заявл. 24.02.09; опубл. 25.09.09, Бюл. №12.
9. Шмуклер, В.С. Метод натурних испытаний плит и оболочек [Текст] / В.С. Шмуклер, А.А. Чупринин, Р. Аббаси // Коммунальное хозяйство городов. – 2009. – №90. – С. 450-475.
10. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження й впливи. Норми проектування [Текст]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 58 с.
11. Еврокод 1. Воздействия на конструкции – Часть 1-3: Общие воздействия. Снеговые нагрузки (EN 1991-1-3:2003/A1:2015Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads).

Рецензент д-р техн. наук, професор В.С. Шмуклер

---

Гапонова Людмила Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. Тел. 066-366-00-57. E-mail: lvgaponova@rambler.ru.

Калмиков Олег Олександрович, канд. техн. наук, асистент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. Тел. 067-992-94-27. E-mail: kalmikov88@mail.ru.

Гребенчук Сергій Сергійович, здобувач кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. Тел. 050-301-25-29. E-mail: moisei2529@mail.ru.

Gaponova L., cand. of techn. sciences, associate professor of department of building construction O.M. Beketov national university of urban economy in Kharkiv. Tel. 066-366-00-57. E-mail: lvgaponova@rambler.ru.

Kalmykov O., cand. of techn. sciences, assistant of department of building construction O.M. Beketov national university of urban economy in Kharkiv. Tel. 067-992-94-27. E-mail: kalmikov88@mail.ru.

Grebenchuk S., graduate student of O.M. Beketov national university of urban economy in Kharkiv. Tel. 050-301-25-29. E-mail: moisei2529@mail.ru.

Стаття прийнята 11.12.2015 р.

**РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ**

---

УДК 629.463.03:629.015

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНИ,  
РОЗМІЩЕНОГО НА ВАГОНІ-ПЛАТФОРМІ ПРИ МАНЕВРОВОМУ СПІВУДАРЯННІ**

Канд. техн. наук А.О. Ловська

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНЫ,  
РАЗМЕЩЕННОГО НА ВАГОНЕ-ПЛАТФОРМЕ ПРИ МАНЕВРОВОМ СОУДАРЕНИИ**

Канд. техн. наук А.А. Ловская

**MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMICS OF TANK-CONTAINER, WHICH  
WAS PLACED ON A TRAIN PLATFORM WHEN A TRAIN SHUNTING COLLISION**

Cand. of techn. sciences A.A. Lovskaya

*У статті наведено дослідження динаміки несучої конструкції контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі, при маневровому співударянні з урахуванням зазорів між фітингами та фітинговими упорами, а також переміщення наливного вантажу відносно котла. Результати досліджень дозволили отримати уточнені величини прискорень, які діють на несучу конструкцію контейнера-цистерни при маневровому співударянні.*

**Ключові слова:** контейнер-цистерна, динаміка, математичне моделювання, навантаженість конструкції, прискорення.

*В статье представлены исследования динамики несущей конструкции контейнера-цистерны, размещенного на вагоне платформе, при маневровом соударении с учетом зазоров между фитингами и фитинговыми упорами, а также перемещения наливного груза относительно котла. Результаты исследований позволили получить уточненные величины ускорений, которые действуют на несущую конструкцию контейнера-цистерны при маневровом соударении.*

**Ключевые слова:** контейнер-цистерна, динамика, математическое моделирование, нагруженность конструкции, ускорения.

*The combined transport systems have been developed to improve the efficiency of the transportation process in the direction of international transport corridors. The intensification of liquid cargoes transportation via the territory of Ukraine determined the creation and introduction of tank-containers. To ensure the strength of tank-containers in operation there are a number of regulatory documents regulating requirements for their design and operating conditions. The mathematical model was created to determine the quantities of operational loads which act on a tank-container placed on a train platform when a train shunting collision, considered as the greatest event of loading of the support structure. When a model was created it was taken into account the gaps between the fittings, tank containers and fitting supports the train platform and liquid cargoes movement towards the boiler. The research results allowed to obtain more accurate values of specified accelerations that act on the supporting structure of a tank-container during shunting collision. The maximum accelerations were recorded for the case, when the gap between the fitting and the fitting supports was 30 mm. The research can improve the safety of tank containers when shunting collision and can be used in designing of tank-containers of new generation with increased technical, economic and operational performance.*

**Keywords:** tank-container, the dynamic's, mathematical modeling, loading of construction, accelerations.

**Вступ і постановка проблеми.** Відомо, що Україна є транзитною державою, через територію якої проходять важливі міжнародні транспортні коридори. З метою підвищення ефективності перевізного процесу виникає необхідність створення одиниць рухомого складу нового покоління з підвищеними техніко-економічними та експлуатаційними показниками [1, 2].

Одним з найбільш масових і мобільних видів транспортних засобів, що знайшли використання в міжнародному комбінованому сполученні, є контейнери. Інтенсифікація перевезень наливних вантажів у напрямку міжнародних транспортних коридорів зумовила необхідність розроблення контейнерів-цистерн.

У перспективі прогнозується підвищення рівня затребуваності контейнерів-цистерн при комбінованих перевезеннях, що обумовлено їх інтермодальністю. Це викликає необхідність розроблення та впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн нового покоління.

**Аналіз останніх досліджень.** У роботах [3, 4] наведено результати оптимізації несучої конструкції контейнера-цистерни. Обґрунтовано доцільність проектування та впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн як транспортних засобів. Розроблено удосконалену конструкцію контейнера-цистерни для перевезення нафтопродуктів.

Проте подальший розвиток зазначеного виду транспортування нафти і нафтопродуктів вимагає впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн нового покоління з поліпшеними техніко-економічними показниками.

Дослідження динамічних навантажень, що діють на контейнер-цистерну, розміщену на вагоні-платформі, при маневровому співударянні, наведені в [5].

Визначення прискорень, що діють на контейнер-цистерну, проводилося з урахуванням зазорів між фітинговими упорами вагона-платформи та фітингами контейнера-цистерни. Повздовжнє зусилля, що діє на вагон-платформу від вагона-бойка, склало близько 2200-2800 кН залежно від навантаженості контейнера-цистерни.

Дослідження проведено стосовно контейнерів-цистерн для перевезення бензину та азотної кислоти масою брутто відповідно 21,9 і 24,0 т.

Важливо зазначити, що максимальна величина повздовжньої сили удару, яка діє на

контейнер-цистерну, що розміщена на вагоні-платформі, при маневровому співударянні складає 3,5 МН [6]. Тому з метою отримання уточненого значення прискорень, які діють на контейнер-цистерну в експлуатації, необхідним є проведення додаткових досліджень.

**Мета статті.** Математичне моделювання динаміки контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі, при маневровому співударянні.

**Основний матеріал дослідження.** З метою забезпечення міцності контейнерів-цистерн в експлуатації існує ряд нормативних документів, які регламентують основні вимоги щодо їх конструкцій та умов експлуатації: “Правила изготовления контейнеров Российского Морского Регистра Судоходства”, “Международный Кодекс морской перевозки опасных грузов (IMDG Code)” і ГОСТ 31232 “Контейнеры для перевозки опасных грузов. Требования по эксплуатационной безопасности”.

Найбільші величини динамічних навантажень, що діють на несучі конструкції контейнерів-цистерн та їх кріпильні пристрої в експлуатації, зазначені в ГОСТ 31232 [7]. Оговорюється, що конструкція повинна витримувати дію власних сил інерції, які виникають під час руху транспортного засобу, а також при співударянні вагонів при маневрових операціях, у тому числі при розпуску з гірок, екстремому гальмуванні в поїздах на малих швидкостях руху, при таких прискореннях: у повздовжньому напрямку  $P_{np} - 2g$ ; поперечному напрямку  $P_n - 1g$ ; у вертикальному напрямку  $P_g - 2g$ ; при співударяннях: для завантаженого контейнера – 4g; для порожнього (з метою перевірки арматури) – 5g.

Для визначення експлуатаційних значень динамічних навантажень, що діють на несучу конструкцію контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі, при співударянні в умовах маневрових операцій використано математичну модель, наведену в роботі [5]. Схема дії повздовжньої сили на вагон-платформу з контейнерами-цистернами, розміщеними на ньому, наведена на рисунку.

Дослідження проведено стосовно вагона-платформи моделі 13-4085, побудови ВАТ “Дніпровагонмаш”, і контейнера-цистерни моделі ТК25, побудови ВАТ “Зареченский завод химического машиностроения”.

Зазначений контейнер-цистерна має типорозмір за ISO – 1СС та призначений для транспортування ПЗМ, бензину, дизпалива,

мастила моторного, сожі, сольвенту нафтового, нефрасу, піноутворювача.

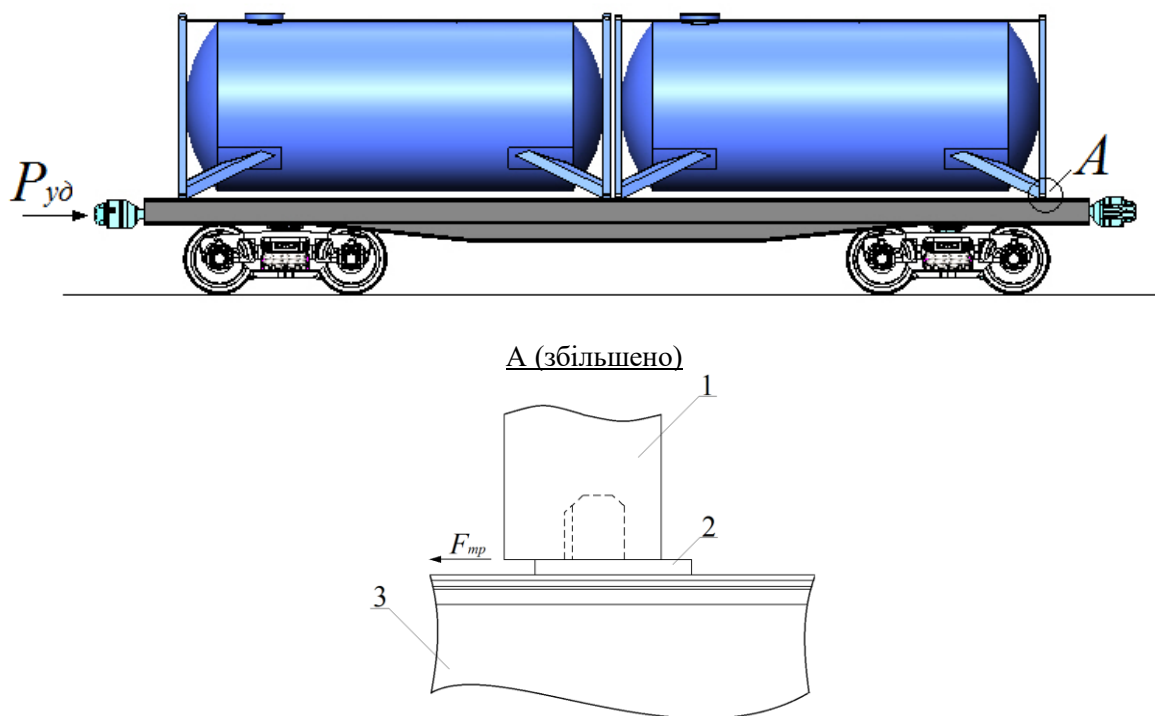


Рис. Схема дії повздовжньої сили на вагон-платформу з контейнерами-цистернами, розміщеними на ньому:

1 – фітинг; 2 – фітинговий упор; 3 – повздовжня балка вагона-платформи

Контейнер-цистерна розглядався як прикріплена маса відносно рами вагона-платформи, що має податливість у повздовжньому напрямку за рахунок наявності зазорів між фітинговими упорами вагона-платформи та фітингами контейнера-цистерни. Тобто контейнер-цистерна має власну ступінь

вільності до моменту упору фітинга у фітинговий упор, після чого контейнер-цистерна повторює траєкторію переміщення вагона-платформи. Зв'язок між рамою вагона-платформи та фітингами контейнера-цистерни імітувався як фрикційний.

$$M'_{\text{ПЛ}} \cdot \ddot{x}_{\text{ПЛ}} + M_{\text{ПЛ}} \cdot h \cdot \ddot{\varphi}_{\text{ПЛ}} = S_a - \sum_{i=1}^2 S_i, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} I_{\text{ПЛ}} \cdot \ddot{\varphi}_{\text{ПЛ}} + M_{\text{ПЛ}} \cdot h \cdot \ddot{x}_{\text{ПЛ}} - g \cdot \varphi_{\text{ПЛ}} \cdot M_{\text{ПЛ}} \cdot h = \\ = l \cdot F_{\text{ТР}} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \Delta_2) + F_{\varphi}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$M_{\text{ПЛ}} \cdot \ddot{z}_{\text{ПЛ}} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{\text{ТР}} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) - \sum_{i=1}^3 F_{z_i}, \quad (3)$$

$$\left(m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij}\right) \cdot (\dot{x}_{\text{плл}} - \dot{x}_i) + \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot (\dot{\varphi}_{\text{плл}} - \dot{\varphi}_i) - \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \dot{\xi}_{ij} = S_i, \quad (4)$$

$$\left(I_{\theta} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}^2\right) \cdot (\dot{\varphi}_{\text{плл}} - \dot{\varphi}_i) + \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot (\dot{x}_{\text{плл}} - \dot{x}_i) + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \dot{\xi}_{ij} - g \cdot \left(m_i \cdot z_{ci} + \sum_{j=1}^k m_{ij} \cdot c_{ij}\right) \cdot (\varphi_{\text{плл}} - \varphi_i) = F_{\varphi}, \quad (5)$$

$$\left(m_i + \sum_{j=1}^k m_{ij}\right) \cdot \ddot{z}_{\text{плл}} = 0, \quad (6)$$

$$I_{ij} \cdot \ddot{\xi}_{ij} - m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{x}_{ij} - m_{ij} \cdot c_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \ddot{\varphi}_i + g \cdot m_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \dot{\xi}_{ij} = 0, \quad (7)$$

де

$$M'_{\text{плл}} = M_{\text{плл}} + 2 \cdot m_T + \frac{n \cdot I}{r^2}; \Delta_1 = z_{\text{плл}} - l \cdot \varphi_{\text{плл}}; \Delta_2 = z_{\text{плл}} + l \cdot \varphi_{\text{плл}},$$

$$S_i = f_{mp} \cdot \text{sign} \cdot (\dot{x}_{\text{плл}} - \dot{x}_i),$$

де  $M_{\text{плл}}$  – маса несучої конструкції вагона-платформи;  $I_{\text{плл}}$  – момент інерції вагона-платформи відносно повздовжньої осі;  $S_a$  – величина повздовжньої сили удару в автозчеп;  $f_{mp}$  – амплітудне значення сили сухого тертя;  $m_T$  – маса візка;  $I$  – момент інерції колісної пари;  $r$  – радіус середньозношеного колеса;  $n$  – кількість осей візка;  $l$  – половина бази вагона-платформи;  $F_{mp}$  – абсолютне значення сили сухого тертя в ресорному комплекті;  $k_1, k_2$  – жорсткість пружин ресорного підвішування візків вагона-платформи;  $F_{\varphi}$  – момент сили, що виникає при взаємодії вагона-платформи з контейнером-цистерною;  $k$  – кількість тонн коливань наливного вантажу;  $m_i$  – маса тіла, яке еквівалентне  $i$ -му контейнеру-цистерні з частиною наливного вантажу, що не бере участі в переміщенні відносно котла;  $m_{ij}$  – маса  $j$ -го маятника в  $i$ -му контейнері-цистерні;  $z_{ci}$  – висота центра ваги контейнера-цистерни;  $c_{ij}$  –

відстань від площини  $z_i = 0$  до точки закріплення  $j$ -го маятника в  $i$ -му контейнері-цистерні;  $l_{ij}$  – довжина  $j$ -го маятника;  $I_{\theta}$  – приведений момент інерції  $i$ -го контейнера-цистерни та наливного вантажу, що не бере участі в русі відносно котла;  $x, \varphi, z$  – координати, що відповідають відповідно повздовжньому, кутовому навколо повздовжньої осі та вертикальному переміщенню вагона-платформи;  $x_i, \varphi_i$  – координати, що відповідають відповідно повздовжньому та кутовому навколо повздовжньої осі переміщенню контейнера-цистерни;  $\xi_{ij}$  – кут відхилення  $j$ -го маятника від вертикалі.

Вертикальні переміщення контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи не враховувалися. До уваги також бралася податливість наливного вантажу відносно стінок котла контейнера-цистерни. Рух наливного вантажу описувався сукупністю математичних маятників [5]. Величина сили повздовжнього удару, що діє на вагон-

платформу, прийнята рівною 3,5 МН. Розв'язання диференціальних рівнянь здійснено за допомогою методу Рунге-Кутта в середовищі програмного забезпечення MathCad.

Визначення гідродинамічних характеристик наливного вантажу здійснювалося за методикою, наведеною у роботі [8]. У якості наливного вантажу прийнято бензин.

Результати досліджень дозволили зробити висновок, що за відсутності зазорів між фітинговими упорами вагона-платформи та фітингами контейнера-цистерни прискорення, що діє на несучу конструкцію контейнера-цистерни, складає близько 40 м/с<sup>2</sup>.

Максимальні прискорення отримано для випадку, коли зазор між фітинговим упором та фітингом дорівнює 30 мм. При цьому прискорення складають близько 300 м/с<sup>2</sup>.

**Висновки.** На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. З метою забезпечення збереження контейнерів-цистерн при маневрових співударяннях необхідним є обмеження їх переміщень відносно рами вагона-платформи.

2. При проектуванні контейнерів-цистерн нового покоління необхідним є урахуванням уточнених величин прискорень, що можуть діяти на них в експлуатації.

### Список використаних джерел

1. Фомін, О.В. Визначення перспективних напрямків проектування несучих систем у вантажному вагонобудуванні [Текст] / О.В. Фомін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. – 2012. – № 3/7(57). – С. 32-35.
2. Фомін, О.В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів [Текст] / О.В. Фомін // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54). – С. 146 – 153.
3. Мямлин, С.В. Перспективные конструкции контейнеров-цистерн для перевозки светлых нефтепродуктов, аммиака и углеводородных газов [Текст] / С.В. Мямлин, Ю.В. Кебал, С.М. Кондратюк // Залізничний транспорт України. – 2012. – №2. – С. 44-46.
4. Lisowski, Edward. Transport and storage of lng in container tanks [Text] / Edward Lisowski, Wojciech Czyzycki // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2011. – Vol. 18, No. 3. – P. 193-201.
5. Богомаз, Г.И. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку [Текст] / Г.И. Богомаз, Д. Д. Мехов, О. П. Пилипченко, Ю. Г. Черномашенцева // Динаміка та керування рухом механічних систем: зб. наук. праць. – К.: АНУ, Інститут технічної механіки, 1992. – С. 87-95.
6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
7. ГОСТ 31232. Контейнеры для перевозки опасных грузов. Требования по эксплуатационной безопасности [Текст]. – [Действителен от 28.03.2005] – Минск: НП РУП “Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации (БелГИСС)”, 2005. – 6 с.
8. Кривовязюк, Ю.П. Оценка эквивалентной нагруженности четырехосных железнодорожных цистерн с жидкими грузами различной плотности при продольных ударах [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / Ю.П. Кривовязюк. – Днепропетровск, 1986. – 157 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

Ловська Альона Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35. E-mail: alyonaLovskaya@rambler.ru.

Lovskaya Alyona Alexandrovna, candidate of technical sciences, associate professor department wagons The Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: alyonaLovskaya@rambler.ru.

Стаття прийнята 06.10.2015 р.

УДК 629.4.015-048.24

**К ВОПРОСУ О ПЛАНАХ ИСПЫТАНИЙ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Канд. техн. наук Л.А. Мурадян, инж. В.Ю. Шапошник

**ДО ПИТАННЯ ПРО ПЛАНИ ВИПРОБУВАНЬ НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ**

Канд. техн. наук Л.А. Мурадян, інж. В.Ю. Шапошник

**QUESTION OFF PLANS AT TRIALS RELIABILITY OF MECHANICAL SYSTEMS**

Cand. of techn. sciences L. Muradian, engineer V. Shaposhnyk

*Проведення випробувань на визначення показників надійності вимагає створення Програми і методики випробувань (ПМ), у яких викладено основні цілі, завдання та порядок проведення робіт. У ПМ повинні бути передбачені повнота і достовірність результатів випробувань, а також їх достатня тривалість.*

*У статті наведено основні плани випробувань для механічних систем, зокрема для рухомого складу залізниць. Крім того, розглянуто точкові та інтервальні оцінки показників надійності об'єктів, які проходять випробування.*

**Ключові слова:** *план, надійність, об'єкт, механічна система, рухомий склад, вагон, експлуатаційні випробування.*

*Проведение испытаний на определение показателей надежности требует создания Программы и методики испытаний (ПМ), в которых описываются основные цели, задачи и порядок проведения работ. В ПМ должны быть предусмотрены полнота и достоверность результатов испытаний, а также их достаточная продолжительность.*

*В статье приведены основные планы испытаний для механических систем, в частности для подвижного состава железных дорог. Кроме того, рассмотрены точечные и интервальные оценки показателей надежности испытываемых объектов.*

**Ключевые слова:** *план, надежность, объект, механическая система, подвижной состав, вагон, эксплуатационные испытания.*

*Testing to determine the parameters of reliability requires the creation of programs and test procedures, which set out the main goals, objectives and procedure of the work. The programs and test procedures should be provided for completeness and accuracy of the test results, as well as their long enough.*

*The article presents the basic plans for testing mechanical systems, in particular for railway rolling stock. In addition, addressed point and interval estimates of parameters of reliability test facilities.*

**Keywords:** *plan, reliability, object, mechanical systems, rolling stock, car, operational tests.*

**Введение.** Одним из основных направлений Государственной программы реформирования железнодорожного транспорта на 2010-2019 годы и Транспортной стратегии Украины до 2020 года является уменьшение эксплуатационных расходов на содержание подвижного состава, что возможно достичь при повышении показателей надежности подвижного состава [1]. Высокие качества подвижного состава должны включать не только высокие показатели таких их

свойств, как производительность, комфортность, низкая стоимость и др., но и высокую надежность.

Надежность – обширнейшая область, связанная с изучением изменения свойств материалов, их внутренней структуры не только с течением времени, но и в зависимости от тех условий, в которых приходится работать изделию. Физический смысл надежности состоит в способности, свойстве изделия

сохранять свои эксплуатационные характеристики во времени.

Надежность механических систем контролируется на разных этапах создания подвижного состава, а именно при проектировании, строительстве на заводах, приемочных и эксплуатационных испытаниях. В работе рассматриваются некоторые вопросы составления Программы и методики эксплуатационных испытаний механических систем, а также методы оценки результатов испытаний.

**Постановка проблемы.** Ценность эксплуатационных испытаний во многом зависит от правильно разработанной методики испытаний, в которой должны быть отражены и обоснованы цель испытаний, способы подготовки механической системы к испытаниям; режимы силовых нагрузок; порядок проведения испытаний; методы обработки результатов испытаний и применяемая аппаратура для автоматизированной обработки опытных данных по заранее разработанным специальным методикам.

Проведению эксплуатационных испытаний механических систем предшествует составление программы и методики испытаний, где одним из основных пунктов является определение количества объектов, порядок проведения и окончания испытаний, т. е. разработка плана эксплуатационных испытаний. В работе разработана методика проведения анализа полученных результатов при помощи точечных и интервальных оценок показателей надежности механических объектов подвижного состава.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросы безопасности движения на железнодорожном транспорте, в т. ч. вопросы повышения надежности, всегда оставались и остаются актуальными.

Успешное их решение является комплексной задачей, осуществляемой на различных этапах конструирования, изготовления, эксплуатации и ремонта с целью доводки изделия до оптимальных параметров, включая и параметры надежности [2].

Составной частью определения надежности механических систем являются эксплуатационные испытания [3].

Решение указанных задач возможно при наличии статических данных об объектах, собранных в опытной эксплуатации [4, 5].

Интервальные оценки показателей надежности опытных образцов рассмотрены в работе [6].

Вопросы расчета показателей надежности по результатам эксплуатационных испытаний отражены в работах [7, 8].

Для подвижного состава железных дорог важной задачей остается формирование порядка и плана проведения эксплуатационных испытаний механических систем, определение необходимого количества объектов, участвующих в испытаниях, установление точности показателей надежности опытных образцов.

**Определение цели и задачи исследований.** Целью работы является проведение исследований по формированию основных планов эксплуатационных испытаний надежности объектов подвижного состава железных дорог. Кроме того, в статье приводится порядок расчета точечных и интервальных оценок (границ доверительных интервалов) при анализе результатов эксплуатационных испытаний.

**Основная часть исследования.** Испытания на надежность механических систем, в т. ч. подвижного состава железных дорог, могут быть определительными и контрольными [9].

Определительные испытания проводят для оценки фактически достигнутого уровня надежности. Для оценки надежности используют также испытания на срок службы, ускоренные испытания на срок службы, а также испытания до разрушения.

Контрольные испытания проводятся на стадиях разработки, постановки на производство и эксплуатации продукции.

Во время проведения контрольных испытаний проверяют соответствие фактических значений показателей надежности требованиям стандартов, технических заданий и технических условий, т. е. соответствует или не соответствует надежность системы предъявляемым требованиям (например, осевой нагрузке, конструкционной скорости подвижного состава и т. д.).

Наиболее часто контроль надежности проводится при приемочных и предварительных испытаниях опытных образцов, а также при периодических испытаниях изделий в условиях установившегося производства.

Испытания позволяют:



– изучить причины и закономерности возникновения отказов;

– выявить конструктивные, технологические и эксплуатационные факторы, влияющие на надежность;

– выявить наименее надежные элементы;

– разработать мероприятия и рекомендации по повышению надежности;

– рассчитать продолжительность и объем технического обслуживания, количество запасных частей.

Испытания надежности подвижного состава, как правило, проводятся в лабораторных (стендовых) и эксплуатационных условиях. Испытаниям надежности в лабораторных условиях обычно подвергаются детали и узлы, а также системы (вагоны) в целом [10, 11]. Эти испытания обычно выполняют на заводах-изготовителях или в организациях-разработчиках изделий, они могут быть как определяющими, так и контрольными. При лабораторных испытаниях можно имитировать воздействия внешней среды на систему, в первую очередь условия эксплуатации (например, воздействие неровностей пути на вагон, ударные нагрузки и др.).

Лабораторные испытания могут проходить при тех же воздействиях (температуре, влажности, вибрации и т. д.) и режимах работы, которые обычно имеют место при эксплуатации вагонов.

Испытания надежности в условиях эксплуатации заключаются в сборе и обработке информации о поведении изделий подвижного состава при опытной и (или) промышленной эксплуатации подвижного состава совместно с серийными изделиями. Эти испытания обычно являются определяющими.

Эксплуатационные и лабораторные испытания дополняют друг друга. Так, преимуществами эксплуатационных испытаний на надежность, по сравнению с лабораторными, являются:

– естественный учет влияния воздействий внешней среды, например температуры, вибрации, квалификации персонала и др.;

– низкая стоимость испытаний, так как их проведение не требует дополнительных затрат на оборудование, имитирующее условия

эксплуатации, или на обслуживание испытываемых изделий;

– наличие большого числа однотипных образцов испытываемых деталей и узлов (колесных пар, тормозных колодок, рессорного подвешивания и т. д.), часто имеющих на одном вагоне, что позволяет в сравнительно короткие сроки получить статистически достоверную информацию.

Недостатками эксплуатационных испытаний по сравнению с лабораторными являются:

– невозможность проводить активный эксперимент, изменяя по желанию экспериментатора параметры внешней среды (вследствие чего эти испытания часто называют наблюдениями или подконтрольной эксплуатацией);

– неполная достоверность информации;

– меньшая оперативность информации, так как начало ее получения может иметь место только после изготовления изделий и установки их на подвижной состав.

Исходной информацией для статистического исследования, на основании которого должны быть сделаны выводы о показателях надежности, служат результаты наблюдений. Однако эти результаты могут быть разными для одних и тех же систем в зависимости от того, каким образом они были получены. Например, можно поставить на исследование одну восстанавливаемую систему и испытывать ее до получения  $n$ -го отказа, регистрируя наработки между отказами. Результатами испытаний в этом случае будут наработки  $t_1, \dots, t_n$ . Можно поставить  $d$  таких же систем, но испытывать их не восстанавливая, пока не откажут  $n$  систем ( $n < d$ ). В этом случае результатами наблюдений будут также наработки  $t_1, \dots, t_n$ , однако оценки для определения характеристики случайной величины по результатам испытаний будут иметь другой вид.

Поэтому перед началом испытаний необходимо выработать правило, согласно которому следует проводить испытания, т. е. планирование испытаний. Выбор плана испытаний осуществляется в соответствии с целями поставленных испытаний.

Проведение испытаний на надежность (особенно лабораторных) связано со значительными затратами средств, поэтому планирование испытаний включает в себя определение

объема выборки [12] и критериев завершения испытаний исходя из заданной точности и достоверности их результатов. Формируют выборку таким образом, чтобы результаты ее испытаний могли быть распространены на совокупность систем или средств [13].

Методы планирования размера выборки базируются на предположении, что к окончанию наблюдения будет возможно подтвердить или опровергнуть наличие предполагаемых различий между исследуемыми группами. Шанс выявления статистически значимых различий зависит от размера выборки и величины истинного различия сравниваемых показателей. Если в исследование включено небольшое количество пациентов и при этом не выявлен эффект, то встает вопрос, с чем это связано: с недостаточностью данных или действительным отсутствием разницы. С другой стороны, неоправданное увеличение размера выборки неэффективно с точки зрения финансовых, трудовых и организационных затрат [14].

Испытания следует проводить для тех же условий эксплуатации, при которых в технической документации установлены показатели надежности.

Во время испытаний проводятся техническое обслуживание, периодические комиссионные осмотры, измерение параметров, определяющих отказы.

Кроме расчетных и экспериментальных методов оценки показателей надежности имеют место и расчетно-экспериментальные методы. Такие методы применяют, если по техническим, экономическим и организационным причинам невозможно или нецелесообразно применять экспериментальные методы, например для систем, которые нельзя испытывать в полном объеме (установление ресурса вагона).

Испытания проводят по определенной программе-методике (ПМ) испытаний, являющейся их организационно-методической основой. ПМ устанавливает план испытаний, методы обработки данных, правила принятия решений.

План испытаний на надежность устанавливает число объектов испытаний, порядок проведения испытаний (с восстановлением работоспособного состояния объекта после отказа, заменой отказавшего объекта или без восстановления и замены) и критерий их прекращения [15].

При формировании планов определительных испытаний наименование плана принято обозначать тремя буквами (цифрами); первая из них обозначает число испытываемых систем, вторая – наличие  $R$  или отсутствие  $U$  восстановлений на время испытаний в случае отказа, третья – критерий прекращения испытаний.

План  $[NUr]$  предусматривает одновременное испытание  $N$  объектов. При этом отказавшие объекты не заменяют и не восстанавливаются. Испытания прекращают, когда число отказавших систем достигает  $r$ . В примере плана (рисунок, а) знаком умножения обозначено наличие отказа,  $r$ -й соответствует отказу 3-го объекта. Если  $r = N$ , тогда план испытаний принимает вид  $[NUN]$ , т. е. испытания прекращают после отказа всех систем.

План  $[NUr]$  обычно применяют [16] для определения средней наработки на отказ и средней наработки до отказа в случае экспоненциального распределения, а план  $[NUN]$  – в случае нормального распределения. Испытания по плану  $[NUN]$  требуют значительных времени и числа испытываемых систем, но дают возможность полностью определить эмпирическую функцию распределения.

Планом  $[NUT]$  предусмотрено одновременное испытание  $N$  систем. Эти системы после отказа не восстанавливаются. Испытания прекращают по истечении наработки каждой отказавшей системы (рисунок, б). Этот план обычно применяют для определения вероятности безотказной работы системы за время  $T$ .

Испытания, проводимые по планам  $[NUr]$  и  $[NUT]$ , позволяют сформировать эмпирическую функцию распределения только для некоторого интервала времени, что требует сравнительно меньше информации, но позволяют быстрее закончить испытания.

$[NRT]$  – план испытаний, согласно которому одновременно начинают испытания  $N$  объектов, отказавшие во время испытаний объекты заменяют новыми, испытания прекращают по истечении времени испытаний или наработки  $T$  для каждой из  $N$  позиций (под *позицией* понимаем определенное место на стенде или объекте, применительно к которому наработка исчисляется независимо от произошедших на данной позиции замен или восстановлений – рисунок, в).

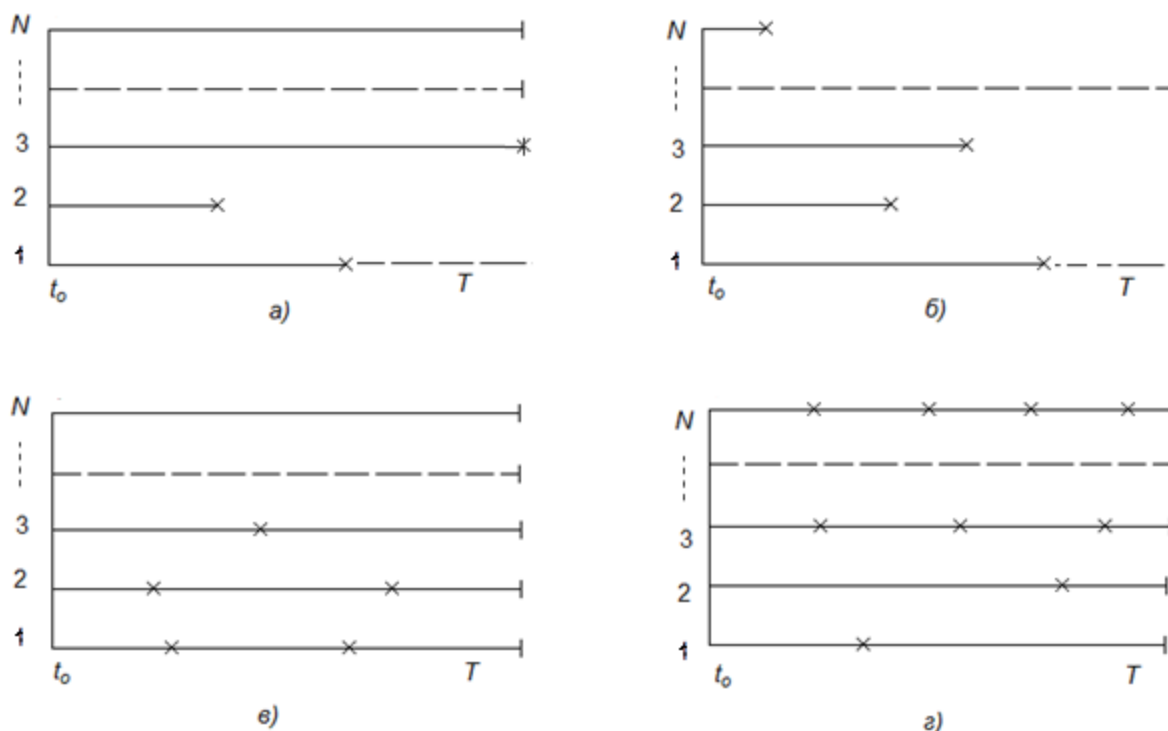


Рис. Плани испытаний:  
 а –  $[NUr]$ ; б –  $[NUT]$ ; в –  $[NRT]$ ; г –  $[NRr]$

На рисунке, г представлена схема плана  $[NRr]$  – отказавшие во время испытаний системы восстанавливают или заменяют новыми [17]. Испытания прекращают, когда суммарное по всем позициям число отказавших систем достигает  $r$ .

Задачей формирования планирования является определение минимального объема наблюдений – выбор числа испытываемых объектов  $N$ , а также минимального числа отказов  $r$  для планов  $[NUr]$  и  $[NRr]$  или минимальной продолжительности наблюдений  $T$  для планов  $[NUT]$  и  $[NRT]$ .

Принятие решений должно осуществляться по определенным правилам, которые с математической точки зрения являются характеристическими функциями от результатов и планов контроля.

Результатами определительных испытаний должны являться точечные и интервальные оценки показателей надежности.

Точечная оценка — это число, вычисляемое на основе наблюдений [18]. Пусть имеются результаты  $k$  наблюдений  $t_1, t_2, \dots, t_k$  (здесь  $t_i$  - время наработки  $i$ -го объекта до отказа) над некоторой случайной величиной  $T$

(например, временем безотказной работы) с функцией распределения  $F(t, \mathcal{G})$ , причем параметр  $\mathcal{G}$  этого распределения неизвестен. Необходимо найти такую функцию  $\hat{\mathcal{G}} = g(t_1, \dots, t_k)$  результатов наблюдений  $t_1, \dots, t_k$ , которую можно было бы рассматривать как оценку параметра  $\mathcal{G}$ . При таком выборе функции  $g$  каждой совокупности  $(t_1, \dots, t_k)$  будет соответствовать точка  $\hat{\mathcal{G}}$  на числовой оси, которую называют *точечной оценкой параметра  $\mathcal{G}$* .

Точечная оценка  $\hat{\mathcal{G}}$ , являющаяся функцией результатов наблюдений, также случайная величина со своим собственным законом распределения, зависящим от закона распределения случайной величины  $T$ , объема наблюдений  $k$  и вида функции  $g$ . Для одного и того же неизвестного параметра  $\mathcal{G}$  обычно можно принять несколько функций  $g$ , которые могут служить в качестве оценки. Выбор требований к таким оценкам (состоятельности, несмещенности, эффективности) и методов нахождения оценки (максимального правдоподобия, моментов, квантилей,

графические) описан в книгах по теории вероятностей и математической статистике.

Статистические определения показателей надежности, рассмотренные ранее, являются их точечными оценками. При этом оценка средней наработки до отказа

$$\hat{\tau} = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{N} \quad (1)$$

соответствует плану  $[NUN]$ , так как здесь рассматриваются завершенные (не прерванные в испытаниях) наработки до отказа каждой из испытываемых систем. Это соотношение имеет место при любых законах распределения наработки до отказа.

Для экспоненциального распределения при всех других рассмотренных планах испытаний, кроме плана  $[NUN]$ , точечная оценка средней наработки до отказа

$$\hat{\tau} = \frac{S}{n_{\Sigma}}, \quad (2)$$

где  $n_{\Sigma}$  – суммарное число отказов всех систем за время испытания;

$S$  – суммарная наработка всех систем за время испытаний.

Например, при плане  $[NRT]$

$$S = \sum_{i=1}^l t_i + (N-l)\hat{T}, \quad (3)$$

где  $l$  – число систем, отказавших в интервале  $(0, \hat{T})$ ;

$t_i$  – наработка до отказа  $l$ -й системы из числа отказавших ( $i = 1, 1$ ).

При плане испытаний  $[NUR]$

$$S = \sum_{i=1}^r t_i + (N-r)t_r. \quad (4)$$

Для плана  $[NRT]$  и простейшего потока, у которого время между отказами подчиняется экспоненциальному распределению, оценка  $\hat{\tau}$  средней наработки до отказа совпадает с оценкой  $\hat{\theta}$  средней наработки на отказ:

$$\hat{\tau} = \hat{\theta} = \frac{S}{n_{\Sigma}} = \frac{N\hat{T}}{n_{\Sigma}}. \quad (5)$$

Оценка интенсивности отказов  $\hat{\lambda}$  при экспоненциальном распределении может быть определена через оценку средней наработки до отказа:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\hat{\tau}}. \quad (6)$$

Например, при плане  $[NUN]$

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N t_i}. \quad (7)$$

Оценка параметра  $\hat{\omega}$  простейшего потока совпадает с оценкой интенсивности отказов  $\hat{\lambda}$ . Например, при плане  $[NRT]$

$$\hat{\omega} = \hat{\lambda} = \frac{n_{\Sigma}}{N\hat{T}}. \quad (8)$$

Оценка среднего времени восстановления, определяемая аналогично выражению (1), также соответствует плану  $[NUN]$ . Оценки вероятности отказа  $\hat{Q}(t_1)$  и вероятности безотказной работы  $\hat{P}(t_1)$  до момента  $t_1$ , соответственно определяемые соотношениями  $Q(t_1) = N(t_1)/N$ ;  $P(t_1) = P\{1 \geq t_1\}$ , могут быть найдены за ограниченный интервал времени  $t_1 = \hat{T}$  и соответствуют плану испытаний  $[NUT]$ .

Точечная оценка неизвестного (оцениваемого) параметра распределения (фактически — приближенное значение параметра) является случайной величиной. Если известно ее распределение (или хотя бы дисперсия), то можно указать пределы, в которых с достаточно большой вероятностью лежит неизвестное значение параметра. Для рассмотрения точности оценки вводится понятие доверительного интервала.

Рассмотрим результаты  $k$  наблюдений  $t_1, \dots, t_k$  над случайной величиной  $T$  с функцией распределения  $F(t, \mathcal{G})$ , когда параметр  $\mathcal{G}$  неизвестен. Необходимо найти такую функцию  $\mathcal{G}_n = g_n(t_1 \dots t_k)$  результатов наблюдений, чтобы интервал  $(\mathcal{G}_n, \infty)$  накрывал неизвестный параметр  $\mathcal{G}$  с заданной вероятностью  $\gamma_1$ :

$$P\{\mathcal{G} \in \mathcal{G}_n\} = \gamma_1. \quad (9)$$

Величину  $\mathcal{G}_н$  називають *нижньої довірительної границей* параметра  $\mathcal{G}$  при односторонній довірительній вероятності  $\gamma_1$ .

Для заданної вероятності  $\gamma_2$  по тій же сукупності спостережень може бути знайдена функція  $\mathcal{G}_{вр} = g_{вр}(t_1 \dots t_k)$ , така, що інтервал  $(0, \mathcal{G}_{вр})$  накриває параметр  $\mathcal{G}$  с вероятністю  $\gamma_2$ :

$$P\{\mathcal{G} < \mathcal{G}_н\} = \gamma_1. \quad (10)$$

$$P\{\mathcal{G}_н < \mathcal{G} < \mathcal{G}_{вр}\} = 1 - P\{\mathcal{G} < \mathcal{G}_н\} - P\{\mathcal{G} > \mathcal{G}_{вр}\} = 1 - (1 - \gamma_1) - (1 - \gamma_2) = \gamma, \quad (11)$$

де  $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 - 1$ .

Обычно приймають, що  $\gamma_1 = \gamma_2$ , тоді  $\gamma = 2\gamma_1 - 1$ .

Значення довірительного інтервала тем менше, чим більше число  $k$  спостережень (наприклад, чим більше число відмов при випробуваннях) і чим менше значення  $\gamma$  довірительної вероятності.

Визначення границь довірительного інтервала заключається в наступному. Так як оцінка  $\hat{\mathcal{G}}$  невідомого параметра  $\mathcal{G}$  є випадковою величиною, то знаходимо закон її розподілу. Далі визначаємо інтервал  $(\mathcal{G}_н, \mathcal{G}_{вр})$ , в який випадкова величина  $\hat{\mathcal{G}}$  потрапляє с вероятністю  $\gamma$ .

Приближений спосіб побудови довірительних інтервалів середньої наработки до відмови для плану  $[NUN]$  при довільному розподілі ґрунтується на тому, що при числі випробуваних виробів  $N > 15 \div 20$  середнє арифметичне розподілено приблизно нормально с математичним очікуванням  $\tau$ , а невідоме значення дисперсії замінюється її точною оцінкою в вигляді

$$\hat{D} = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \hat{\tau})^2}{N - 1}. \quad (12)$$

Визначення довірительного інтервала показателів надійності при експоненціальному

Величину  $\mathcal{G}_{вр}$  називають *верхньої довірительної границей* параметра  $\mathcal{G}$  при односторонній довірительній вероятності  $\gamma_2$ .

Нижня і верхня довірительні границі утворюють довірительний інтервал, який с вероятністю  $\gamma$  накриває на числової осі невідоме значення параметра  $\mathcal{G}$ . При  $\gamma_1 > 0,5$  і  $\gamma_2 > 0,5$  (довірительні вероятності  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  звичайно вибираються не менше 0,8)

розподілу наработки між відмовами і різних планів випробувань ґрунтується на відомому з математичної статистики [19].

Припустимо, що проводяться випробування одного відновлюваного виробу до наступлення  $r$ -го відмови, що відповідає плану  $[NRr]$ , при цьому сумарна наработка  $S = \sum_{i=1}^r t_i$ , де  $t_i$  – наработка між  $(i-1)$ -м і  $i$ -м відмовами. Тоді величина  $z = 2S / \tilde{\tau}$  має  $\chi^2$  – розподіл с двома степенями вільності, густина розподілу якого

$$f(z) = \frac{1}{2T(r)} z^{(r-1)} e^{-\frac{z}{2}}, \quad (13)$$

де  $T(r) = (r-1)!$  – гамма-функція.

В таблиці приведені довірительні інтервали  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  інтенсивності відмов при експоненціальному розподілі і різних планах випробувань [20].

**Висновки.** Проведені дослідження дозволяють раціонально сформувати план експлуатаційних випробувань механічних систем, в частині об'єктів залізничного подвижного складу, і визначити точні і інтервальні оцінки при аналізі результатів випробувань. Крім того, дані дослідження створюють можливість більш точно визначити показателі надійності механічних систем.

План испытаний	Интенсивность отказов $\lambda$ или параметр потока отказов $\omega$ при экспоненциальном распределении	
	Нижняя граница	Верхняя граница
[NUN]	$\frac{\tilde{\lambda} \xi_{1-\beta}^2(2n_{\Sigma})}{2n_{\Sigma}}$	$\frac{\tilde{\lambda} \xi_{1-\beta}^2(2n_{\Sigma})}{2n_{\Sigma}}$
[NUT]	$\frac{\tilde{\lambda} \xi_{1-\beta}^2(2n_{\Sigma} + 2)}{2n_{\Sigma}}$	$\frac{\tilde{\lambda} \xi_{1+\beta}^2(2n_{\Sigma} + 2)}{2n_{\Sigma}}$
[NUr]	$\frac{\tilde{\lambda} \xi_{1-\beta}^2(2n_{\Sigma})}{2(n_{\Sigma} - 1)}$	$\frac{\tilde{\lambda} \xi_{1+\beta}^2(2n_{\Sigma})}{2(n_{\Sigma} - 1)}$
[NRT]	$\frac{\tilde{\omega} \xi_{1-\beta}^2(2n_{\Sigma})}{2n_{\Sigma}}$	$\frac{\tilde{\omega} \xi_{1+\beta}^2(2n_{\Sigma})}{2n_{\Sigma}}$
[NRr]	$\frac{\tilde{\omega} \xi_{1-\beta}^2(2n_{\Sigma})}{2(n_{\Sigma} - 1)}$	$\frac{\tilde{\omega} \xi_{1+\beta}^2(2n_{\Sigma})}{2(n_{\Sigma} - 1)}$

**Примечание.**  $\xi_p^2(l)$  – квантиль  $\xi^2$  распределения  $p$  с числом степеней свободы  $l$ ;  $n_{\Sigma}$  – суммарное число отказов в испытаниях.

**Список использованных источников**

1. Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки [Електронний ресурс]: постанова Кабінету Міністрів України від 26.10.2011 р. № 1106. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011>
2. Устич, П.А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава [Текст] / П.А. Устич. – М.: УМЦ МПС России, 2004. – 416 с.
3. Матвиевский, В.Р. Надежность механических систем [Текст] / В.Р. Матвиевский. – М.: МГИЭМ, 2002. – 113 с.
4. Беренштейн, М.Г. Ускорение испытаний нового подвижного состава [Текст] / М.Г. Беренштейн, Л.Д. Кузьмич, С.А. Сапожников // Железнодорожный транспорт. – 1974. – № 4. – С. 61–65.
5. Беляев, Ю.К. Статистические методы обработки результатов испытаний на надежность [Текст] / Ю.К. Беляев. – М.: Знание, 1982. – 100 с.
6. Павлов, И.В. Доверительная оценка показателей надежности сложных систем [Текст] / И.В. Павлов. – М.: Знание, 1979. – 486 с.
7. Мурадян, Л.А. Исследование действующих условий эксплуатации и анализ причин сокращения ресурса работы железнодорожных колес [Текст] / Л.А. Мурадян, В.Г. Анофриев // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – С. 206-210.

8. Мурадян, Л.А. Испытания перспективных тормозных колодок на железных дорогах Украины [Текст] / Л.А. Мурадян, В.Ю. Шапошник, Винстрот Бернд Уве, С.П. Муковоз. – Локомотив інформ. – 2015. – №7-8 (109-110). – С. 20-22.
9. Северцев, Н.А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке [Текст] / Н.А. Северцев. – М.: Высшая школа, 1989. – 432 с.
10. Савчук, О.М. Эксплуатационные испытания полувагонов нового поколения [Текст] / О.М. Савчук, В.К. Бруякин, Л.А. Мурадян [и др.] // Вагонный парк. – 2009. – № 5/6. – С. 30-32.
11. Савчук, О.М. Эксплуатационные испытания полувагонов нового поколения [Текст] / О.М. Савчук, В.К. Бруякин, Л.А. Мурадян [и др.] // Вагонный парк. – 2009. – № 7/8. – С. 8-11.
12. Мурадян, Л.А. Определение количества объектов для проведения эксплуатационных испытаний вагонной техники [Текст] / Л.А. Мурадян // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 139. – С. 83-87.
13. Мямлин, С.В. Исследования характера величин износа трибосистем дизелей специального самоходного подвижного состава железной дороги [Текст] / С.В. Мямлин, Д.М. Барановский // Наука и прогресс транспорта: Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2011. – Вып. 37 / 2011. – С. 32-43.
14. Койчубеков, Б.К. Определение размера выборки при планировании научного исследования [Текст] / Б.К. Койчубеков, М.А. Сорокина, К.Э. Мхитарян // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 4. – С. 71-74.
15. ДСТУ 3004-95. Надежность техники. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 123 с.
16. Орлов, А.И. Прикладная статистика [Текст] / А.И. Орлов. – М.: Издательство «Экзамен», 2004. – 656 с.
17. Ястребенецкий, М.А. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами [Текст]: учеб. пособие для вузов / М.А. Ястребенецкий, Г.М. Иванова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 264 с.
18. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения [Текст]: учеб. пособие для вузов / Л.А. Овчаров, Е.С. Вентцель. – 2-е изд., стереот. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.
19. ГОСТ 27.3004-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения [Текст]. М.: Издательство стандартов, 1997. – 123 с.
20. ГОСТ 27.410-87. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 94 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор С.В. Мямлин

---

Мурадян Леонтій Абрамович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вагонів та вагонного господарства, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: (056) 373-15-19. E-mail: leon59@bk.ru.

Шапошник Владислав Юрійович, інженер I категорії, галузева науково-дослідна лабораторія «Вагони», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: (056) 373-15-19. E-mail: v.sh91@mail.ru.

Muradian L., candidate of techn. sciences department «Car and Car Facilities» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan. Tel. +38 (056) 373 15 19. E-mail leon59@bk.ru.

Shaposhnyk V., engineer of Wagons Laboratory of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan. Tel. +38 (056) 373 15 19. E-mail v.sh91@mail.ru.

Стаття прийнята 20.10.2015 р.

УДК 629.4.083.:629.463

**ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВИРОБНИЧИХ ПІДРОЗДІЛІВ ПІДПРИЄМСТВ З РЕМОНТУ ВАГОНІВ**

Канд. техн. наук Д.І. Волошин

**К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ ВАГОНОВ**

Канд. техн. наук Д.И. Волошин

**TO A QUESTION OF INCREASE OF RELIABILITY OF WORK OF PRODUCTION DIVISIONS OF THE ENTERPRISES FOR REPAIR OF CARS**

Cand. of techn. sciences D.I. Voloshin

*Стаття присвячена питанням підвищення надійності сучасних виробничих систем з ремонту вагонів. Розглянуто основні фактори, що призводять до відмов виробничих систем з погляду теорії надійності. Пропонується аналіз виробництва як відновлюваної технічної системи.*

*Для проведення аналізу надійності запропоновано використання комплексних показників надійності. Проведені розрахунки згідно з експлуатаційними даними показали, що надійність сучасних виробничих систем з ремонту вагонів не відповідають існуючим вимогам.*

**Ключові слова:** виробнича система, надійність, ремонт вагонів.

*Статья посвящена вопросам повышения надежности современных производственных систем по ремонту вагонов. Рассмотрены основные факторы, которые приводят к отказам производственных систем с точки зрения теории надежности. Предлагается анализ производства как восстанавливаемой технической системы.*

*Для проведения анализа надежности предложено использование комплексных показателей надежности. Проведенные расчеты в соответствии с эксплуатационными данными показали, что надежность современных производственных систем по ремонту вагонов не отвечают существующим требованиям.*

**Ключевые слова:** производственная система, надежность, ремонт вагонов.

*Article is devoted to questions of increase of reliability of modern production systems on repair of cars. Major factors which lead to refusals of production systems from the point of view of the theory of reliability are considered.*

*Production systems of the car-repair enterprises represent difficult systems with many states. A large number of factors which influence production functioning processes, give the chance to estimate the VRP production system as the difficult restored technical system.*

*By means of reliability indicators which are used for the difficult restored systems, it is possible to establish ratios between temporary components of cycles of operation taking into account time spent for preventive actions and repair. They allow to estimate quality of operation of system, readiness of system for work of time, operation cost at present. For these purposes use of complex indicators of reliability is recommended.*

*The carried-out calculations according to operational data showed that reliability of modern production systems doesn't meet for repair of cars the existing requirements. Application of methods of research of reliability of production systems and estimation of risk of their refusals will give the chance of development of effective mechanisms of their improvement.*

**Keywords:** production system, reliability, repair of cars.

**Вступ.** Проектування або модернізація підприємств завжди пов'язані з деякими виробничих підрозділів вагоноремонтних ризиками. Це стосується необхідності



врахування ряду вагомих факторів впливу на виробничу систему підприємства: умови експлуатації рухомого складу, вірогідність прийнятих техніко-економічних показників, економічні можливості підприємства, фактична кваліфікація працівників, коливання програм ремонту в стохастичних ринкових умовах, фактичний коефіцієнт завантаження обладнання та ін. [1].

Стандартними підходами для підвищення надійності роботи виробничих підрозділів і зниження ступеня ризику відмов технологічних процесів є створення надлишковостей і запасів, а також застосування елементів резервування виробничої системи [2]. Протягом останніх десятиріч створюються запаси рухомого складу, запасних частин, технологічного обладнання, штату працівників. Для компенсації організаційних факторів відбувається зниження норм продуктивності обладнання та ін. Але використання надлишковостей у системі значно збільшує витрати на її функціонування, що створює завдання пошуку раціонального рівня резервів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні роки проблемам підвищення надійності виробничих систем і їх удосконалення були присвячені роботи О.А. Бітюцького, В.В. Бугаєва, В.І. Грідюшко, Н.З. Криворучко, М.М. Болотина, Р. Брауна, Г.Л. Бродецького, Дж. Букана, Є.В. Булінської, Є.П. Дудкіна, С.Н. Корнілова, С.В. Пітьоркіна, Ю.І. Рижикова, В.А. Саковіча, Т. Уайтіна, А.М. Стерлігової, М.Д. Фасоляка, Дж. Хедлі, Є.А. Хруцького, К. Ерроу, Е.М. Голдратта і багатьох інших.

**Постановка завдання.** Розглянути основні підходи до удосконалення виробничих систем з ремонту вагонів за рахунок підвищення надійності виробничих підрозділів.

**Викладення основного матеріалу статті.** Виробничі системи вагоноремонтних підприємств являють собою складні системи з багатьма станами. Велика кількість факторів, що впливають на процеси функціонування виробництва, дають змогу оцінювати виробничу систему ВРП як складну відновлювану технічну систему [3, 4, 5]. З точки зору теорії надійності вона має ряд характерних рис:

- багатофункціональність;
- велика кількість різнорідних зв'язків, підсистем і відмов;

- низька вірогідність вихідної інформації;

- невелика точність при плануванні виробничих систем, з огляду на методи, що застосовуються при проектуванні;

- стохастичність процесів функціонування виробництва в умовах перехідної ринкової економіки та ін.

Якщо розглядати систему в цілому, то слід зазначити, що ієрархічна структура побудови виробництва має в собі велику кількість паралельних і послідовних елементів з точки зору технологічної цілісності. Це створює ситуації наявності впливу або його відсутності при виробничій взаємодії між підрозділами або окремими складовими технологічного процесу. До того ж диференціація всіх виробничих процесів на основні та допоміжні значно ускладнює процеси функціонування виробничої системи.

Оскільки основним критерієм функціонування ремонтного підприємства у наш час є ефективність виконання ним ремонтної програми з заданого обсягу та якості планових і позапланових ремонтів, то під «відмовою» ремонтного підприємства можливо розуміти величину невиконання ним цих показників. При цьому часткова відмова ремонтного підприємства може настати як при роботі всіх елементів, так і за відмови окремих елементів.

За допомогою показників надійності, що використовуються для складних відновлювальних систем, можна встановити співвідношення між часовими складовими циклів експлуатації з урахуванням часу, затраченого на профілактичні заходи і ремонт. Вони дозволять оцінити зручність експлуатації системи, готовність системи до роботи в даний момент часу, вартість експлуатації. Для цих цілей рекомендується використання комплексних показників надійності.

До них можливо віднести коефіцієнт готовності виробничої системи, коефіцієнт вимушеного простою, коефіцієнт профілактики та інші показники.

Коефіцієнтом готовності системи називається відношення часу безпосередньої роботи до суми часу безпосередньої роботи і очікування системи, взятих за один і той самий календарний термін:

$$K_2 = \frac{t_p}{t_p + t_г}, \quad (1)$$

де  $t_p$  – час безвідмовної роботи системи;

$t_г$  – час відновлювання працездатності системи.

Коефіцієнтом вимушеного простою називається відношення часу очікування до суми часу очікування і безпосередньої роботи системи, взятих за один і той же календарний термін:

$$K_n = \frac{t_г}{t_г + t_p}, \quad (2)$$

Коефіцієнтом профілактики називається відношення часу очікування до часу безпосередньої роботи системи, взятих за один і той же календарний термін:

$$K_{np} = \frac{t_г}{t_p}. \quad (3)$$

Проведений аналіз згідно з експлуатаційними даними виробничих систем з ремонту вагонів свідчить, що всі звітні коефіцієнти значно відрізняються в гірший бік від планових (таблиця).

Таблиця

Розрахункові коефіцієнти надійності виробничих систем

Номер позиції	Найменування показника	Планове значення	Звітне значення
1	Коефіцієнт готовності	0,65	0,22
2	Коефіцієнт вимушеного простою	0,35	0,78
3	Коефіцієнт профілактики	0,55	3,5

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Надійність сучасних виробничих систем з ремонту вагонів не задовольняє існуючі вимоги. Причинами даної ситуації є як загальна системна криза у промисловому комплексі України, так і базова стратегія

функціонування підприємств залізничної галузі. Застосування методів дослідження надійності виробничих систем та оцінювання ризику їх відмов дасть змогу розробити дієві механізми їх удосконалення.

### Список використаних джерел

1. Корнилов, С.Н. Логистика ремонта железнодорожного подвижного состава [Текст]: монография / С.Н. Корнилов. – Магнитогорск, МГТУ, 2005. – 182 с.
2. Кульба, В.В. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем [Текст] / В.В. Кульба, Д.А. Кононов, С.А. Косяченко, А.Н. Шубин. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 400 с.
3. Хенли, Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска. [Текст] / Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М.: “Машиностроение”, 1984. – 528 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.С. Крашенінін

Волошин Дмитро Ігорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35.

Voloshin Dmytro Igorovich, candidate of technical sciences, associate Professor, chair Wagons, The Ukrainian state university of railway transport. Tel.: (057)730-10-35.

Стаття прийнята 19.10.2015 р.

УДК 629.4.077-592.117

**АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ РАСЧЕТНОГО  
КОЭФФИЦИЕНТА СИЛЫ НАЖАТИЯ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ  
ПОЕЗДНЫХ ТОРМОЗНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

Канд. техн. наук А.М. Сафронов

**АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО  
КОЕФІЦІЄНТА СИЛИ НАТИСКАННЯ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ  
ПОЇЗНИХ ГАЛЬМІВНИХ ВИПРОБУВАНЬ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

Канд. техн. наук О.М. Сафронов

**THE ALGORITHM FOR DETERMINING THE ACTUAL VALUES OF THE ESTIMATED  
COEFFICIENT OF BRAKE SHOES PRESS FORCE ACCORDING TO TRAIN BRAKE TESTS  
RESULTS FOR FREIGHT CARS**

Cand. of techn. sciences O. Safronov

*Наведено алгоритм визначення фактичного розрахункового гальмівного коефіцієнта вантажного вагона за результатами ходових гальмівних випробувань. Алгоритм враховує основні особливості зміни гальмівного коефіцієнта, обумовленого наростанням тиску в гальмівному циліндрі при гальмуванні.*

**Ключові слова:** алгоритм, гальмівний шлях, швидкість, гальмівний коефіцієнт, тиск стисненого повітря, гальмування, часовий інтервал, відносна сила натиснення.

*Представлен алгоритм определения фактического расчетного тормозного коэффициента грузового вагона по результатам ходовых тормозных испытаний. Алгоритм учитывает основные особенности изменения тормозного коэффициента, обусловленного нарастанием давления в тормозном цилиндре при торможении.*

**Ключевые слова:** алгоритм, тормозной путь, скорость, тормозной коэффициент, давление сжатого воздуха, торможение, временной интервал, относительная сила нажатия.

*The task of creation of competitive constructions for railway rolling stock vehicles, providing operational reliability and improved technical and economic indexes, makes strict requirements to the construction of the main railcar units, and particularly to brake systems, corresponding to the requirements of international standards. For this reason the further development of railway vehicles includes considerable quality changes of trainstop equipment, associated with the necessity to raise trains specific braking force; especially in the high speed range, and improvement of long train controllability during their running in braking modes. Final assessment of the railcar braking efficiency is made on the results of running and braking tests. In this case the problems of true test results receiving are urgent, and matters of research methods, their characteristics and properties improvement take the particular importance.*

*The essential research part is the choice of methods for receiving, processing and analyzing of experimental data. Data processing means values arrangement, their classification and analysis. Experimental results must be represented in readable recording forms – tables, diagrams, formulas, that allow to compare and analyze obtained results quickly.*

*The algorithm for determining the actual estimated brake coefficient of the freight car according to running brake tests was submitted. The algorithm includes key features of the brake coefficient variation, caused by the increase of pressure in the brake cylinder at braking.*

**Keywords:** algorithm, stopping distance, speed, brake coefficient, compressed air pressure, braking, time interval, relative press force.

**Вступлення.** Одним из главных показателей экономического развития государства является устойчивая работа его транспортной системы. Особенности Украины определяют в качестве основного вида транспорта – железнодорожный, который обеспечивает около 70 % общего объема грузооборота, а следовательно, занимает решающее место в транспортной системе Украины. Это формирует особые требования к надежности подвижного состава в целом.

Задача создания конкурентоспособных конструкций транспортных средств подвижного состава железных дорог, обеспечивающих надежность в эксплуатации и улучшенные технико-экономические показатели, выдвигает повышенные требования к конструкции основных узлов вагонов, в частности к тормозным системам, которые должны соответствовать требованиям международных стандартов. Поэтому дальнейшее развитие железнодорожного транспорта предусматривает существенное качественное изменение автотормозной техники, связанное с необходимостью повышения удельной тормозной силы поездов, особенно в диапазоне высоких скоростей, и улучшением управляемости длинносоставными поездами при движении их в тормозных режимах.

Необходимость таких исследований обусловлена еще и тем, что эксплуатация подвижного состава связана с сохранностью груза и безопасностью пассажиров. Поскольку одним из важнейших факторов при определении максимальной допустимой скорости движения поездов является

надежность и эффективность тормозных систем вагонов это вызывает необходимость выполнения научно-технических исследований, частью которых является проведение длительных, достаточно трудоемких испытаний как отдельных элементов, так и конструкции в целом.

Как правило, тормозная система вагона подвергается двум видам испытаний: стационарным и тормозным ходовым. Целью стационарных испытаний является установление характеристик тормозной системы на соответствие инструкции [1]. В процессе тормозных ходовых испытаний определяется тормозная эффективность вагона на соответствие нормативным требованиям [2, 3, 4].

Окончательная оценка тормозной эффективности вагона осуществляется по результатам ходовых тормозных испытаний. При этом актуальными остаются проблемы получения достоверных результатов испытаний.

Наиболее достоверные показатели тормозной эффективности вагона при ходовых тормозных испытаниях могут быть получены методом «бросания», при котором в момент достижения опытным поездом заданной скорости исследуемый вагон автоматически отцепляется от опытного поезда, в то время как поезд уходит вперед. Тормозной путь определяется как разность величин путей, проходимого поездом от точки отцепления опытного вагона до его остановки и обратно до возвращения к испытываемому вагону (рис. 1) [5, 6, 7].

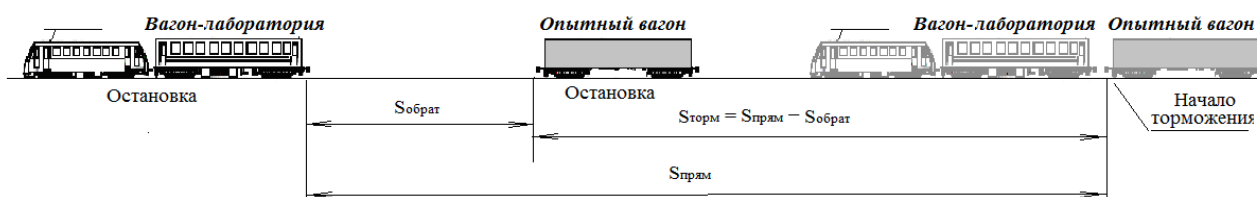


Рис. 1. Определение тормозного пути опытного вагона методом «бросания»

Указанный метод позволяет получить тормозные пути одиночного вагона в заданном диапазоне скоростей в начале торможения.

В качестве основного критерия оценки тормозной эффективности принят расчетный коэффициент силы нажатия тормозных колодок

на колеса (далее тормозной коэффициент) [2, 3]. Так, например, для груженых вагонов, оборудованных авторежимом, минимальное значение расчетного коэффициента составляет 0,14, для порожних – 0,22 [2]. Допустимая скорость движения грузовых поездов

определяется единым наименьшим нажатием тормозных колодок на 100 тонн веса поезда в пересчете на чугунные колодки [3]. Для дальнейшего совершенствования автотормозной техники требуется проведение исследовательских работ, к основным из которых следует отнести изыскание более эффективных способов торможения поездов и усовершенствованию работы тормозной системы.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.** При проектировании единиц подвижного состава нового поколения особое значение приобретают вопросы совершенствования методов исследования их характеристик и свойств.

Важным разделом исследования является выбор методов получения, обработки и анализа экспериментальных данных. Обработка данных сводится к систематизации всех значений, классификации, анализу. Результаты экспериментов должны быть сведены в удобочитаемые формы записи – таблицы, графики, формулы, позволяющие быстро сопоставлять и анализировать полученные результаты. Размерность всех параметров должна соответствовать единой системе физических величин. Особое внимание должно быть уделено математическим методам обработки и анализа опытных данных, в том числе установлению эмпирических зависимостей, аппроксимации связей между варьируемыми характеристиками, установлению критериев и доверительных интервалов. В связи с этим дальнейшее развитие тормозных систем и повышение тормозной эффективности вагонов невозможно без применения новых, более углубленных методов экспериментального исследования и анализа процессов торможения. Такие исследования невозможно провести без проверки конструкторских и технических решений на конкретном вагоне в условиях экстренных торможений при различных скоростях движения, кроме того, определение эффективности тормозной системы является одним из основных видов специальных поездных испытаний опытных вагонов. Указанные исследования требуют более совершенных способов и методов по оценке тормозной эффективности как вагонов, так и новых тормозных систем.

Работа выполнена согласно действующим Государственным программам и концепциям: „Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки”; Транспортная стратегия Украины до 2020 года.

Следует отметить, что в рамках указанных программ созданы и успешно прошли испытания грузовые вагоны с отдельными тормозными системами на каждой тележке. Планируется увеличение скоростей движения грузовых поездов до 100 км/ч и выше. Создаются грузовые вагоны с повышенной осевой нагрузкой 25-30 тс/ось. Тщательный анализ тормозной эффективности грузовых вагонов нового поколения требует использования нетрадиционных подходов к методам получения оценочных критериев.

Основная проблема определения фактического тормозного коэффициента при ходовых тормозных испытаниях состоит в том, что номограммы зависимости тормозных путей от тормозного коэффициента представлены для грузовых поездов из 200 и более осей [8], что не позволяет их использование для критериальной оценки тормозного коэффициента отдельного вагона.

Такие задачи могут быть решены расчетно-экспериментальным методом на основе моделирования процессов торможения, исходными данными для которого являются результаты ходовых тормозных испытаний (скорость в начале торможения и соответствующий ей тормозной путь). При этом используется уравнение движение вагона при торможении, которое описывается нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка [8]:

$$\frac{d^2S}{dt^2} = -\zeta \cdot \{ \varphi_T(\delta_p(t), \varphi_{mp}) + w_{ox}(v) \pm i \}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{mp}$  - коэффициент трения;

$\zeta$  - замедление поезда под действием удельной замедляющей силы;

$w_{ox}(v)$  - удельное основное сопротивление движению;

$\pm i$  - величина уклона пути;

$\delta_p(t)$  - расчетный коэффициент силы нажатия колодок на колесо, зависит от времени нарастания давления в тормозном цилиндре.

**Анализ последних исследований и публикаций.** За последние годы получили дальнейшее развитие аппаратно-программные комплексы и методы экспериментальных исследований тормозных систем вагонов различного назначения.

Важным фактором повышения достоверности результатов является автоматизация проведения испытаний, которая позволяет свести к минимуму количество ошибок, вызванных человеческим фактором, повысить точность вычислений и сократить время на проведение испытаний.

Так, в ГП «УкрНИИВ» был разработан и успешно прошел апробацию программно-аппаратный комплекс [5, 9]. Аппаратная часть комплекса для проведения испытаний состоит из механизма расцепления вагонов [10], датчика оборотов колеса, АЦП, ПК (ноутбук). Программная часть состоит из компьютерной программы "DynamicBrake", которая зарегистрирована в Государственной службе интеллектуальной собственности Украины что подтверждается Свидетельством о регистрации авторского права на произведение №46909, дата регистрации 24.12.2012 г. Программа позволяет записывать и обрабатывать различные по физической природе процессы (обороты колеса, температура нагрева колодок, давление в тормозном цилиндре, отслеживать юзовые ситуации и т. д.).

В работе [11] предложена методология пересчета тормозной эффективности

одиночного вагона на тормозную эффективность грузового поезда с использованием фактических характеристик тормозной системы, полученных в результате тормозных испытаний, а также установления фактического значения времени подготовки к торможению, обусловленного распространением тормозной волны и последовательным вовлечением в тормозной процесс каждого вагона в составе поезда. Развитие методов и методологии оценивания тормозной эффективности подвижного состава изложены в работах [5-16].

Исследованиями в области тормозной техники занимались такие известные ученые, как Иноземцев В.Г., Гребенюк П.Т., Крылов В.И., Крылов В.В., Асадченко В.Р., Водяников Ю.Я., Долганов А.Н. и др.

**Цели и задачи исследования.** Целью работы является разработка алгоритма по определению фактического тормозного коэффициента грузового вагона с учетом особенностей процессов изменения давления в тормозном цилиндре (силы нажатия колодок на колеса) и величины тормозного пути, полученного в процессе ходовых тормозных испытаний методом «бросания».

**Основная часть исследования.** Фактический тормозной коэффициент, реализованный в процессе ходовых тормозных испытаний вагона, определяется из равенства [16]

$$S_{\text{опыт}}(V) = \sum_i \Delta S_i = \sum_i \left( v_{i-1} + \frac{\Delta t \cdot \zeta \cdot (1000 \cdot \delta_d \cdot K_i / K_D \cdot \varphi_{mp} + w_i + w_{ox}(v_i))}{2 \cdot 3600} \right) \cdot \frac{\Delta t}{3,6} \quad (2)$$

где  $S_{\text{опыт}}(V)$  – полученный (измеренный) тормозной путь одиночного вагона на площадке;

$\zeta$  – замедление поезда под действием удельной замедляющей силы;

$w_{ox}(v)$  – удельное основное сопротивление движению;

$w_i$  – величина уклона, ‰;

$\delta_d$  – действительный коэффициент силы нажатия колодок при номинальном давлении (постоянной силе нажатия колодок на колеса);

$\varphi_{mp}$  – коэффициент трения накладок;

$\Delta t$  – временной интервал, с;

$K_i(t_i)$  – сила нажатия колодки (накладки) на колесо (диск), соответствующая времени торможения  $t_i$ ;

$K_D$  – сила нажатия колодки (накладки) на колесо (диск) при номинальном (установившемся) давлении в тормозном цилиндре.

Для определения фактического значения тормозного коэффициента используется итерационная формула

$$\delta_{\delta,n} = \frac{S_{\text{оном}}(V)}{\left( \frac{v_{i-1}}{\delta_{\delta,n-1}} + \frac{\Delta t \cdot \zeta \cdot (1000 \cdot K_i / K_D \cdot \varphi_{mp} + \frac{w_i}{\delta_{\delta,n-1}} + \frac{w_{ox}(v_i)}{\delta_{\delta,n-1}})}{2 \cdot 3600} \right) \cdot \frac{\Delta t}{3,6}} \quad (3)$$

где  $n$  – номер итерации;

$\delta_{\delta,n}$  – тормозной коэффициент, соответствующий  $n$ -ой итерации.

В качестве начального значения тормозного коэффициента ( $\delta_{\delta,0}$ ) задается величина, полученная расчетным путем либо в процессе стационарных испытаний.

Итерационный процесс прекращается, если разница тормозных путей, полученных при ходовых тормозных испытаний одиночного вагона и при расчете не превышает заданного числа  $\xi$  (рекомендуется принимать  $\xi \leq 0,5 м$ ):

$$|S_{\text{оном}}(V_H) - S_{\text{расч}}(V_H)| \leq \xi. \quad (4)$$

Изменение силы тормозного нажатия колодок на колеса (относительная сила нажатия  $K_i/K_o$ ) во временной области определяется по индикаторной диаграмме нарастания давления в тормозном цилиндре при торможении.

Алгоритм определения фактического значения тормозного коэффициента представлен на рис. 2 и был реализован с применением программного комплекса «Microsoft Office Exel».

В качестве примера рассматриваются тормозные испытания вагона для перевозки минеральных удобрений с потележечным торможением. По результатам стационарных испытаний было установлено, что действительный тормозной коэффициент при номинальном давлении в тормозных цилиндрах составляет 0,164.

Анализ диаграмм наполнения тормозного цилиндра и силы нажатия тормозных колодок (накладок) свидетельствуют о том, что нарастание силы нажатия при экстренном пневматическом торможении начинается по истечении некоторого времени от момента снижения давления в тормозной магистрали и характеризуется тремя периодами (рис. 3):

- временем начала наполнения тормозного цилиндра сжатым воздухом –  $t_1$ ;

- временем начала нажатия тормозных колодок (накладок) на колесо (диск) –  $t_2$ ;

- временем достижения номинального нажатия колодок (накладок) на колеса (диски) –  $t_3$ .

Ходовые тормозные испытания проводились методом «бросания» на магистральном участке пути ст. Новомосковск – ст. Баловка Приднепровской железной дороги. Запись и обработка результатов производилась с использованием компьютерной программы "DynamicBrake" [9]. Тормозные пути, полученные в процессе исследований, приведены на рис. 4.

По представленному алгоритму (рис. 2) были рассчитаны действительные тормозные коэффициенты для диапазона скоростей 40-120 км/ч.

Расчетные исследования показали, что уже на четвертой итерации достигается заданная точность (рис. 5)

$$|S_{\text{оном}}(V_H) - S_{\text{расч}}(V_H)| \leq 0,5 .$$

В таблице приведены значения фактического тормозного коэффициента в диапазоне скоростей 40-120 км/ч.

**Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.** Разработанный алгоритм позволяет получить уточненную оценку тормозной эффективности опытного грузового вагона. Результаты расчетных исследований могут быть использованы для определения тормозных путей грузового поезда из произвольного количества вагонов как на площадке, так и на уклонах. В результате исследования было установлено, что величина фактического тормозного коэффициента зависит от скорости в начале торможения и имеет тенденцию снижения при ее увеличении.

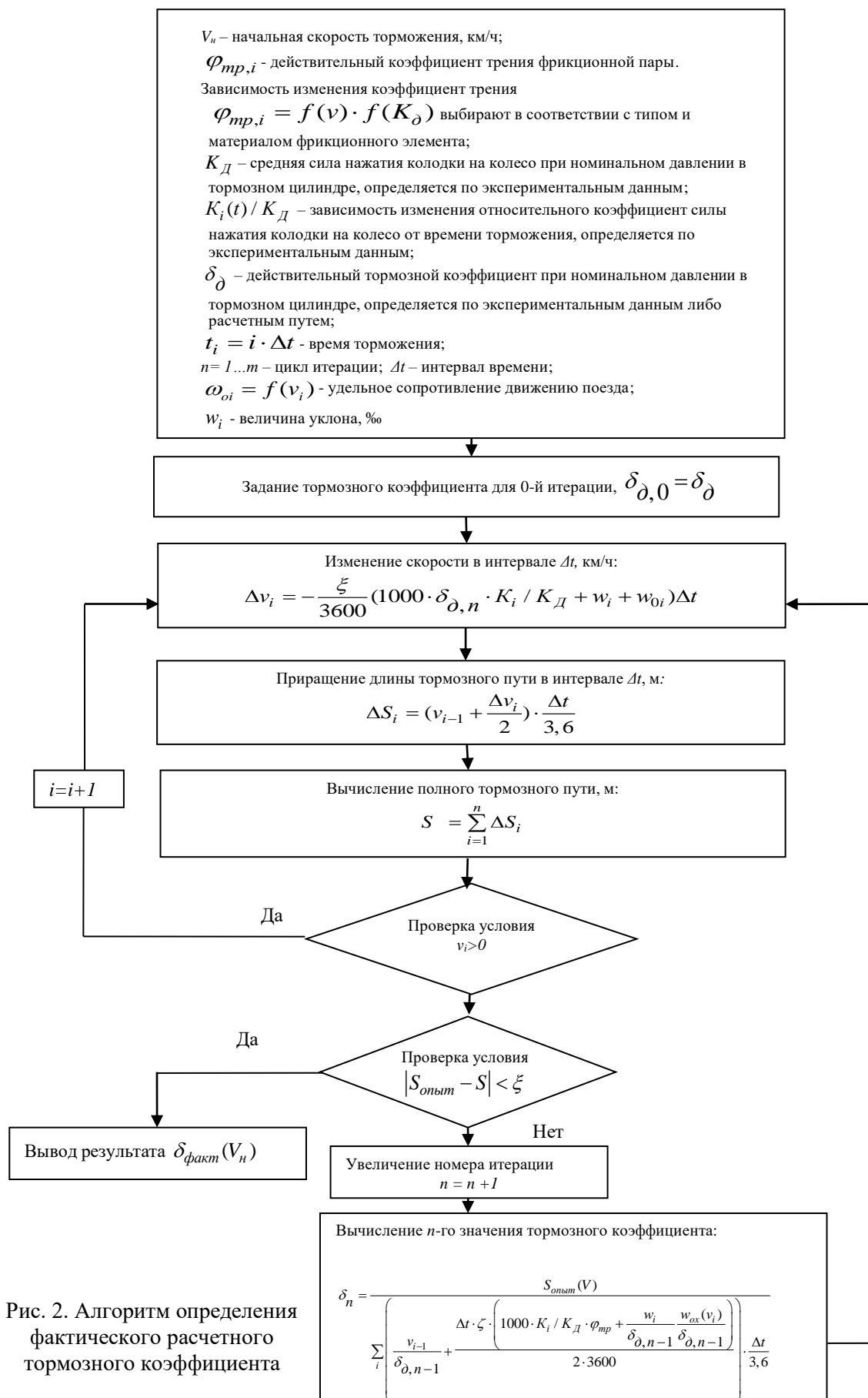


Рис. 2. Алгоритм определения фактического расчетного тормозного коэффициента



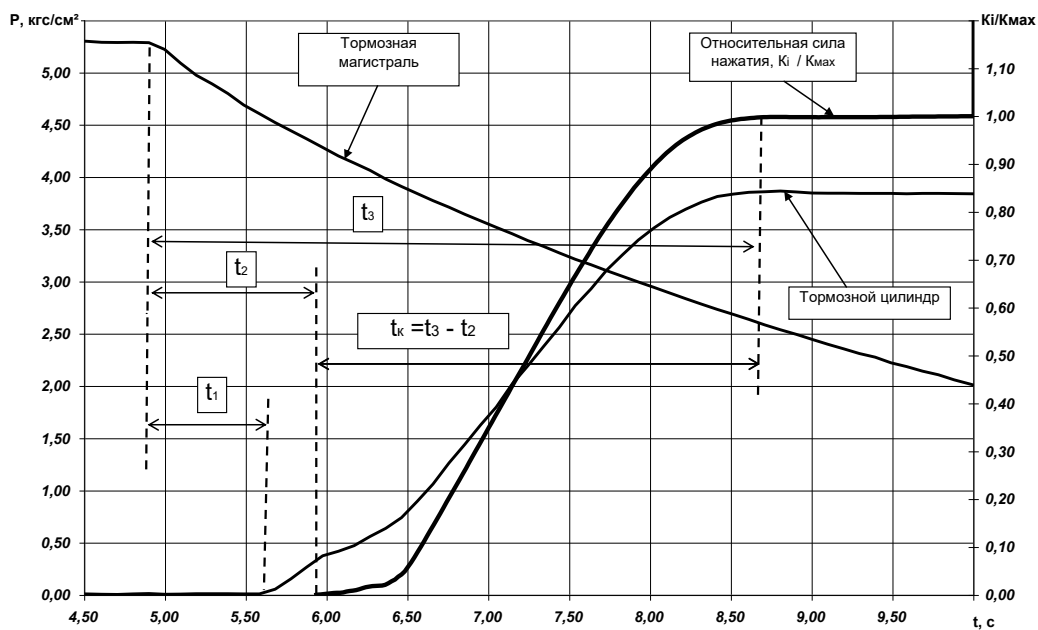


Рис. 3. Диаграммы наполнения тормозного цилиндра и силы нажатия при пневматическом торможении

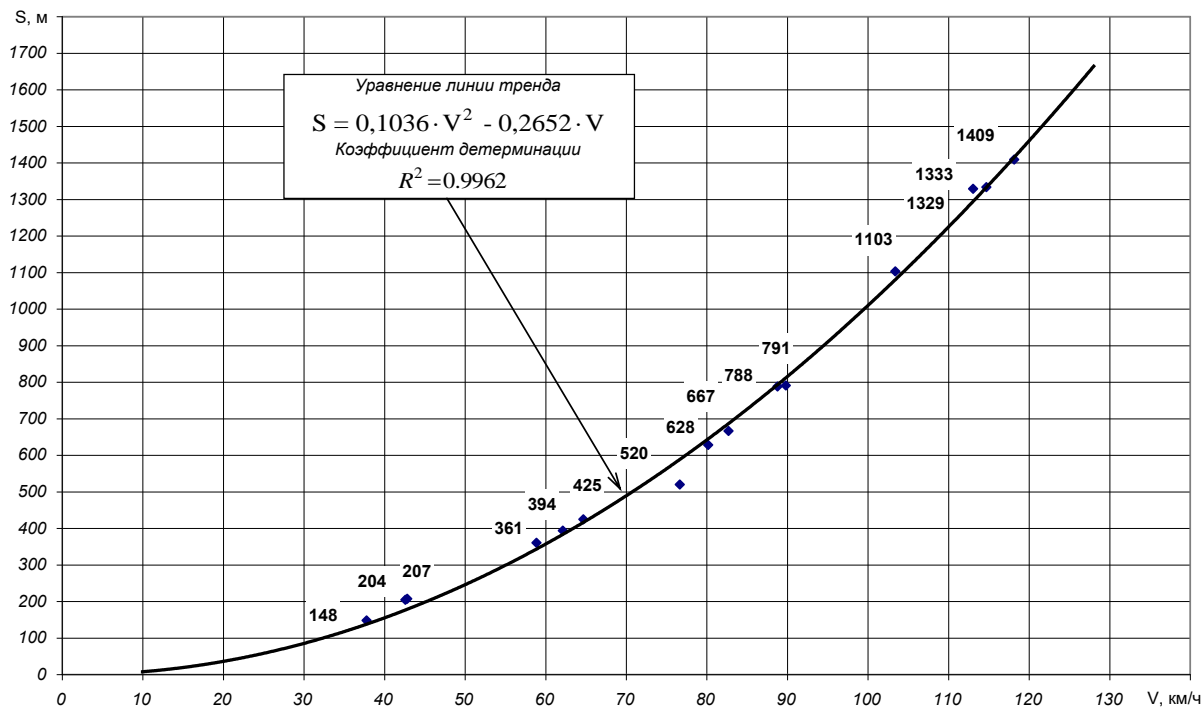


Рис. 4. Тормозные пути одиночного вагона на площадке при экстренном пневматическом торможении

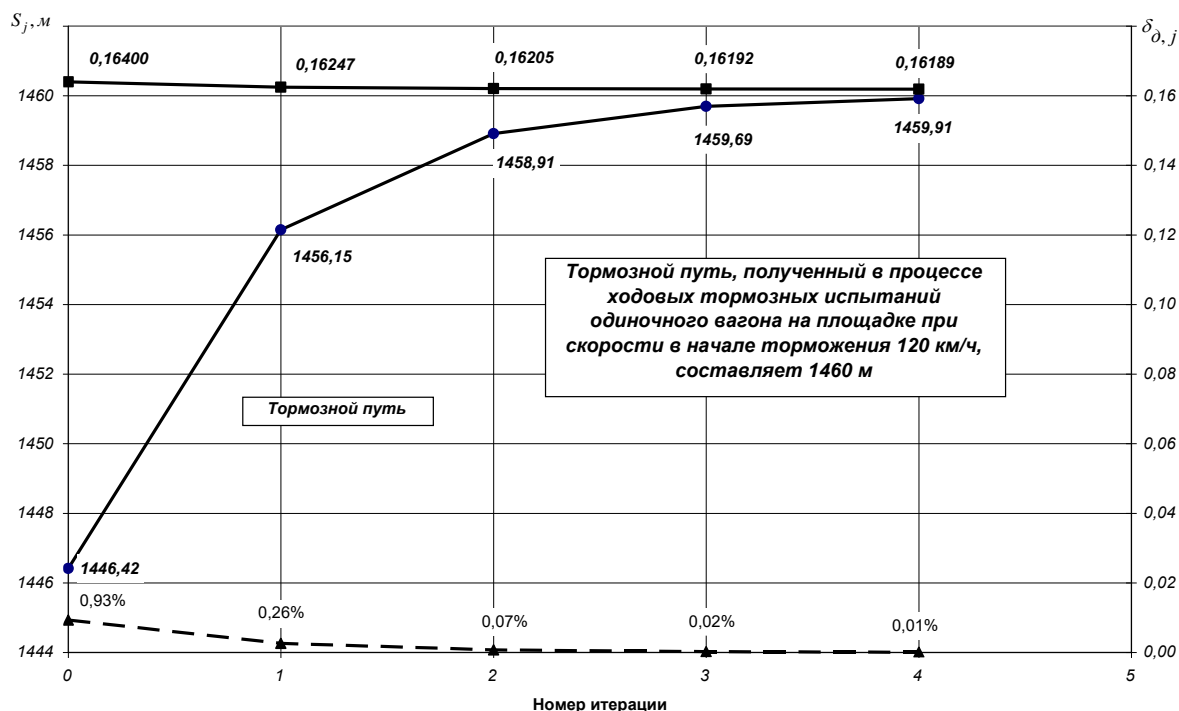


Рис. 5. Ітераційний процес визначення фактичного тормозного коефіцієнта по результатам ходових тормозних випробувань одиночного вагона на площадці при швидкості в початку гальмування 120 км/ч

Таблиця

Результати розрахункових досліджень

Швидкість в початку гальмування	Виміряний тормозний шлях, м	Розрахунковий тормозний шлях, м	Фактичний тормозний коефіцієнт
40	155,15	155,35	0,1833
50	245,74	245,37	0,1736
60	357,05	357,02	0,1678
70	489,08	489,02	0,1649
80	641,82	641,43	0,1634
90	815,29	815,77	0,1623
100	1009,48	1008,73	0,1621
110	1224,39	1224,59	0,1617
120	1460,02	1459,54	0,1617

Список використаних джерел

1. ЦВ-ЦІ-0013. Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів [Текст]. – К., 2005. – 160 с.
2. Норми для розрахунку та проектування вагонів залізничних доріг МПС колії 1520 мм (несамоходних) [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 260 с.
3. ЦТ-ЦВ-ЦІ-0015. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України [Текст]. – К.: Транспорт України, 2002. – 145 с.
4. ЦШ-0001. Інструкція з сигналізації на залізницях України [Текст]. – К., 2008. – 160 с.

5. Водяников, Ю.Я. Методология проведения поездных тормозных испытаний для определения тормозной эффективности единиц подвижного состава [Текст] / Ю.Я. Водяников, В.С. Василенко, Л.С. Ольгард // Вагонный парк. – 2014. – № 02 (83). – С. 9-13.
6. Водяников, Ю.Я. Сравнительный анализ методов определения тормозного пути единиц подвижного состава железных дорог [Текст] / Ю.Я. Водяников, Т.В. Шелейко, С.М. Свистун // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 1. – С. 52-58.
7. Водяников, Ю.Я. Расчетно-экспериментальный метод определения характеристик процессов торможения пассажирских и грузовых вагонов [Текст] / Ю.Я. Водяников, А.М. Сафронов, С.М. Свистун // Зб. наук. праць Держ. екон.-технол. університету трансп. Сер.: Транспортні системи і технології. – 2013. – Вип. 22. – С. 86-96.
8. Иноземцев, В.Г. Нормы и методы расчета автотормозов [Текст] / В.Г. Иноземцев, П.Т. Гребенюк. – М.: Транспорт, 1971. – 56 с.
9. Василенко, В.С. Программный комплекс для экспериментального исследования тормозных систем единиц подвижного состава железных дорог [Текст] / В.С. Василенко, Ю.Я. Водяников // Рейковий рухомий склад: зб. наук. праць ДП «УкрНДІВ». – Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2013. – Вип. 9. – С. 38-47.
10. Гречко, А.В. Розчіпний пристрій [Текст] / А.В. Гречко, О.С. Нищенко, Т.В. Шелейко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – 2013. – Вип. 139. – С. 243-247.
11. Водяников, Ю.Я. Методология пересчета тормозной эффективности одиночного вагона на тормозную эффективность поезда [Текст] / Ю.Я. Водяников, С.М. Свистун, Е.Г. Макеева // Залізничний транспорт України. – 2014. – Вип. 2. – С. 27-37.
12. Водяников, Ю.Я. Особенности процессов торможения грузового вагона с осевой нагрузкой 25 тс/ось [Текст] / Ю.Я. Водяников, С.В. Кукин, А.Е. Нищенко // Вагонный парк. – 2014. – № 01 (82). – С. 13-21.
13. Водяников, Ю.Я. Тормозная эффективность грузового поезда в зависимости от числа осей в составе [Текст] / Ю.Я. Водяников, Т.В. Шелейко, А.Е. Нищенко // Зб. наук. праць Держ. екон.-технол. університету трансп. – К., 2013. – Вип. 23. – С. 60-68.
14. Водяников, Ю.Я. Неопределенность измерения тормозной эффективности грузовых вагонов [Текст] / Ю.Я. Водяников, А.М. Сафронов, К.Л. Жихарцев // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2013. – Т. 207, № 18. – Ч. 2. – С. 85-89.
15. Водяников, Ю.Я. Влияние времени наполнения тормозного цилиндра сжатым воздухом на тормозную эффективность пассажирского вагона [Текст] / Ю.Я. Водяников, А.М. Сафронов, С.М. Свистун // Залізничний транспорт України. – 2014. – Вип. 5. – С. 3-8.
16. Гребенюк, П.Т. Правила тормозных расчетов [Текст] / П.Т. Гребенюк. – М.: Интекст, 2004. – 114 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

---

Сафронов Александр Михайлович, кандидат технічних наук, заступник директора з наукової роботи, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування». Тел.: (05366) 6-03-54. E-mail: ndv6@ukrndiv.com.ua.

Safronov Oleksandr, candidate of technical sciences, deputy director for science, State Enterprise "Ukrainian research van-building institute". Tel.: (05366) 6-03-54. E-mail: ndv6@ukrndiv.com.ua.

Стаття прийнята 16.10.2015 р.

УДК 656.212.6:658.5.011.56

**МЕТОД ГІЛОК І МЕЖ У КАЛЕНДАРНОМУ ПЛАНУВАННІ ВАНТАЖНО-ВІВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ**

Канд. техн. наук В.С. Меркулов, старш. викл. І.Г. Бізюк

**МЕТОД ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ В КАЛЕНДАРНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ПОГРУЗОЧНО-ВЫГРУЗОЧНЫХ РАБОТ**

Канд. техн. наук В.С. Меркулов, старш. преп. И.Г. Бизюк

**BRANCH AND BOUND METHOD IN SCHEDULING OF LOADING-UNLOADING OPERATION**

Cand. of techn. sciences V. Merkulov, I. Biziuk

*Стаття присвячена питанням, пов'язаним з перевезеннями вантажів. Розглянуто застосування методу гілок і меж у якості математичного апарату алгоритму планування вантажно-вивантажувальних робіт.*

*Необхідно розв'язати змішану задачу лінійного програмування: мінімізувати цільову функцію, що залежить від директивних і планових показників, частина з яких приймає цілі значення а решта – раціональні.*

*Запропонована модель адекватно описує предметну область, що дозволило на її базі розробити і впровадити на Південній залізниці ефективну програмну систему.*

**Ключові слова:** оперативне планування, вантаження-вивантаження, автоматизація, регульовальне завдання, норми вантажної роботи, цілочисельне лінійне програмування, показники, метод гілок і меж, галуження, цільова функція.

*Статья посвящена вопросам, связанным с грузоперевозками. Рассмотрено применение метода ветвей и границ в качестве математического аппарата алгоритма планирования погрузочно-выгрузочных работ.*

*Необходимо решить смешанную задачу линейного программирования: минимизировать целевую функцию, которая зависит от директивных и плановых показателей, часть которых принимает целые значения, а остальные - рациональные.*

*Предложенная модель адекватно описывает предметную область, что позволило на ее базе разработать и внедрить на Южной дороге эффективную программную систему.*

**Ключевые слова:**, оперативное планирование, погрузка-выгрузка, автоматизация, регулировочное задание, нормы грузовой работы, целочисленное линейное программирование, показатели, метод ветвей и границ, ветвление, целевая функция.

*The article considers the problems connected with cargo transporting. The appliance of the branch and bound method as a mathematical machinery of algorithm of the scheduling of loading-uploading operation is considered.*

*It is necessary to solve a mixed problem of linea programming(LP), specifically to minimize the target function, which depends on directive and planned indicators, which part takes up the whole integral values while the rest are rational.*

*The suggested model sufficiently describes the object region which base allows it to develop and involve an effective program system on the Southern Railway.*

*LP-2 and LP-3.If optimal solutions of the problems LP-2 and LP-3 consist of non-integral values, then we enter new limits at the next expansion.*

*The process of branching and the task solution of LP continues until the obtaining of integer-valued optimal solution of one of the subtasks of LP.*

*In the use of the branch and bound method the choice of the top of the further branching is performed until there is at least one nonintegral variable.*

The sufficiency of the method significantly depends on the speed of serial sounding tops.

**Keywords:** operative planning, loading-unloading, automation, regulating task, rates of cargo operations, linear integer programming, figures, the branch and bound method, branching, objective function.

**Вступ. Постановка проблеми.** Автоматизації процесу оперативного планування вантаження-вивантаження передбачає розроблення відповідного математичного апарату, який можна покласти в основу опису предметності області та побудови алгоритму отримання породового регульовального завдання і норм вантажної роботи [1, с. 8; 2, с. 7; 3, с. 21].

**Основний матеріал.** Маємо змішану задачу лінійного програмування (ЛП): мінімізувати цільову функцію

$$F = F(X_t) = F\left(\sum_{j=1}^J \bar{x}_t^j\right) \approx \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_t^{jk},$$

де директивні показники:  $X_t$  – регульовальне завдання по регіону в цілому;

$\bar{x}_t^j$  – регульовальне завдання по кожній  $j$ -й станції на  $t$ -й інтервал планового періоду;

показники, що плануються:  $x_t^{jk}$  – норми вантажної роботи по  $k$ -му роду вантажних вагонів  $j$ -ї станції на  $t$ -й інтервал планового періоду;

$j = 1, 2, \dots, J$  – порядковий номер станції;

$k = 1, 2, \dots, K$  – порядковий номер роду

вантажних вагонів при обмеженнях

$$\left| \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_t^{jk} \right| = b,$$

де  $b \approx |\tilde{X}_t|$ ;  $\tilde{X}_t$  – директивне регульовальне завдання по регіону в цілому.

Частина змінних приймає цілі значення  $x_t^{jk} \in Z$ , а частина – раціональні  $x_t^{jk} \in Q$ , де  $Z$  – множина цілих чисел;  $Q$  – множина раціональних чисел [4, с. 161; 5, с. 8].

Задача календарного планування на першому кроці може бути сформульована як задача ЛП. При цьому припускаємо, що всі змінні – величини безперервні. Отриману задачу позначимо як ЛП-1; оптимальне

значення її цільової функції дорівнює  $F_1$ . В оптимальному розв'язку задачі ЛП-1 деякі цілочисельні змінні можуть мати нецілі значення. Тоді оптимальний розв'язок вихідної задачі не збігається з оптимальним розв'язком ЛП-1.

Для визначення змінної, по якій робимо галуження, застосуємо довільні правила вибору. Наприклад, можна обрати змінну з найменшим номером.

Нехай галуження відбувається по цілочисельній змінній  $x_t^{j_1 k_1}$ , неціле значення якої в оптимальному розв'язку ЛП-1 дорівнює  $x_t^{j_1 k_1*}$ . Далі розглянемо дві нові підзадачі вихідної задачі, які позначимо як ЛП-2 і ЛП-3. Вони виникають внаслідок введення обмежень відповідно  $x_t^{j_1 k_1} \leq ]x_t^{j_1 k_1*}[$  та  $x_t^{j_1 k_1} \geq ]x_t^{j_1 k_1*}[$ , де  $]x[$  – ціла частина  $x$ .

Таким чином, вихідну задачу ЛП можна записати як сукупність двох підзадач ЛП-2 і ЛП-3 у такий спосіб: мінімізувати  $F(X_t)$  при обмеженнях

ЛП-2:

$$\left| \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_t^{jk} \right| = b; \quad x_t^{j_1 k_1} \leq ]x_t^{j_1 k_1*}[; \quad x_t^{jk} \geq 0;$$

ЛП-3:

$$\left| \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_t^{jk} \right| = b; \quad x_t^{j_1 k_1} \geq ]x_t^{j_1 k_1*}[; \quad x_t^{jk} \geq 0.$$

Якщо оптимальні розв'язки задач ЛП-2 і ЛП-3 також містять нецілі значення, то на черговому кроці вводимо нові обмеження, керуючись таким правилом: для здійснення подальшого галуження обираємо ту вершину, що відповідає оптимальному значенню цільової функції. Після визначення вершини галуження обираємо цілочисельну змінну, яка має в оптимальному розв'язку відповідної задачі ЛП неціле значення, і здійснюємо галуження по цій змінній. Процес галуження та розв'язування

задачі ЛП продовжується до одержання цілочисельного оптимального розв'язку однієї з підзадач ЛП. Значення  $F$  в отриманій точці являє собою верхню межу оптимального значення цільової функції вихідної задачі *цілочисельного лінійного програмування* (ЦЛП). На цьому етапі відкидаються задачі ЛП, для яких оптимальне значення  $F$  не менше отриманої верхньої межі. При використанні *методу гілок і меж* вибір вершин для подальшого галуження робимо доти, поки залишається хоча б одна неціла змінна (з обмеженням цілочисельності).

Ефективність методу залежить значною мірою від швидкості послідовного зондування вершин. При цьому повинна виконуватися хоча б одна з таких умов:

а) оптимальний розв'язок, що відповідає даній вершині, цілочисельний, тобто  $x_t^{jk*} \in Z$ ;

б) оптимальне значення  $F$  відповідної задачі ЛП не менше від поточної нижньої межі;

в) задача ЛП, що відповідає розглянутій вершині, не має припустимих значень.

**Висновки.** Для перевірки виконання умов а) і б) потрібний значний час, а умову в) не можна використовувати для визначення нижньої межі для задачі ЦЛП, тобто для одержання початкового плану (регульовального завдання). Але оскільки наявність перед застосуванням методу гілок і меж припустимого цілочисельного розв'язку досить бажана, пропонується за нульове наближення значень вектора  $\bar{x}_t^{jk*}$  прийняти значення, розраховані на ЕОМ за алгоритмом існуючої «ручної» технології.

#### Список використаних джерел

1. Самсонкін, В.М. Ситуаційно-евристичний підхід до календарного планування вантажно-розвантажувальних робіт в регіоні залізниці [Текст] / В.М. Самсонкін, В.С. Меркулов // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 4. – С. 8-10.
2. Самсонкин, В.Н. Концепция построения автоматизированной системы оперативного планирования погрузочно-выгрузочных работ и ведения штатного расписания в регионе дороги [Текст] / В.Н. Самсонкин, В.С. Меркулов // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 3. – С. 6-10.
3. Меркулов, В.С. Удосконалення технології календарного планування вантаження та розвантаження. [Текст] / В.С. Меркулов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 4. – С. 21-22.
4. Самсонкин, В.Н. Моделирование организационного механизма распределения ресурсов при решении задачи технического нормирования. [Текст] / В.М. Самсонкін, В.С. Меркулов // 36. наук. праць Київ. університету економіки і технологій трансп. – 2011. – Т. 19. – С. 153-164.
5. Меркулов, В.С. Структура моделі автоматизованої системи оперативного планування вантажно-розвантажувальних робіт в регіоні дороги [Текст] / В.С. Меркулов, І.Г. Бізюк // 36. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – 2014. – Вип. 149. – С. 9-12.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

Меркулов Віктор Сергійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки та систем управління, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-40. E-mail: twins54@yandex.ru.

Бізюк Ірина Григорівна, старший викладач кафедри обчислювальної техніки та систем управління, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-40. E-mail: igbiz@yandex.ru.

Merkulov Viktor Sergeevich, candidate of technical sciences, associate Professor at computer and control systems Department of Ukrainian State Academy of Railway Transport, Tel.: (057) 730-10-40. E-mail: twins54@yandex.ru.

Biziuk Iryna Grygoriyevna, Senior Lecturer at computer and control systems department of Ukrainian State Academy of Railway Transport, Tel.: (057) 730-10-40. E-mail: igbiz@yandex.ru.

Стаття прийнята 20.10.2015 р.

УДК 629.463.12

**ТЕПЛОТЕХНІЧНА МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦІЇ ОГОРОДЖЕННЯ КУЗОВА КРИТОГО ВАГОНА З ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ**

Кандидати техн. наук В.М. Іщенко, О.В. Фомін, старш. викл. В.Є. Осьмак

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦИИ ОГРАЖДЕНИЯ КУЗОВА КРЫТОГО ВАГОНА С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ**

Кандидаты техн. наук В.Н. Ищенко, А.В. Фомин, старш. преп. В.Е. Осьмак

**THERMO MODEL CONSTRUCTION BODY FENCES COVERED WAGONS WITH INSULATION**

Cand. of techn. sciences V. Ichsenko, O. Fomin, V. Osmak

*При проектуванні та освоєнні виробництва ізотермічних вагонів, до яких належать криті вагони з теплоізоляцією, використовуються сучасні технології виготовлення кузова і створення теплоізоляційного шару. Корисність дії новітніх впроваджень на теплозахисні властивості кузова розглядається на основі створення і дослідження теплотехнічної моделі конструкції огородження критого вагона з теплоізоляцією. Розроблений формалізований опис моделі конструкції огородження кузова дозволяє встановити розташування теплових груп суцільної ізоляції, теплових містків та ущільнення в багатошаровій конструкції вагона і дослідити їх теплозахисні властивості.*

**Ключові слова:** ізотермічні вагони, критий вагони з теплоізоляцією, формалізований опис, блочна ієрархічна схема, теплоізоляція, теплові місткі, ущільнення.

*При проектировании и освоении производства изотермических вагонов, к которым относятся крытые вагоны с теплоизоляцией, используются современные технологии изготовления кузова и создания теплоизоляционного слоя. Полезность действия новейших внедрений на теплозащитные свойства кузова рассматривается на основе создания и исследования теплотехнической модели конструкции ограждения крытого вагона с теплоизоляцией. Разработанное формализованное описание модели конструкции ограждения кузова позволяет установить расположение тепловых групп сплошной изоляции, тепловых мостиков и уплотнения в многослойной конструкции вагона и исследовать их теплозащитные свойства.*

**Ключевые слова:** изотермические вагоны, крытый вагон с теплоизоляцией, формализованное описание, блочная иерархическая схема, теплоизоляция, тепловые мостики, уплотнения.

*Currently, the design and construction of insulated wagons, which are covered wagons with insulation, use of modern technology in the production of the body and create a thermal insulation layer. Efficiency of the latest deployments by the heat-shielding properties is considered on the basis of the creation and study of structural models of heat engineering construction fence covered wagon with thermal insulation. Formalized description of the model construction fence body heat allows you to set the location of groups of solid insulation, thermal bridges and seals in the multilayer structure of the car and explore their thermal insulation properties. Formalized description of heat protective body structure of the car covered with insulation, developed on the basis of the principles of hierarchy and decomposition (blocking)*

**Keywords:** isothermal wagons, covered wagons with insulation, formalized description, block diagram of a hierarchical, thermal insulation, thermal bridges, seals.

**Вступ.** Складовою частиною залізничного транспорту є ізотермічний рухомий склад, який забезпечує перевезення продовольчих швидкокопсувних і нешвидкокопсувних вантажів, що потребують захист від різких перепадів температур повітря та атмосферного впливу. Значну частину цих вантажів перевозять

переобладнані вагони з вантажних вагонів рефрижераторних секцій, криті вагони з теплоізоляцією та вагони-термоси. У сучасних умовах змінюються напрямки та обсяги перевезення вантажів, зростає конкуренція з боку інших видів транспорту. Всі ці обставини і стан існуючого парку ізотермічних вагонів

потребує необхідності вирішення економічних, технологічних, екологічних та управлінських завдань щодо його оновлення, утримання, ремонту та ефективного використання при перевезенні вантажів.

Раціональні витрати при збільшенні обсягів перевезення вантажів, що не потребують встановленого температурного режиму, а вимагають захисту від атмосферного впливу та різких перепадів температури, здатне забезпечити подальше функціонування та оновлення парку критих вагонів з теплоізоляцією [1].

**Постановка проблеми.** Існуючий парк критих вагонів з теплоізоляцією і вагонів-термосів на просторі залізниць країн СНД і Балтії не оновлювалися вже більше 20 років. Враховуючи, що строк служби парку цих вагонів наближається до критичного, виникає необхідність в оновленні.

За цей проміжок часу залізничники майже втратили ринок перевезення швидкопсувних вантажів і вантажів, що потребують захисту від різкого перепаду температур і атмосферного впливу і зараз не можуть конкурувати з автомобільними перевізниками.

Вантажоперевізники використовують такий фактор, що парк критих вагонів з теплоізоляцією та вагонів-термосів потребує оновлення, а тарифи на перевезення вантажів більші від тарифів перевезення в автомобільному транспорті, тому змінити ситуацію на краще може новий парк сучасних вагонів зі збільшеною вантажопідйомністю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перспективам розвитку парку ізотермічних вагонів присвячено роботи Е.Т. Бартоша, О.А. Ворона, В.М. Анісімова, І.П. Єкімовського, І.С. Теймуразова, С.М. Науменка та інших вчених і спеціалістів.

Аналіз показав, що основну увагу в роботах приділено стану умов транспортування продовольчих швидкопсувних і нешвидкопсувних вантажів, теоретичним основам процесів тепло-масообміну, що відбуваються при перевезенні вантажів, загальним принципам аналізу теплопередачі крізь огороження кузова та герметичності вагона, методам теплотехнічних випробувань з визначення коефіцієнта теплопередачі та показників герметичності, розробленню і виробництву ізотермічних вагонів нового покоління. Проте подальший розвиток цього виду рухомого складу вимагає відповідного

наукового дослідження та аналізу нових конструкцій і їх теплозахисних властивостей.

### **Визначення мети та завдання статті.**

Новітні технології, що використовуються у вагонобудуванні ізотермічного рухомого складу, спрямовані на вдосконалення конструкції вагона та способів створення теплоізоляційного шару в огороженні кузова. Корисність дії конструкції та технології створення теплоізоляції в огороженні кузова вагона доцільно дослідити та проаналізувати з боку теплозахисних властивостей.

Вирішення цього науково-технічного завдання на сучасному рівні пропонується дослідити та проаналізувати на основі створення теплотехнічної моделі конструкції огороження кузова вагона. Величина, що прогнозується теплозахисною якістю огороження кузова, впливає на вибір раціонального методу контролю теплотехнічного стану ізотермічного вагона в експлуатації. Тому визначення теплотехнічної моделі конструкції огороження кузова є важливим завданням, що дозволяє оцінити теплотехнічні властивості кузова вагона та визначає вибір і ефективність використання методу контролю його теплозахисних якостей.

**Основна частина.** Формалізоване описання теплозахисної конструкції кузова критого вагона з теплоізоляцією розроблено на основі використання принципів ієрархічності та декомпозиції (блочності) [2, 3].

Використання принципу ієрархічності передбачає структурування опису теплозахисної конструкції кузова критого вагона з теплоізоляцією за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів. Застосування принципу декомпозиції забезпечує розподіл описів конструкції вагона на кожному ієрархічному рівні на ряд відповідних блоків (конструкційних модулів) з можливостями їхнього роздільного дослідження. Вищезазначені принципи повною мірою відображуються у блочно-ієрархічній моделі критого вагона з теплоізоляцією, яка найчастіше подається у вигляді відповідної схеми, яка є основою формалізованого описання його теплозахисної конструкції.

На основі запропонованого підходу була розроблена блочно-ієрархічна схема для класичної конструкції кузова критого вагона з теплоізоляцією, яка наведена на рис. 1.



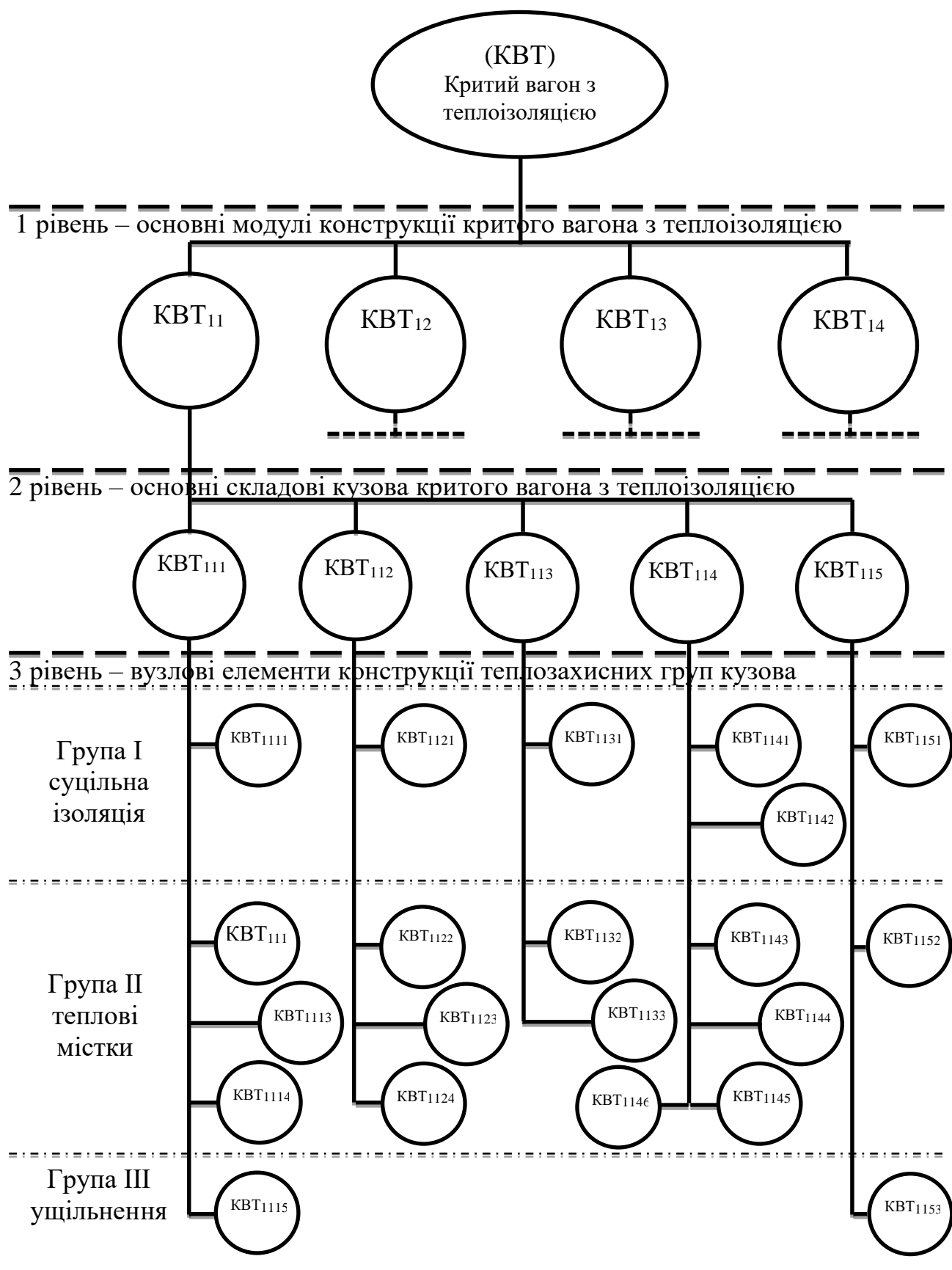


Рис. 1. Блочно-ієрархічна схема кузова критого вагона з теплоізоляцією з виділенням теплозахисних груп

З метою скорочення ілюстрованого матеріалу при розгляді описань на окремих ієрархічних рівнях вищевказаної схеми будуть наведені особливості таких описань.

Як видно з рис. 1, формалізоване описання конструкції критого вагона з теплоізоляцією передбачає виділення трьох ієрархічних рівнів.

Рівень 1 містить основні модулі конструкції вагона, які позначені рівнево-позиційним індексом  $KVT_{1x}$ . До цих модулів належать модуль кузова  $KVT_{11}$ , модуль ходової частини  $KVT_{12}$ , модуль автозчипного обладнання  $KVT_{13}$ , модуль гальмівного обладнання  $KVT_{14}$ . На даному ієрархічному рівні нас більше цікавить модуль кузова  $KVT_{11}$ , оскільки він здійснює теплозахисні функції, що суттєво відрізняє критий вагон з теплоізоляцією від інших типів вантажних вагонів. Тому розглянемо більш детально цей модуль на другому рівні.

Рівень 2 містить декомпозиційні елементи складових модулів першого рівня, які позначені рівнево-позиційним індексами  $KVT_{1xk}$  (де  $k$  змінюється залежно від кількості вузлів, які входять до складу відповідного модуля). Розглянутий модуль кузова включає п'ять декомпозиційних елементів. Перший елемент позначається індексом  $KVT_{111}$  – підлога з рамою, далі бічна стіна  $KVT_{112}$ , торцева стіна  $KVT_{113}$ , дах  $KVT_{114}$  і двері  $KVT_{115}$ . Ці всі елементи формують кузов і забезпечують теплозахисні властивості вагона.

Рівень 3 містить декомпозиційні складові другого ієрархічного рівня, які розглядаються як вузлові елементи конструкції теплозахисних груп кузова вагона і позначаються рівнево  $KVT_{1xkm}$  (де  $m$  змінюється залежно від кількості вузлів, які входять до складу відповідної декомпозиційної складової другого ієрархічного рівня).

Детально розглянемо групи теплозахисного шару, які входять до декомпозиційного блока  $KVT_{111}$  – підлога з рамою. Група суцільної ізоляції  $KVT_{1111}$  підлоги складаються з зовнішнього та внутрішнього металевих листа і прошарку ізоляційного матеріалу. Група теплових містків  $KVT_{1112}$ , що утворена повздовжніми балками, перетином повздовжніх і поперечних балок  $KVT_{1113}$ , у районі бокових балок  $KVT_{1114}$ , складається з внутрішнього та зовнішнього металевих листа,

прошарку повітря в металевих профілях балок і теплоізоляційного матеріалу.

Групу ущільнення підлоги  $KVT_{1115}$  створюють зливні отвори.

До блока  $KVT_{112}$  бічна стіна входять такі елементи: група суцільної ізоляції  $KVT_{1121}$ , що складається з зовнішнього і внутрішнього металевих листа та теплоізоляційного матеріалу; група теплових містків стійок бічних стін  $KVT_{1122}$ , кріплення дерев'яного бруса до стійки бічної стіни  $KVT_{1123}$ , дерев'яних брусів над дверною проймою  $KVT_{1124}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа, металевих стійок, заповнених теплоізоляційним матеріалом і деревиною.

До блока  $KVT_{113}$  торцева стіна входять такі елементи: група суцільної ізоляції  $KVT_{1131}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа і теплоізоляційного матеріалу; група теплових містків торцевої стіни в районі дерев'яних брусів  $KVT_{1132}$  і їх кріплення  $KVT_{1133}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа, теплоізоляційного матеріалу та деревини.

До блока  $KVT_{114}$  дах входять такі елементи: група суцільної ізоляції даху  $KVT_{1141}$  у районі торцевої частини  $KVT_{1142}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа і теплоізоляційного матеріалу; група теплових містків даху в районі центрального швелера  $KVT_{1143}$ , бокового швелера  $KVT_{1144}$  в районі кріплення дерев'яних балок і швелера  $KVT_{1145}$  у районі стику зі стінами  $KVT_{1146}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа, теплоізоляційного матеріалу, металевих швелера, кутника та деревини.

До блока  $KVT_{115}$  двері входять такі елементи: група суцільної ізоляції  $KVT_{1151}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа та теплоізоляційного матеріалу; група теплових містків дверного обрамлення  $KVT_{1152}$ , що складається з дерева, що перетинає метал; група ущільнення дверного отвору  $KVT_{1153}$ , що складається з гумової полоси [4].

У результаті дослідження теплотехнічної моделі класичної конструкції огороження кузова критих вагонів з теплоізоляцією встановлена площа поверхні теплових груп суцільної ізоляції, теплових містків та ущільнення і середні значення їх локальних коефіцієнтів теплопередачі. Поверхня ділянок

суцільної ізоляції складає на рівні  $S_{CI} = 82\%$ , теплових містків  $S_{TM} = 17,8\%$ , ущільнення  $S_y = 0,2\%$  середньої поверхні кузова  $S$ . Середня поверхня кузова  $S$  є середньгеометричною величиною внутрішньої  $S_i$  та зовнішньої  $S_e$  поверхні кузова.

$$S = \sqrt{S_i \cdot S_e}, \quad (1)$$

де  $S$  - середня поверхня кузова, м<sup>2</sup>;  
 $S_i$  - внутрішня поверхня кузова, м<sup>2</sup>;  
 $S_e$  - зовнішня поверхня кузова, м<sup>2</sup>.

Розподіл площі за теплозахисними групами подано на рис. 2.

Значення поверхні ділянок теплових містків в елементах огороження кузова кри- того вагона з теплоізоляцією подано на рис. 3.

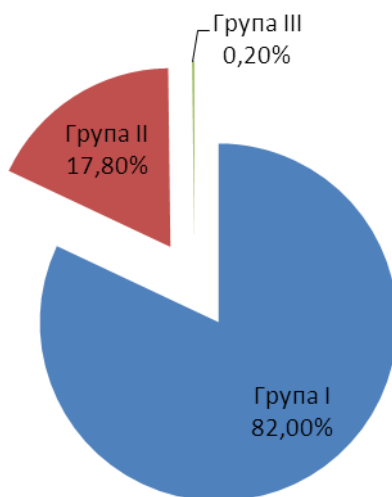


Рис. 2. Діаграма розподілу площі за теплозахисними групами кри- того вагона з теплоізоляцією

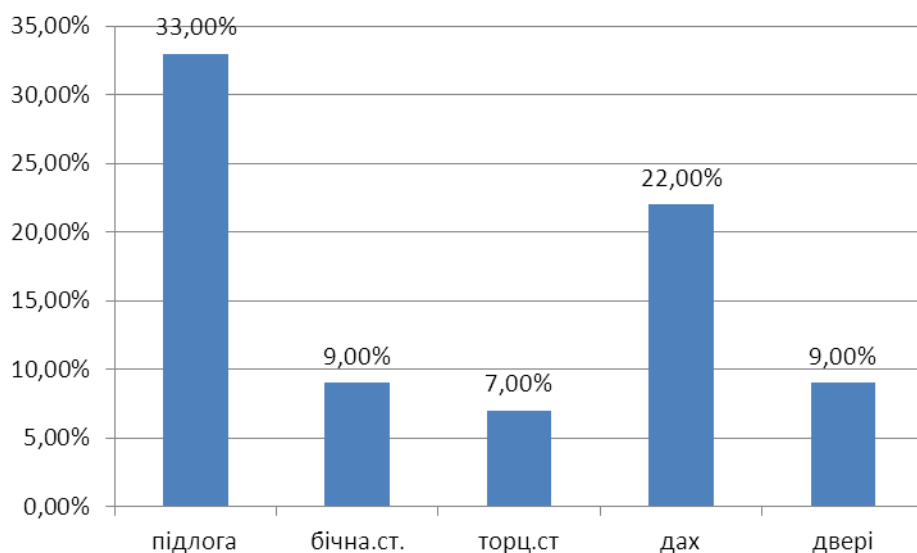


Рис. 3. Значення поверхні ділянок теплових містків, % середньої поверхні елементів огороження кузова вагона

Група I – суцільна ізоляція, складається з КВТ<sub>1111</sub>, КВТ<sub>1121</sub>, КВТ<sub>1131</sub>, КВТ<sub>1141</sub>, КВТ<sub>1142</sub>, КВТ<sub>1151</sub>, займає найбільшу площу, що становить 82,0 % загальної середньої площі кузова вагона. Ця група має багат шарову однорідну структуру та схожу конструкцію. Група II – теплові містки, складається з КВТ<sub>1112</sub>, КВТ<sub>1113</sub>, КВТ<sub>1114</sub>, КВТ<sub>1122</sub>, КВТ<sub>1123</sub>, КВТ<sub>1124</sub>, КВТ<sub>1132</sub>, КВТ<sub>1133</sub>, КВТ<sub>1143</sub>, КВТ<sub>1144</sub>, КВТ<sub>1145</sub>, КВТ<sub>1146</sub>, КВТ<sub>1152</sub>, займає значно меншу площу, що становить 17,8 % загальної середньої площі кузова вагона. Ця група має багат шарову різноманітну конструкцію, у якій теплоізоляційний матеріал перетинається елементами кузова.

Ці дві групи можливо об'єднати за схожим способом передачі теплоти – переважно кондукцією.

Група III – ущільнення, складається з блоків КВТ<sub>1115</sub>, КВТ<sub>1153</sub> та займає найменшу площину, яка складає 0,2 % загальної площі кузова вагона. Ця група складається з місць, де потенційно можливий повітрообмін з навколишнім середовищем, тобто надходження або втрата теплоти разом з фільтрацією повітря.

Середня відносна величина локальних коефіцієнтів теплопередачі теплових містків елементів огороження кузова складає: для підлоги  $0,4 < \bar{K}_n < 12,0$ , для бічних стін  $1,8 < \bar{K}_{oc} < 5,0$ , для торцевих стін  $0,6 < \bar{K}_{mc} < 2,5$ , для даху  $0,6 < \bar{K}_{ox} < 3,5$ , для дверей  $2,0 < \bar{K}_{ov} < 6,0$ , для структур суцільної ізоляції поверхні кузова  $0,3 < \bar{K}_{ci} < 0,5$ .

Середня відносна величина локального коефіцієнта теплопередачі визначається за рівнянням [5]

$$\bar{K}_i = \frac{K_i}{K_{np}}, \quad (2)$$

де  $\bar{K}_i$  - середня відносна величина локального коефіцієнта теплопередачі *i*-го елемента огороження кузова вагона;

$K_i$  - локальний коефіцієнт теплопередачі *i*-ї групи огороження кузова, Вт/м<sup>2</sup>К;

$K_{np}$  - приведений коефіцієнт теплопередачі кузова вагона, Вт/м<sup>2</sup>К.

При визначенні коефіцієнтів теплопередачі огороження кузова вагона використано основне рівняння теплопередачі для стаціонарних умов теплообміну у вигляді теплового балансу [5]:

$$Q = K \cdot S(\theta_H - \theta_B), \quad (3)$$

де  $Q$  - тепловий потік крізь огороження кузова вагона, Вт;

$K$  - коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>К;

$S$  - середня поверхня кузова, м<sup>2</sup>;

$\theta_H$  - температура зовнішнього повітря, К;

$\theta_B$  - температура повітря всередині вагона, К.

Середня відносна величина локальних коефіцієнтів теплопередачі окремих теплових містків в елементах огороження кузова в 1,3...24 рази перевищує середню відносну величину локальних коефіцієнтів теплопередачі груп суцільної ізоляції. Значне збільшення значення середніх відносних величин локальних коефіцієнтів теплопередачі мають конструкції окремих теплових містків в елементах підлоги з рамою, бічної стіни та дверях кузова вагона.

**Висновок.** Формалізоване описання конструкції кузова критого вагона з теплоізоляцією забезпечує структуруваний опис конструкції з виділенням основних модулів критого вагона з теплоізоляцією, основних складових вузлів та елементів конструкції теплозахисних груп огороження кузова вагона.

Виділення теплозахисних груп у 3 рівні дає можливість оцінити вплив кожної з групи на загальні теплотехнічні характеристики конструкції з подальшим зменшенням їх негативних якостей на основні процеси тепло-масообміну крізь огороження кузова.

### Список використаних джерел

1. Колупаев, В. В Мариуполе изобрели термос [Текст] / В. Колупаев // Гудок. – Мариуполь. – 2010. – 27 июля. – С. 2-3.

2 Фомін, О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів [Текст] / О.В. Фомін // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.

3. Фомін, О.В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів [Текст] / О.В. Фомін // Вісник Національного технічного університету «ХП»: зб. наук. праць. Сер.: «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХП», 2012. – № 26. – С. 29-33.

4. Энергетика и технология хладотранспорта [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Л.Я. Левенталь, Н.Е. Лысенко, Д.И. Сучков, А. Хенаг; под ред. Л.Я. Левенталя. – М.: Транспорт, 1993. – 228 с.

5. Бартош, Е.Т. Энергетика изотермического подвижного состава / Е.Т. Бартош.– М.: Транспорт, 1976. – 304 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

---

Іщенко Вадим Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вагонів та вагонного господарства, Державний економіко-технологічний університет транспорту. Тел. (044)591-51-26.

Фомін Олексій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вагонів та вагонного господарства, Державний економіко-технологічний університет транспорту. Тел. (044)591-51-26.

Осьмак Віктор Євгенович, старш. викладач кафедри вагонів та вагонного господарства, Державний економіко-технологічний університет транспорту. Тел. (044)591-51-26 E-mail: vic5@ukr.net.

Vadim Ishchenko, candidate of technical sciences, associate Professor of 'Cars and carriage facilities "State Economic and Technological University of Transport. Tel. (044) 591-51-26.

Alexey Fomin, Ph.D., candidate of technical sciences, associate Professor of 'Cars and carriage facilities "State Economic and Technological University of Transport. Tel. (044) 591-51-26.

Osmak Victor E., century. lecturer in "Cars and carriage facilities" State Economic and Technological University of Transport. Tel. (044) 591-51-26 E-mail: vic5@ukr.net.

Стаття прийнята 26.10.2015 р.

**УДК 629.4.066:656.259.13**

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ И ПОЕЗДА В ЦЕЛОМ**

**Канд. техн. наук О.И. Егоров**

## **ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХЛИВИХ ОДИНИЦЬ І ПОЇЗДА В ЦІЛОМУ**

**Канд. техн. наук О.Й. Єгоров**

## **SIMULATION MODELS IDENTIFICATION OF ROLLING UNIT AND THE WHOLE TRAIN**

**Cand. of techn. sciences O.I. Yehorov**

*Побудова інформаційно-керуючих систем як у межах станції, так і на прилеглих до неї шляхах, тісно пов'язані з системами ідентифікації. У роботі розглядається метод ідентифікації, який визначає статичні характеристики вагонів поїзда і поїзда в цілому з використанням залізничної автоматики та інформаційних систем верхнього рівня. Для апробації методу ідентифікації використовується імітаційне моделювання. Розроблена імітаційна модель дозволяє перевіряти правильність роботи різних алгоритмів ідентифікації рухомих одиниць.*

**Ключові слова:** метод ідентифікації, ідентифікація рухомого складу, контрольна ділянка, міжосьові відстані, точковий колійний датчик.

*Построение информационно-управляющих систем как в пределах станции, так и на прилегающих к ней путях, тесно связаны с системами идентификации. В работе рассматривается метод идентификации, определяющий статические характеристики вагонов поезда и поезда в целом с использованием железнодорожной автоматики и информационных систем верхнего уровня. Для апробации метода идентификации используется имитационное моделирование. Разработанная имитационная модель позволяет проверять правильность работы различных алгоритмов идентификации подвижных единиц.*

**Ключевые слова:** метод идентификации, идентификация подвижного состава, контрольный участок, межосевые расстояния, точечный путевой датчик.

*Various information and control systems at marshaling yards while performing manufacturing operations require timely information about the controlled objects. The identification of railway rolling stock, both of the train as a whole and of the carriages, is an integral part of most automation systems. There were developed the mathematical and simulation models of rolling unit movement process through the control section, with a three control points located on it. The simulation results were processed by means of the theory of probability and mathematical statistics. This model allows you to organize the input values of the initial data sets, to generate intermediate and resulting data, to use data on more than 50 trains a matching numbers car and its static characteristics. The developed simulation model allows you to check the correct operation of different algorithms for identifying rolling units.*

*The results of this work can be used to identify both individual rolling units and the whole train.*

**Keywords:** method of identification, rolling stock identification, control section, axle spacing, point track transducer.

**Введение.** С развитием вычислительной техники и средств железнодорожной автоматики все большее количество разнообразных технологических процессов на сортировочных станциях и прилегающих к ним путях стало возможным автоматизировать [1]. На сегодняшний день создано множество информационно-управляющих систем, систем контроля, которые предназначены для оперативного управления работой сортировочных станций. Каждая из таких систем состоит из определенного набора решаемых задач [2, 3]. Одной из таких задач является идентификация подвижных единиц и характеристик их движения. Идентификация подвижных единиц включает в себя определение различных характеристик, таких как статические характеристики, определение номеров вагонов, параметров движения и т. д. В данной работе рассматривается система идентификации каждой подвижной единицы в отдельности и поезда в целом с использованием трехточечного контрольного участка и данных о поездах, полученных с автоматизированных систем управления верхнего уровня. Система идентификации, описанная в работе [4], позволяет определять тип и количество

подвижных единиц с помощью межосевых расстояний, формировать комбинации номеров вагонов, состоящих из четырех цифр, сопоставлять идентифицируемый поезд одному из списка возможных поездов. Подобные методы идентификации разрабатывались и ранее [5-7], позднее проводилось их усовершенствование. В рассматриваемом методе задача идентификации подвижных единиц решается с использованием интегрального подхода, а именно анализируется информация, полученная как от устройств железнодорожной автоматики, так и от информационных систем верхнего уровня.

Проведение апробации правильности идентификации подвижных единиц в реальных условиях непосредственно на железнодорожных путях крайне проблематично и дорогостояще. Поэтому для исследования работы данной системы было выбрано имитационное моделирование.

**Цель.** Целью данной работы является разработка имитационной модели, позволяющей для заданных характеристик контрольного участка и объекта (поезда) сформировать набор выходных данных, которые будут впоследствии обработаны

процедурой ідентифікації. Необхідно передбачити можливість зміни алгоритма, закладеного в процедурі.

**Імітаційна модель.** Для рішення поставленої задачі було використано імітаційне моделювання, елементи теорії ймовірності і математичної статистики.

Побудова імітаційної моделі було виконано в середі Borland Delphi 7.0 з використанням СУБД FireBird 1.5.

Розроблена імітаційна модель виконує наступні дії:

- введення вихідних даних моделювання;
- формування списку поїздів;
- організація ведення бази даних парку вантажних вагонів і локомотивів з їх характеристиками і особливостями їх нумерації [8, 9];
- зміна первинного складу поїзда без «редагування документації»;
- відображення проміжних даних процесу моделювання;
- відображення результатів моделювання.

В якості вхідних параметрів імітаційної моделі були обрані наступні показники:

- початкова швидкість руху поїзда при вході на контрольний ділянку, м/с;
- прискорення руху поїзда на контрольній ділянці  $a$ , м/с<sup>2</sup>;
- відстань між точковими шляховими датчиками, що утворюють контрольні точки  $L$ , м;
- середнє квадратичне відхилення помилки датчика  $\sigma_d$ , мм [10];
- список номерів вагонів поїзда, що підлягає ідентифікації. Формується автоматично при виборі з списку;
- список можливих поїздів, що підлягає ідентифікації. Кількість задається вручну, вибір поїздів здійснюється з використанням функції Random;
- коефіцієнт якості ідентифікації [4].

При формуванні списку поїздів надається можливість виправлення складу поїзда, який підлягає ідентифікації. Було розглянуто виконання наступних операцій, що змінюють склад поїзда:

- додавання в кінець поїзда вагона або групи вагонів;
- відокремлення з кінця поїзда вагона або групи вагонів;
- відокремлення вагона або групи вагонів всередині поїзда;
- зміна послідовності вагонів в поїзді (зміна «голови» і «хвоста» місцями).

При цьому дані зміни не відображаються в «інформаційних системах верхнього рівня».

Імітаційна модель дозволяє змінювати кількість типів рухомих одиниць і їх характеристики, а також змінювати порядок нумерації вагонів.

Алгоритм функціонування імітаційної моделі процесу ідентифікації подано на рис. 1.

В якості проміжних даних представлені наступні величини:

- значення міжвагонних відстаней поїзда  $S_i$ ;
- значення визначених міжвагонних відстаней поїзда  $S_{opr}$ ;
- значення помилки визначення міжвагонних відстаней поїзда  $\Delta S_i$ ;
- значення помилки фіксації  $i$ -м датчиком  $j$ -го колеса поїзда  $\sigma_{дij}$ ;
- час наїзду  $j$ -го колеса поїзда на  $i$ -й датчик  $t_{ij}$ ;
- інтервали часу між наїздом  $j$ -го колеса поїзда на кожен з трьох датчиків  $t_{1-2,j}$ ,  $t_{2-3,j}$ .

Результати моделювання складаються з наступних даних:

- визначені значення відстаней між внутрішніми осями кожного вагона і його основою на кожному датчику;
- масиви можливих номерів кожного вагона ідентифікованого поїзда;
- показник збігів для кожного з розглянутих поїздів;
- кінцевий результат – визначений поїзд.

В базі даних імітаційної моделі зберігаються дані про міжвагонні відстані рухомих одиниць, їх типи і основи, а також дані про формування номерів вагонів.

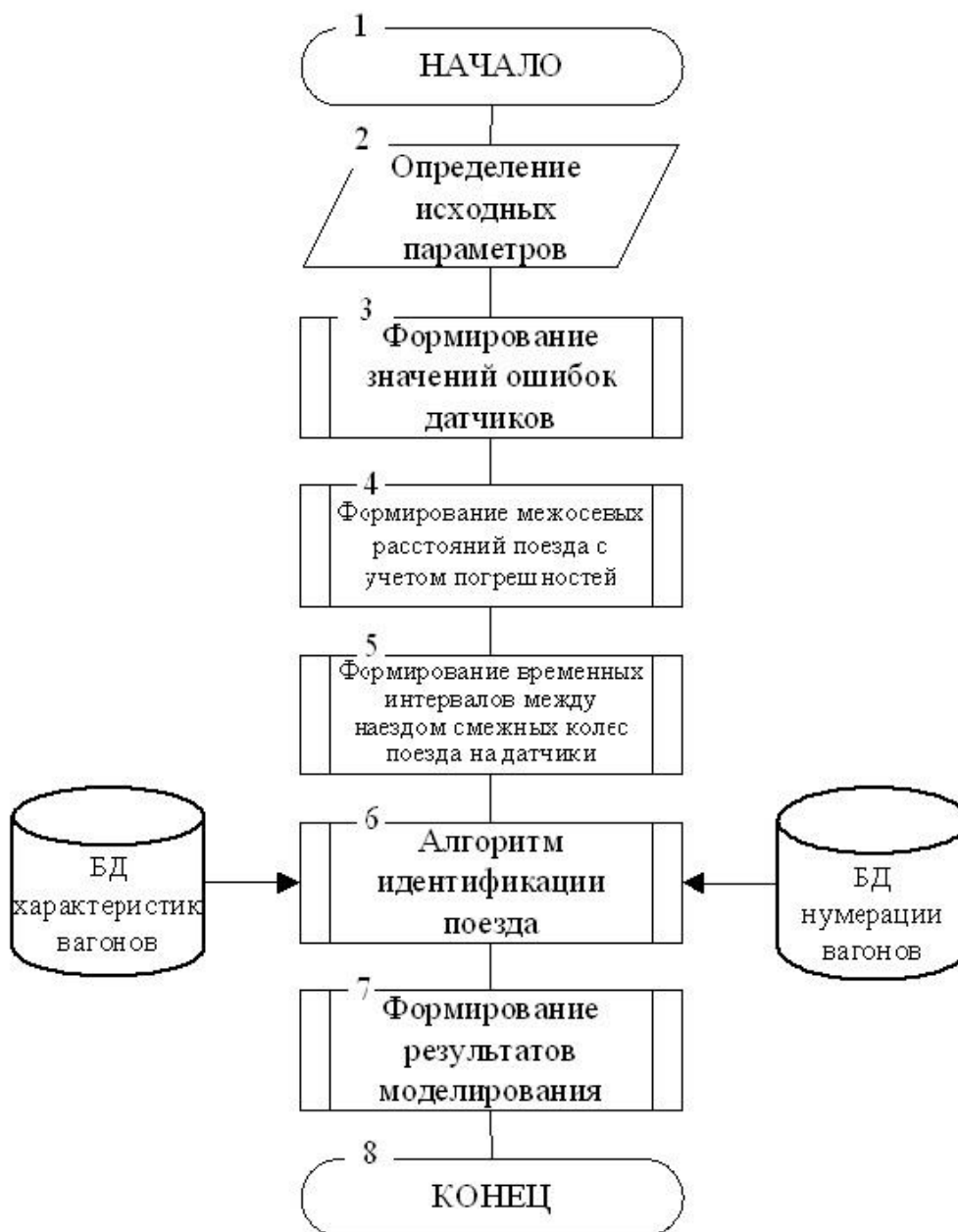


Рис. 1. Алгоритм имитационной модели идентификации поезда

Эксперименты идентификации поезда проводились на имитационной модели при следующих начальных условиях:

- начальная скорость изменялась в пределах от 10 до 20 м/с с шагом 1 м/с;
- ускорение изменялось в пределах от 0,01 до 0,05 м/с<sup>2</sup> с шагом 0,01 м/с<sup>2</sup>;
- расстояние между датчиками принималось равным 3 м и 6 м;
- погрешность датчика (среднее квадратическое отклонение ошибки фиксации

колеса) изменялась в пределах от 5 до 20 мм с шагом 1 мм;

- количество поездов идентификации 7, 10 и 15;
- коэффициент качества идентификации принимал значения 3 и 5.

Для каждого из набора данных проводилось 50 испытаний.

На рис. 2 и 3 представлены видеogramмы имитационной модели, отображающие примеры сформированных промежуточных и результирующих данных.



## Рухомий склад залізниць

Si, мм	Sопri, мм	dS, мм	Tд1.c	Tд2.c	Tд3.c	dTд1.c	dTд2.c	dTд3.c
1850	1841	9	0,00000	0,20017	0,39947	0,12295	0,12218	0,12351
6800	6802	2	0,45260	0,65466	0,85298	0,45260	0,45449	0,45351
1850	1858	8	0,57664	0,77736	0,97584	0,12404	0,12270	0,12286
3420	3413	7	0,80416	1,00484	1,20385	0,22752	0,22748	0,22800
1850	1862	12	0,92840	1,12841	1,32757	0,12425	0,12357	0,12373
6800	6822	22	1,38205	1,58133	1,77944	0,45364	0,45292	0,45187
1850	1830	20	1,50414	1,70534	1,90246	0,12209	0,12400	0,12302
2895	2886	9	1,69651	1,89718	2,09581	0,19236	0,19185	0,19335
1850	1852	2	1,82005	2,02070	2,21852	0,12354	0,12351	0,12271
4800	4800	0	2,13951	2,34145	2,53863	0,31946	0,32076	0,32011
1850	1864	14	2,26382	2,46332	2,66149	0,12431	0,12187	0,12285
2745	2737	8	2,44620	2,64642	2,84386	0,18238	0,18310	0,18237
1850	1830	20	2,56819	2,76923	2,96759	0,12199	0,12281	0,12374
1350	1338	12	2,65743	2,85926	3,05688	0,08924	0,09003	0,08928
1850	1863	13	2,78162	2,98196	3,17999	0,12419	0,12271	0,12312
7020	7018	2	3,24762	3,44953	3,64701	0,46600	0,46756	0,46702
1850	1861	11	3,37161	3,57149	3,76956	0,12399	0,12197	0,12255
1350	1336	14	3,46065	3,66085	3,85917	0,08905	0,08936	0,08961
1850	1859	9	3,58449	3,78461	3,98378	0,12384	0,12376	0,12461
3270	3258	12	3,80131	4,00245	4,20068	0,21682	0,21784	0,21690
1850	1845	5	3,92417	4,12588	4,32415	0,12286	0,12342	0,12347
6800	6811	11	4,37619	4,57679	4,77526	0,45202	0,45091	0,45111
1850	1860	10	4,50003	4,70009	4,89784	0,12385	0,12331	0,12258
3420	3418	2	4,72733	4,92826	5,12518	0,22730	0,22816	0,22734
1850	1846	4	4,85020	5,05084	5,24892	0,12287	0,12259	0,12374
6800	6802	2	5,30133	5,50229	5,70021	0,45113	0,45145	0,45129
1850	1851	1	5,42448	5,62476	5,82273	0,12315	0,12247	0,12252

Рис. 2. Видеограмма промежуточных результатов моделирования

Исходные данные			Показатели моделирования	
СенД1 мм	СенД2ммS	СенД3, мм	Коды вагонов	
6802 4	6828 4	6827 4	36 37 38 39	Поезд № 5 Код - 59 Кол-во вагонов - 53 Кол-во попаданий - 2 %- 2,60
6822 4	6808 4	6806 4	36 37 38 39	
4800 4	4795 4	4806 4	33	Поезд № 6 Код - 12 Кол-во вагонов - 58 Кол-во попаданий - 2 %- 2,60
7017 8	1332 8	1332 8	58 59	
6811 4	6791 4	6808 4	36 37 38 39	Поезд № 7 Код - 26 Кол-во вагонов - 44 Кол-во попаданий - 2 %- 2,60
6802 4	6803 4	6815 4	36 37 38 39	
5158 4	5129 4	5153 4	43	Поезд № 8 Код - 28 Кол-во вагонов - 47 Кол-во попаданий - 2 %- 2,60
5270 4	5249 4	5292 4	44 45 46	
5164 4	5137 4	5150 4	43	Поезд № 9 Код - 17 Кол-во вагонов - 61 Кол-во попаданий - 3 %- 3,90
5267 4	5259 4	5279 4	44 45 46	
5149 4	5130 4	5157 4	43	Поезд № 10 Код - 53 Кол-во вагонов - 47 Кол-во попаданий - 0 %- 0,00
5143 4	5120 4	5166 4	43	
6819 4	6813 4	6829 4	36 37 38 39	Поезд № 11 Код - 18 Кол-во вагонов - 57 Кол-во попаданий - 57 %- 74,03
6820 4	6796 4	6814 4	36 37 38 39	
4808 4	4787 4	4800 4	33	
4812 4	4780 4	4806 4	33	
4807 4	4781 4	4799 4	33	
4805 4	4772 4	4808 4	33	
6804 4	6798 4	6831 4	36 37 38 39	
4797 4	4783 4	4811 4	33	
4804 4	4773 4	4789 4	33	
6803 4	6808 4	6829 4	36 37 38 39	
7023 8	1341 8	1350 8	58 59	
6801 4	6808 4	6824 4	36 37 38 39	
6802 4	6790 4	6801 4	36 37 38 39	
4804 4	4772 4	4786 4	33	
4808 4	4768 4	4784 4	33	

Рис. 3. Видеограмма результатов моделирования

Испытания проводились в двух режимах:  
 – полное соответствие между идентифицируемым поездом и его описанием в информационных системах верхнего уровня;  
 – измененный состав идентифицируемого поезда (отцепление, прицеп вагонов).

Поезд, подлежащий идентификации, выбирался вручную или автоматически из

списка поездов по закону равномерного распределения. Группа поездов формировалась автоматически по закону равномерного распределения без повторений одного и того же поезда в группе. Полный список поездов содержит более 50 поездов. В качестве объектов идентификации были собраны данные поездов со станции Запорожье-Левое за двое суток.

Все експерименти показали успішную ідентифікацію вибраного поезда.

**Практическая значимость.** Представленная имитационная модель позволяет адекватно моделировать процесс движения подвижных единиц через контрольный участок и выполнять алгоритм идентификации. При этом возможна замена процедуры идентификации для апробации правильности работы других методов.

**Выводы.** Разработанная имитационная модель позволила провести апробацию метода идентификации поездов с использованием дополнительной информации от систем верх-

него уровня. Данный метод показал высокую надежность и правильность работы. При этом он не критичен к следующим факторам:

- высокая погрешность работы датчика (проводились эксперименты с погрешностью датчика до 80 мм);
- сбой одного из трех датчиков;
- количество идентифицируемых поездов в группе;
- скорость и ускорение движения поезда;
- изменение состава поезда в процессе его следования.

### Список использованных источников

1. Косолапов, А.А. Концептуальні моделі сортувальних станцій. ЦИТ: 412-0949 [Текст] / А.А. Косолапов // Сборник научных трудов «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012». Транспорт. Техническая эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – Т. 2., № 4. — С. 65-69.
2. Долгополов, П.В. Оптимізація роботи залізничних вузлів на основі планування резерву порожніх вагонів [Текст] / П.В. Долгополов, І.М. Дробот, О.Ю. Рогозін // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 112. – С. 108–112.
3. Лаврухін, О.В. Побудова моделі оптимізації пропуску поїздів на підходах до сортувальної станції [Текст] / О.В. Лаврухін, П.В. Долгополов, Ю.В. Доценко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2013. – Вип. 64. – С. 15–17.
4. Жуковицкий, И.В. Автоматизированная идентификация подвижных единиц и поезда в целом [Текст] / И.В. Жуковицкий, О.И. Егоров // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – № 6. – С. 77–82.
5. А. с. 1260280 СССР, МКИ4 В 61 L 1/16. Устройство для распознавания типа вагонов подвижного состава [Текст] / Попов О.С., Унтилов В.П., Фереферов Ю.С., Суд Э.Н. (СССР). – 3876545/27–11; заявл. 01.04.85; опубл. 30.09.86, Бюл. № 36. – 5 с.
6. А. с. 1719260, МКИ5 В 61 L 1/16 25/02. Устройство для опознавания типа вагонов [Текст] / Соболев Ю.В., Соколов В.М., Придубков П.Я., Майборода А.Ф., Прогонный А.Н., Пилипенко В.В. – 4793120/11; заявл. 15.02.90; опубл. 15.03.92; Бюл. № 10. – 13 с.
7. А. с. 1787845, МКИ5 В 61 L 1/16. Устройство для опознания типа вагонов [Текст] / Захаров В.А., Черненко В.М. – 4721169/11; заявл. 31.05.89; опубл. 15.01.93, Бюл. № 2. – 3 с.
8. Раков, В. А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976-1985) [Текст] / В.А. Раков. – М.: Транспорт, 1990. – 238 с.
9. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР. Альбом [Текст]. – М.: Транспорт, 1989. – 173 с.
10. Штанке, А.Э. Исследование и выбор путевых датчиков в системе диспетчерского контроля [Текст] / А.Э. Штанке, И.Г. Красовская // Совершенствование устройств ж.-д. автоматики и телемеханики: межвуз. сб. науч. ст. – Свердловск, 1973. – Вып. 34. – С. 59-66.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.В. Жуковицький

Егоров Олег Йосифович, кандидат технічних наук, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: +38 (056) 373 15 89. E-mail: egoroffoleg@ukr.net.

Yehorov Oleh, Cand. of techn. sciences, dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian. Tel.: +38 (056) 373 15 89. E-mail egoroffoleg@ukr.net.

Стаття прийнята 03.11.2015 р.

УДК 629.4.053

**ЗАСТОСУВАННЯ БАЙЄСІВСЬКИХ МЕРЕЖ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМАМИ ПОЇЗДА**

Д-р техн. наук Е.Д. Тартаковський, канд. техн. наук О.М. Горобченко

**ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЗАМИ ПОЕЗДА**

Д-р техн. наук Э.Д. Тартаковский, канд. техн. наук А.Н. Горобченко

**APPLICATION BAYESIAN NETWORKS IN THE DEVELOPMENT OF INTELLIGENT CONTROL OF TRAIN BRAKES**

Dr. Tech. Sciences E.D. Tartakovsky, Ph. D. O.M. Gorobchenko

*У роботі вирішується завдання визначення параметрів руху поїзда, що неможливо отримати безпосереднім вимірюванням. Для цього використано апарат теорії мереж Байєса. Зміну стану навколишнього середовища представлено як ряд знімків, кожен з яких визначає ситуацію в даний конкретний момент часу. Розроблено структуру байєсівської мережі та розподілення умовних імовірностей для задачі визначення стану рейок.*

**Ключові слова:** інтелектуальна система, мережа Байєса, поїзд, керування.

*В работе решается задача определения параметров движения поезда, которые невозможно получить непосредственным измерением. Для этого использован аппарат теории сетей Байеса. Изменение состояния окружающей среды представлено как ряд снимков, каждый из которых определяет ситуацию в данный конкретный момент времени. Разработана структура байесовской сети и распределение условных вероятностей для задачи определения состояния рельсов.*

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, сеть Байеса, поезд, управление.

*For quite a long time is not observed appreciable increase of level of traffic safety and efficiency in the use of traction rolling stock. One of the reasons for this situation is the human factor that even with sufficient technical development of control systems for modern locomotives up to the present time is a quite powerful deterrent. One of the ways to solve this problem is the use of intellectual technologies in management of the rolling stock. In work is solved the problem of determining the motion parameters of the train that it is impossible to obtain by direct measurement. This will allow them to formalize and submit to the input of the intelligent control systems. For this we used the theory of Bayesian networks. Changing the environment is represented as a series of shots, each of which defines the situation in this particular moment of time. The resulting model of the transition that corresponds to a Markov process of first order, as well as the model of perception. The structure of Bayesian network and the distribution of conditional probabilities for determining the state of the rails. The results will allow to expand the range of options that are accounted for intelligent system, which will improve the quality of process control of a locomotive.*

**Keywords:** intelligent system, Bayesian network, train, management.

**Вступ.** Підвищення безпеки руху поїздів і зниження собівартості перевезень завжди залишаються актуальними завданнями для науковців – спеціалістів у галузі залізничного транспорту. Процес розвитку та вдосконалення засобів транспорту є безперервним і забезпечує збереження лідируючої позиції залізниць у перевезеннях вантажів і пасажирів. Найсучасніші технічні рішення реалізовано на

тяговому рухомому складі. Вимоги до рівня знань і дисципліни працівників значно підвищилися за останні роки. Враховуючи те, що вартість людської помилки при обслуговуванні та керуванні засобами залізничного транспорту дуже велика, постає актуальне завдання максимального зниження шкідливого впливу людського фактора на ефективність і безпеку перевезень.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Процес керування поїздом є одним з основних і відповідальних технологічних процесів на залізничному транспорті. Для його вдосконалення розробляються та впроваджуються все нові технічні засоби і системи [1-3]. Але вже досить тривалий час не спостерігається відчутного підвищення рівня безпеки руху та ефективності використання тягового рухомого складу. Однією з причин такої ситуації є вплив людського фактора, що навіть при достатньому розвитку технічних систем керування сучасних локомотивів до теперішнього часу є досить впливовим стримуючим фактором.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Можливим шляхом вирішення вказаної проблеми може бути використання інтелектуальних технологій [4], які дадуть змогу покращити якість керування локомотивом, а в перспективі, можливо, повністю усунути людину від цього процесу. Найбільш відповідальною функцією машиніста локомотива під час ведення поїзда є керування гальмами. Помилки при використанні гальм є

досить розповсюдженими (складають до 26 % усіх транспортних подій, що виникли з вини локомотивних бригад [5]) і можуть призвести до катастрофічних наслідків. Тому при розробленні інтелектуальних систем керування локомотивами [6] необхідно приділити особливу увагу модулю керування гальмами.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Під час руху поїзда машиніст при управлінні гальмами керується такими вихідними даними:

- забезпеченість поїзда гальмами;
- стан поверхні головки рейок;
- поточна швидкість руху;
- відстань до сигналу зупинки або місця зниження швидкості;
- ефективність гальм.

Враховуючи всі ці фактори, машиніст приймає рішення про момент початку гальмування (переведення крана машиніста в гальмівне положення) і про інтенсивність гальмування (глибина розрядження магістралі). Тому архітектура інтелектуальної системи керування гальмами повинна виглядати так, як показано на рис. 1.

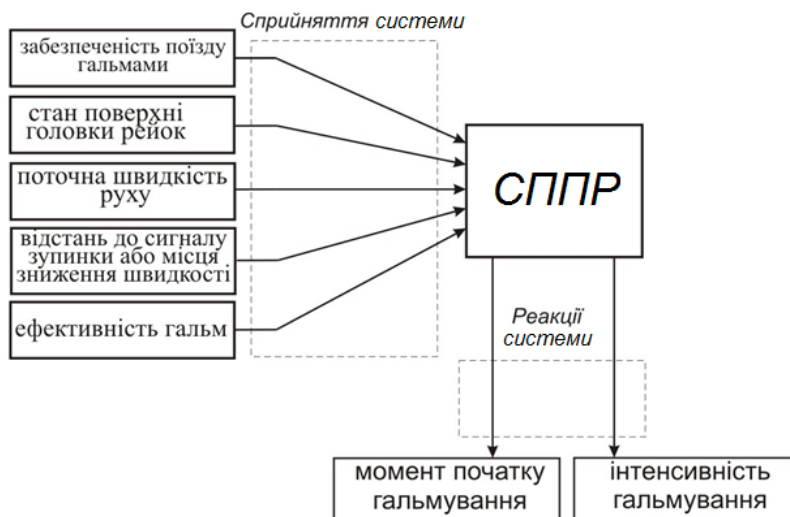


Рис. 1. Архітектура системи керування гальмами

Неможливо однозначно визначити всі параметри, що впливають на прийняття рішення при гальмуванні (машиніст у цьому випадку покладається на індивідуальне сприйняття поїзної ситуації та використовує особистий досвід). Тому метою даного

дослідження є визначення способу представлення параметрів ведення поїзда при керуванні гальмами для частково спостережуваних, стохастичних варіантів середовища.

Основні елементи проекту модуля [4]:

- моделі переходу і спостереження представлені у вигляді динамічних байєсівських мереж;

- динамічна байєсівська мережа доповнюється вузлами прийняття рішень і вузлами корисності;

- для врахування даних про кожне нове сприйняття і дію та для відновлення уявлення довірчого стану використовується алгоритм фільтрації;

- рішення приймаються шляхом проектування в прямому напрямку можливих послідовностей дій і вибору найкращих із цих послідовностей.

Основна перевага використання динамічної байєсівської мережі для подання моделі переходу і моделі сприйняття полягає в тому, що така мережа дозволяє застосовувати декомпозицію опису стану на множину випадкових змінних.

**Основна частина дослідження.**

Опишемо зміну стану навколишнього середовища як ряд знімків, кожен з яких визначає ситуацію в даний конкретний момент часу. Кожний знімок, або часовий зріз, містить множину випадкових змінних, причому одна частина з них є такою, що спостерігається, а інша – ні. У випадку контролю гальмування в кожному часовому зрізі одна і та сама підмножина змінних є такою, що спостерігається. Використаємо  $X_t$  для позначення множини змінних, що не спостерігаються під час  $t$ , та  $E_t$  для позначення множини змінних, що спостерігаються.

Спрощений приклад керування гальмами виглядає так. Системі перед гальмуванням потрібно визначити стан поверхні головки рейок. Однак безпосередньо це неможливо зробити з локомотива, що рухається. Побічно інформація про поверхню рейки (а отже, і про поточний коефіцієнт зчеплення) може бути

отримана шляхом вимірювання таких параметрів, як вологість і температура повітря. Таким чином, кожний проміжок часу  $t$  множина  $E_t$  включає дві змінні  $V_t$  та  $T_t$ , що показують величини вологості і температури зовнішнього повітря. Множина  $X_t$  містить єдину змінну  $S_t$ , що характеризує стан рейок. Таким чином, спрощена задача визначення стану рейок може бути представлена змінними стану  $S_1, S_2, S_3, \dots$  та змінними свідочтв  $V_1, T_1, V_2, T_2, V_3, T_3, \dots$ .

Після того як обрано множини змінних становища та змінних свідочтва для даної конкретної задачі гальмування, на наступному етапі необхідно визначити залежності між цими змінними. Упорядкування виконаємо в їх природній часовій послідовності.

У процесі накопичення батьківських змінних їх кількість буде дуже великою, що значно ускладнить обчислювальні процеси бортової ЕОМ. Вирішується це завдяки прийняттю так званого марківського припущення, яке полягає в тому, що поточний стан залежить лише від кінцевої історії попередніх станів. Найпростішим з них є марківський процес першого порядку, у якому поточний стан залежить тільки від попереднього стану і не залежить від більш ранніх станів.

Тоді сформулюємо для всіх  $t$  таке співвідношення:

$$P(X_t|X_{0:t-1}) = P(X_t|X_{t-1}). \quad (1)$$

Таким чином, у марківському процесі першого порядку закони, що описують, як стан розвивається в часі, повністю представлені в умовному розподілі  $P(X_t|X_{t-1})$ , що є моделлю переходу.

Структура байєсівських мереж, що відповідає марківському процесу першого порядку, наведено на рис. 2.

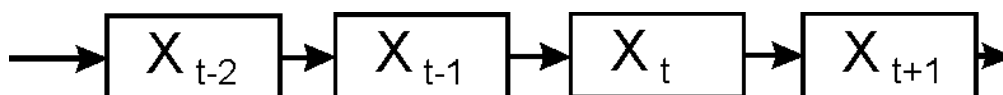


Рис. 2. Баєсівська мережа, що відповідає марківському процесу 1-го порядку

Правомірність використання теорії марківських процесів для опису процесів керування поїздом, і зокрема процесів гальмування, визначено в роботі [7].

Потрібно, крім обмеження кількості батьківських змінних, що належать до змінних стану  $X_t$ , обмежити кількість батьківських змінних, що належать до змінних свідочтва  $E_t$ .

Змінні свідчення під час  $t$  залежать тільки від поточного стану [4]:

$$P(\mathbf{E}_t | \mathbf{X}_{0:t}, \mathbf{E}_{0:t-1}) = P(\mathbf{E}_t | \mathbf{X}_t). \quad (2)$$

Умовне розподілення  $P(\mathbf{E}_t | \mathbf{X}_t)$  є моделлю сприйняття, оскільки воно показує, як фактичний стан впливає на результати сприйняття, тобто на змінні свідчення.

Крім моделі переходу і моделі сприйняття, необхідно визначити  $P(\mathbf{X}_0)$  – розподілення апріорних імовірностей станів під час 0. Ці три розподілення, у сукупності з припущеннями про умовну незалежність, що наведені в рівняннях (1) і (2), дозволяють

отримати специфікацію повного спільного розподілення за всіма змінними.

Припущення про незалежність відповідає дуже простій структурі байєсівської мережі, що описує всю систему. Розробимо мережу для прикладу про стан рейок, що наведено вище.

Припустимо, що змінна  $C_i$ , яка характеризує стан рейок, приймає два значення: рейки чисті ( $C_i = \text{True}$ ), на рейках роса або іній ( $C_i = \text{False}$ ). Змінні  $B_i$  та  $T_i$  також приймають два значення: вологість і температура високі ( $B_i = \text{True}, T_i = \text{True}$ ), вологість і температура низькі ( $B_i = \text{False}, T_i = \text{False}$ ). На рис. 3 наведена структура мережі.

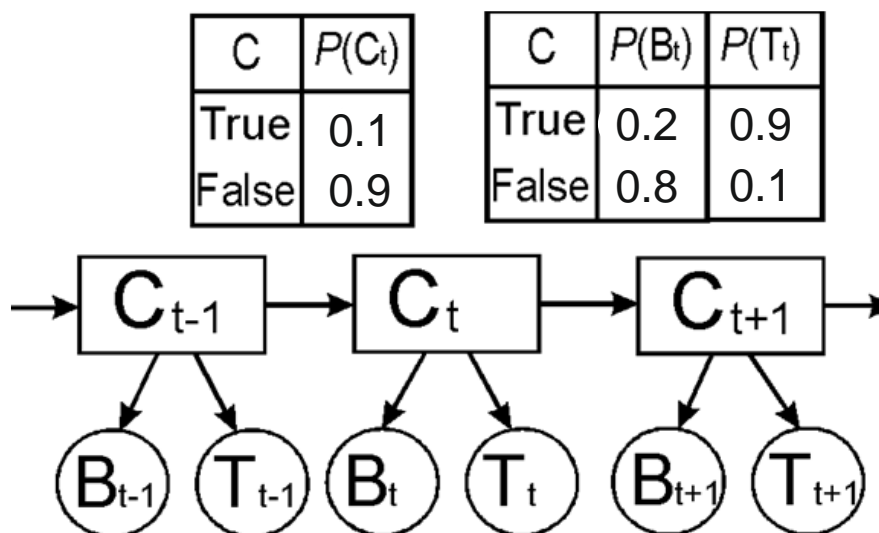


Рис. 3. Структура байєсівської мережі та розподілення умовних імовірностей для задачі визначення стану рейок

Умовні імовірності визначено з таких міркувань. Оскільки процес гальмування дуже відповідальний і прямо впливає на безпеку руху, то моніторинг стану рейок потрібно проводити з інтервалом часу 1 с, щоб мати можливість оцінки ситуації в будь-який момент, коли необхідно виконати регулювання швидкості або зупинку. Зміни стану рейок здебільшого не відбуваються миттєво. Тому якщо в момент  $t-1$  на рейках була відсутня роса, то з великою часткою імовірності можна стверджувати, що в момент часу  $t$  (через 1 с) роса також не з'явиться. І, навпаки, забруднення рейок не зникне швидко. Формально це виражено моделлю переходу:

$$P(C_t | C_{t-1}) = 0.9. \quad (3)$$

Моделю сприйняття запишемо в такому вигляді:

$$\begin{cases} \text{при } C_t = \text{True} \\ P(B_t | C_t) = 0.2, \\ P(T_t | C_t) = 0.9, \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \text{при } C_t = \text{False} \\ P(B_t | C_t) = 0.8, \\ P(T_t | C_t) = 0.1. \end{cases} \quad (5)$$

У структурі на рис. 3 передбачається використання марківського процесу першого порядку, оскільки вважається, що чистота

рейки залежить тільки від того, у якому стані вона знаходилась у попередній момент часу.

У наведеному вигляді модель визначення стану рейок не може бути використана інтелектуальною системою з причини недостатньої точності. Але є можливість її коригування шляхом підвищення порядку моделі та розширення множини змінних стану (наприклад введенням змінної атмосферного тиску або пори року).

**Висновки.** Розроблено структуру байєсівської мережі та розподілення умовних імовірностей для задачі визначення стану

рейок, у якій передбачається використання марківського процесу першого порядку. Для функціонування інтелектуальної системи керування необхідно реалізувати моніторинг великої кількості параметрів локомотива, навколишнього середовища та поїзної ситуації. Наведений у роботі підхід можливо використовувати для визначення та передачі в систему всіх параметрів ведення поїзда, які неможливо визначити безпосереднім вимірюванням, що значно підвищить якість керування локомотивом.

### *Список використаних джерел:*

1. Conventional Automatic Train Protection (ATP) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mobility.siemens.com/>, вільний. – Загол. з екрана.
2. Волковский, Д.В. Системы автоведения поездов и безопасность движения [Электронный ресурс] / Д.В. Волковский // Евразия Вести XII – 2013. – Режим доступа: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2013-12a15>, вільний. – Загл. с екрана.
3. A new generation for driverless automated transit systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-control-solutions/mass-transit-solutions/cityflo-650.html>, вільний. – Загол. з екрана.
4. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход [Текст] / С. Рассел, П. Норвиг; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1408 с.
5. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства та аварійності на транспорті України за 2014 рік [Текст]. – К.: Департамент безпеки на транспорті Мінінфраструктури України, 2015. – 124 с.
6. Горобченко, О.М. Методологічні основи побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для локомотивних бригад [Текст] / О.М. Горобченко // Локомотив-інформ. – 2014. – №8. – С. 12-13.
7. Горобченко, О.М. Використання теорії марківських процесів при проектуванні моделі переходу і спостереження інтелектуальних агентів керування локомотивом [Текст] / О.М. Горобченко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 27. – С. 95-99.

---

Тартаковський Едуард Давидович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту.

Горобченко Олександр Миколайович, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 0509720471. E-mail: [superteacher@yandex.ru](mailto:superteacher@yandex.ru).

Edward D. Tartakovsky, Dr.Tech. Sciences, department "Maintenance and repair of rolling stock", Ukrainian State University of Railway Transport.

Gorobchenko Oleksandr, PhD, department "Maintenance and repair of rolling stock", Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 0509720471. E-mail: [superteacher@yandex.ru](mailto:superteacher@yandex.ru).

Стаття прийнята 09.12.2015 р.

---

---

**ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАЛІЗНИЦЬ**

---

---

УДК 656.212.5

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ПІВДЕННОЇ СИСТЕМИ  
ДВОСТОРОННЬОЇ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ОСНОВА**

Канд. техн. наук К.В. Крячко, магістр Є.С. Недбай

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ ЮЖНОЙ  
СИСТЕМЫ ДВУСТОРОННЕЙ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ ОСНОВА**

Канд. техн. наук К.В. Крячко, магистр Е.С. Недбай

**IMPROVING THE DESIGN AND TECHNOLOGY OF OPERATION OF THE SOUTHERN  
SYSTEM OF BILATERAL SORTING STATION OSNOVA**

Cand. of techn. sciences K.V. Kryachko, master Y.S. Nedbai

*Зміни в економіці, що відбулись останнім часом, призвели до суттєвого зменшення обсягів перевезень залізничним транспортом. З іншого боку, має місце значний знос основних фондів залізничного транспорту, які в наш час використовуються лише на половину своїх потужностей.*

*У роботі проведено дослідження завантаженості основних пристроїв сортувальної станції при фактичних обсягах роботи. Запропоновано заходи з удосконалення конструкції та технології роботи Південної сортувальної системи станції при приведенні потужності основних пристроїв у відповідність з сучасними обсягами переробки. Розглянуто можливість тимчасового консервування окремих колій у парку приймання, сортувальному та парку відправлення.*

**Ключові слова:** сортувальна система, консервація, основні фонди, колійний розвиток, експлуатаційні витрати, парк приймання, сортувальний парк, парк відправлення.

*Изменения в экономике, которые произошли в последнее время, привели к значительному уменьшению объемов перевозок железнодорожным транспортом. С другой стороны, имеет место значительный износ основных фондов железнодорожного транспорта, которые в настоящее время используются лишь на половину своих мощностей.*

*В работе проведено исследование загруженности основных устройств сортировочной станции при фактических объемах работы. Предложены мероприятия по усовершенствованию конструкции и технологии работы Южной сортировочной системы станции при приведении мощности основных устройств в соответствие с реальными объемами переработки. Рассмотрена возможность временного консервирования отдельных путей в парке приема, сортировочном и парке отправления.*

**Ключевые слова:** сортировочная система, консервация, основные фонды, путевое развитие, эксплуатационные расходы, парк приема, сортировочный парк, парк отправления.

*Changes in economy which have occurred recently, have led to considerable reduction of volumes of transportations by rail transport. Considerable depreciation of basic funds of a rail transport which are used now only on half of capacities on the other hand takes place.*

*Research of congestion of the basic devices of a marshaling yard is conducted in work at actual volumes of work. Events for improvement of a design and technology of work of Southern sorting system of station are offered at reduction of capacity of the basic devices in conformity with real volumes of processing. Possibility of time conservation of separate ways in acceptance park, sorting and a departure yard is considered.*



*The necessary quantity of ways in corresponding parks of system is specified. Calculation of the maintenance of the basic devices in parks of system before carrying out of preservation and after it is carried out. It is specified that after carrying out of the planned events the economy of expenses on the maintenance of system at a rate of 26 million UAN will be received. The received means can be directed on renovation and modernization of basic funds of a rail transport.*

**Keywords:** *sorting system, preservation, basic funds, travelling development, working expenses, acceptance park, a rail classifying yard, a departure yard.*

**Вступ.** Державним підприємством «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» був розроблений [1] прогноз розвитку економіки України до 2030 р., у якому було визначено три періоди: період структурної перебудови до 2010 р.; період випереджального розвитку традиційних галузей сфери послуг в економіці України до 2020 р. та період завершення переходу до постіндустріального суспільства з характерною зміною структури економіки – до 2030 р. За результатами прогнозних розрахунків, зростання обсягів перевезень очікувалось на 21 % до 2010 р.; на 40 % - до 2015 р. і на 57 % - до 2020 р.

Але вже на той час спрацювання основних фондів залізничного транспорту України складає понад 80 %, а знос його активної частини (рухомий склад) наближається до 90 % [2]. Звичайно, це різко скоротило можливість впровадження результатів прогнозних розрахунків, крім того, негативний вплив на роботу транспорту мала розруха інфраструктури внаслідок воєнних дій на Сході країни.

**Актуальність проблеми.** У таких умовах різке зменшення розмірів перевезень вплинуло на виконання планових кількісних і якісних показників вирішальної сортувальної станції Південної залізниці – Основи, пристрої і споруди якої були розраховані та побудовані на обсяги роботи, що в 4-5 разів перевищували теперішні.

У зв'язку з цим значно скоротився ступінь використання цих пристроїв, виникла необхідність скорочення експлуатаційного штату станції, що призвело до збільшення тривалості виконання основних технологічних операцій, завищення простою рухомого складу і, як результат, погіршення економічних показників роботи станції.

Актуальною стала проблема обґрунтування скорочення основних фондів за рахунок раціонального консервування та

демонтажу окремих пристроїв сортувальної станції.

**Основна частина.** Позакласна сортувальна станція Основа має дві сортувальні системи, які на даний час переробляють 1894 ваг/доба (у Південній системі – 819, у Північній - 1075), хоча до виникнення воєнних подій на Донбасі Південна сортувальна система завжди виконувала більший обсяг роботи (понад 60 % загального обсягу), тому сортувальна гірка була великої потужності і відповідно була обладнана новими засобами механізації та автоматизації.

При розробленні заходів з удосконалення конструкції та технології роботи Південної сортувальної системи станції виникли питання приведення потужності основних пристроїв даної системи до сучасних обсягів переробки.

Спочатку розглядається можливість консервування певної кількості колій у парках приймання, сортувальному та відправному, яка залежить не тільки від обсягів переробки, а також від тривалості виконання основних технологічних операцій.

Так, у парку приймання при нормативній тривалості обслуговування составів і середній кількості надходження поїздів з переробкою до 20 за добу необхідно мати не більше трьох колій з урахуванням ходової для заїзду гіркових локомотивів. На жаль, на сьогодні тривалість обслуговування составів з переробкою перевищує норму і складає 2,22 год (за звітними даними 2014 р.), що вимагає утримання п'ять колій приймання, але і при цьому можна виділити для консервування три колії довжиною 3390 м.

Одночасно скорочуються експлуатаційні витрати на утримання земляного полотна в обсязі 3,4 тис. м; витрати на утримання трьох гіркових світлофорів, трьох маневрових світлофорів і чотирьох звичайних стрілочних переводів з маркою хрестовини 1/9.

Слід зазначити, що збільшення простою составів у парку приймання було викликано

скороченням кількості бригад пункту технічного огляду вдвічі, а також зменшенням груп оглядачів вагонів. Крім того, збільшилась кількість несправностей рухомого складу, які повинні усуватися в процесі проведення дрібного безвідчіпного ремонту (особливо трудомісткими стали операції з усунення пошкоджень гальмової системи, які вимагають оглядачів пролазити під вагонами, а також з заміни гальмових колодок).

При середній кількості 60 вагонів у складі составів і середньому надходженні близько 20 поїздів з переробкою за добу, очевидно, що потужність гірки повинна бути зменшена за рахунок скорочення кількості сортувальних колій і вагонних уповільнювачів.

За роботою [3, табл. 6.2], при надходженні до переробки не більше 24 поїздів рекомендується мати 10 сортувальних колій для накопичення поїздів за призначеннями плану формування та чотири – для місцевих потреб.

Таким чином, із 27 сортувальних колій для консервування можна виділити вісім колій другого пучка і три колії четвертого пучка (колії першого пучка не можуть бути законсервовані, оскільки частина з них використовується для обслуговування вагонного господарства і, крім того, з колій цього пучка передбачено вихід в обхід сортувальної гірки).

Щорічні експлуатаційні витрати на обслуговування 11 колій загальною довжиною 10750 м складають 10578 тис. грн, а після консервування – 2115,6 тис. грн. При цьому скорочуються експлуатаційні витрати на утримання земляного полотна в об'ємі 8,6 тис. м<sup>3</sup>; витрати на утримання 11 маневрових світлофорів; 11 комплектів одиночних симетричних стрілочних переводів з маркою хрестовини 1/6; 18 комплектів звичайних стрілочних переводів з маркою хрестовини 1/9; 11 комплектів вагонних паркових уповільнювачів типу РНЗ-2; двох вишок регулювальників та 958 пог. м пневматичної мережі.

Деякий резерв сортувальних колій необхідно тримати, тому що постійно завищується простій порожніх критих рефрижераторних вагонів, а також не виконується норма тривалості накопичення

вагонів (12 год) на призначення: Суми (понад 16 год), Конотоп, Полтава, Куп'янськ та ін. (понад 14 год).

У парку відправлення при нормативній тривалості обслуговування составів і середній кількості відправлення до 36 поїздів за добу, за роботою [4, табл. 19], при резерві поїзних локомотивів 5 % необхідно мати п'ять колій, а з урахуванням ходової - шість. Зважаючи на те, що тривалість обслуговування составів у парку відправлення значно перевищує розрахункову норму і складає 3,32 год (за звітними даними 2014 р.), то необхідно мати дві додаткові колії і навіть за цих умов можна виділити для консервування сім колій загальною довжиною 8660 м.

При цьому одночасно скорочуються експлуатаційні витрати на утримання земляного полотна в об'ємі 8,66 тис. м<sup>3</sup>; витрати на утримання семи вихідних і 19 маневрових світлофорів; 14 комплектів звичайних стрілочних переводів з маркою хрестовини 1/9; одного перехресного стрілочного переводу з маркою хрестовини 1/9 та 4240 пог. м пневматичної мережі для випробування автогальм.

Отже, при консервації окремих пристроїв Південної сортувальної системи станції Основа після приведення потужності окремих підсистем до розрахункової, що відповідає вагонопотоку, який проходить відповідні канали обслуговування, економія експлуатаційних витрат на їх утримання складе близько 26 млн грн (розрахунки наведені в таблиці).

**Висновки і перспективи дослідження у даному напрямку.** Зважаючи на те, що основні виробничі фонди залізничного напрямку складають понад 9 % вартості основних фондів усіх галузей економіки України, а на його розвиток виділяється менше 3 %, то в найближчій перспективі проектування нових і розвиток існуючих об'єктів залізничних станцій і вузлів не передбачається, тобто нагальними стають питання економічного використання пристроїв, що експлуатуються; при обґрунтуванні – їх скорочення (демонтаж) або консервування; удосконалення технології роботи з метою зменшення тривалості знаходження рухомого складу на станції.

## Експлуатація залізниць

Таблиця

Розрахунок експлуатаційних витрат

Пристрій	Кількість одиниць	Загальна вартість утримання пристроїв, тис. грн	
		До консервування	Після консервування
1	2	3	4
<b>1. Парк приймання</b>			
1.1. Колії приймання	3,39 км	3661,2	732,2
1.2. Земляне полотно	3390 м <sup>3</sup>	162,7	32,5
1.3. Передгіркові світлофори	3 шт.	3,6	0,7
1.4. Маневрові світлофори у вхідній горловині	3 шт.	2,7	0,5
1.5. Одиночні звичайні стрілочні переводи з маркою хрестовини 1/9	4 компл.	461,6	92,3
<b>2. Сортувальний парк</b>			
2.1. Сортувальні колії	10,75 км	10578,0	2115,6
2.2. Земляне полотно	8600 м <sup>3</sup>	412,8	82,6
2.3. Маневрові світлофори	11 шт.	9,9	2,0
2.4. Одиночні симетричні стрілочні переводи з маркою хрестовини 1/6	11 компл.	473,1	94,6
2.5. Одиночні звичайні стрілочні переводи з маркою хрестовини 1/9	18 компл.	2077,1	415,4
2.6. Вагонні паркові уповільнювачі типу РНЗ-2	11 компл.	2327,5	465,5
2.7. Вишки регулювальників	2 шт.	63,4	12,7
2.8. Мережа пневматична	958 пог. м	89,7	17,9
<b>3. Парк відправлення</b>			
3.1. Колії відправлення	8,66 км	9352,8	1870,6
3.2. Земляне полотно	8660 м <sup>3</sup>	415,7	83,1
3.3. Вихідні світлофори	7 шт.	6,7	1,3
3.4. Маневрові світлофори	19 шт.	17,1	3,4
3.5. Одиночні звичайні стрілочні переводи з маркою хрестовини 1/9	14 компл.	1615,5	323,1
3.6. Перехресні стрілочні переводи з маркою хрестовини 1/9	1 компл.	209,1	41,8
3.7. Мережа пневматична	7240 пог. м	396,9	79,4

Перспективою подальшого дослідження є обґрунтування часткового консервування Південної сортувальної системи, при якому допускається функціонування тільки парку приймання з відповідною зміною технології роботи станції. При цьому поїзди з переробкою після обслуговування в парку приймання

Південної системи переставляються на колії Зміївського парку для подальшого насуву і розформування. Транзитні поїзди без переробки приймаються на колії станційного парку, через вузловий колійний пост 6 км, або безпосередньо на колії транзитного парку.

### Список використаних джерел

1. Яновський, П.О. Загальні принципи стратегічного розвитку мережі залізниць України [Текст] / П.О. Яновський // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 9. – С. 11-13.

2. Программа реструктуризации железнодорожного транспорта Украины. Официальный веб-сайт Укрзалізнички [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.uz.gov.ua/ci/uz/ctech/competition.html](http://www.uz.gov.ua/ci/uz/ctech/competition.html). – Загл. с экрана.

3. ГБН В.2.3 – 37472062 - 1: 2012. Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування [Текст]. – К.: Міністерство інфраструктури України, 2012. – 112 с.

4. ДБН В.2.3 - 19 - 2008. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 98 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Є.С. Альошинський

---

Крячко Катерина Віталіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Недбай Євген Сергійович, магістр, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Kryachko Kateryna, candidate of technical sciences, associate professor at the department of railway stations and junctions, Ukrainian state University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Nedbai Yevhen, master, Ukrainian state University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Стаття прийнята 21.10.2015 р.

УДК 621.313.175.32

## **ВЕНТИЛЬНІ РЕАКТИВНІ ДВИГУНИ. СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Канд. техн. наук О.Є. Зінченко

## **ВЕНТИЛЬНЫЕ РЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Канд. техн. наук Е.Е. Зинченко

## **SWITCHED RELUCTANCE MOTORS. MODERN STATE AND PERSPECTIVE DIRECTIONS OF SCIENTIFIC RESEARCHES**

Cand. of techn. sciences E.E. Zinchenko

*Подано аналіз сучасного стану і перспективних напрямів досліджень при проектуванні вентильних реактивних двигунів. Проаналізовано переваги і недоліки вентильних реактивних двигунів порівняно з іншими типами електричних двигунів. Особливу увагу приділено таким напрямам досліджень: зниження пульсацій електромагнітного моменту і акустичного шуму; математичні моделі і адекватний опис процесів; регулювання вентильних реактивних двигунів; методики розрахунку.*

**Ключові слова:** електричні двигуни, вентильні реактивні двигуни, аналіз.

*Представлен анализ современного состояния и перспективных направлений исследований при проектировании вентильных реактивных двигателей. Проанализированы достоинства и недостатки вентильных реактивных двигателей по сравнению с другими типами электрических двигателей. Особое внимание уделено таким направлениям исследований: снижение пульсаций электромагнитного момента и акустического шума; математические модели и адекватное описание процессов; регулирование вентильных реактивных двигателей; методики расчета.*

**Ключевые слова:** электрические двигатели, вентильные реактивные двигатели, анализ.

*The analysis of the modern state and perspective directions of researches is presented at planning of switched reluctance motors. The paper presents a brief review of evolution of switched reluctance motors. Dignities and lacks of switched reluctance motors are analyses as compared to other types of electric motors. The special attention is spared to such directions of researches: decline of pulsations of electromagnetic moment and acoustic noise; mathematical models and adequate description of processes; adjusting of valve ramjets; methodologies of calculation. In the article the analysis of directions of researches is given on the decline of pulsations of moment and acoustic noise. Exactness of mathematical specification of parameters and descriptions of engine is determined by the degree of adequacy of mathematical model, fixed in his basis. Actuality of choice of control system and control algorithms is shown. The analysis of design calculation of geometrical sizes of the magnet core of the switched reluctance motors. The criteria of calculation are shown.*

**Keywords:** electric motors, switched reluctance motors, analysis.

**Вступ.** Постійне вдосконалення технології виробництва в різних галузях промисловості і автоматизація виробничих процесів обумовлюють постійне збільшення кількості регульованих приводів. До появи силових напівпровідникових приладів у регульованих приводах використовувалися двигуни постійного струму. Через низьку надійність щітково-колекторного вузла, високу вартість і велику масу двигуни постійного струму повною мірою не відповідали вимогам розробників регульованих приводів.

На початку 80-х років минулого століття в західних джерелах з'явилися публікації про новий тип електричного двигуна, у якому комутація фаз обмотки статора здійснюється за допомогою напівпровідникового комутатора. У західній класифікації цей тип двигуна отримав назву Switched Reluctance Motor (SRM), а привод на їх основі – Switched Reluctance Drive (SRD) [1]. В Україні він отримав акронім ВРД - вентильний реактивний двигун. Подальший розвиток цього типу привода показав перспективність досліджень у цій галузі.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Основні положення основи теорії ВРД, питання динаміки і побудови математичних моделей, питання регулювання розглянуто в роботах [1-4]. ВРД – новий тип електромеханічного перетворювача енергії, який динамічно розвивається, і кількість публікацій зростає в геометричній прогресії. Виникає потреба в аналізі й узагальненні інформації, виявленні тенденцій розвитку.

**Метою роботи** є аналіз сучасного стану і перспективних напрямів досліджень при проектуванні вентильних реактивних двигунів.

**Основна частина.** Строго кажучи, термін «новий» до цього типу

електромеханічного перетворювача може застосовуватися цілком умовно, оскільки перші розробки необхідно віднести до 30-х років ХХ століття і навіть на першу половину ХІХ століття. Але численні недоліки механічного комутатора, а потім малорозвиненість електроніки відклали дослідження на десятиліття.

До появи потужних силових напівпровідникових приладів регульовані електроприводи оснащувалися двигунами постійного струму, працюючими або автономно, або в системі генератор-двигун. Такі електроприводи були дорогими і недостатньо надійними через щітково-колекторні вузли машин постійного струму.

Останнє десятиліття ХХ століття ознаменувалося значними успіхами силової електроніки. Було освоєно промислове виробництво біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT) і польових транзисторів (MOSFET), силових модулів на їх основі, а також силових інтелектуальних модулів (ІРМ) з вбудованими засобами захисту ключів і інтерфейсами для безпосереднього підключення до мікропроцесорних систем керування.

Завдяки цьому альтернативою колекторним приводам постійного струму стали приводи з вентильними, тобто електронно-комутованими двигунами з постійними магнітами на роторі. Цей тип привода є найбільш перспективним для верстатобудування і робототехніки, проте й найдорожчим. Це призвело до того, що регульовані приводи стали створюватися на асинхронних двигунах (АД) з частотними перетворювачами. Нині постійно розширюється виробництво приводів на основі

ВРД. Двигуни цього типу прості у виготовленні, технологічні і дешеві. Вони мають пасивний феромагнітний ротор без яких-небудь обмоток або магнітів.

Проведений аналіз [1-12] показав ряд переваг ВРД:

1) ВРД має однаковий або більший, чим у АД, ККД електромеханічного перетворювача, особливо при низьких частотах обертання, більший, ніж у машин постійного струму, але менший, ніж у вентильних двигунів (ВД), хоча вартість ВРД у 2-3 рази менша;

2) ВРД добре керується зміною параметрів імпульсів напруги. При несуттєвому ускладненні комутатора можна досягти істотного зниження пульсації моменту;

3) ВРД менш чутливий до зміни параметрів, ніж асинхронний двигун, оскільки його ротор не має обмотки і схемних рішень, що унеможливають короткі замикання в ньому, він краще захищений від останніх, ніж будь-який інший двигун. ВРД зберігає працездатність навіть тоді, коли деякі його обмотки вийшли з ладу;

4) частоту обертання ВРД можна змінювати в широкому діапазоні. Верхня межа частоти обертання обумовлена характеристиками застосованих підшипників. Частота обертання ВРД може досягати 100 тис. об/хв;

5) ВРД мають більший максимальний момент, ніж АД, але менший, ніж ВД;

6) при рівній потужності в серійному виробництві ВРД з комутаторами дешевше, ніж ВД з комутаторами і АД з частотними перетворювачами.

Проте разом з вказаними перевагами ВРД має і істотні недоліки: пульсації електромагнітного моменту і підвищений акустичний шум [14].

Дослідженнями [1, 15, 16] встановлено, що акустичний шум обумовлений пульсаціями електромагнітного моменту ВРД. Істотного зниження пульсацій електромагнітного моменту можна досягти формуванням спеціальної форми фазних струмів. Зміною форми заднього фронту хвилі струму [17] значно можуть бути знижені шум і пульсації моменту. Певне зниження пульсацій електромагнітного моменту досягається [15] компенсацією вищих гармонік потоку. Також можливе зниження шуму і пульсацій моменту за рахунок конструктивних заходів. Проте,

незважаючи на великий об'єм досліджень, присвячених цій проблемі, питання остаточно не вирішено і потрібен пошук нових шляхів для його вирішення.

Проектування ВРД неможливе без глибокого розуміння суті електромагнітних і електромеханічних процесів і їх аналітичного опису. У цьому плані вкрай важливим є урахування чинників, раніше неохоплених математичною моделлю, і відповідний її розвиток і уточнення. Тільки на базі фундаментальних досліджень фізичних процесів у ВРД можуть бути визначені принципи і напрями підвищення їх енергетичних характеристик. Більш того, особливості електромагнітних і електромеханічних процесів у них залежать від схеми застосованого комутатора, від того, до якого джерела живлення, постійного або змінного струму, підключається комутатор ВРД.

Точність математичного опису параметрів і характеристик ВРД цілком визначається мірою адекватності математичної моделі, покладеної в його основу, реальним фізичним процесам, що протікають у двигунах. Нині розроблені математичні моделі дозволяють описувати практично всі електромагнітні і електромеханічні процеси в електричних машинах [2, 3, 4, 17-21]. Проте точність визначення параметрів, характеристик і показників не завжди буває задовільною. Потрібне вдосконалення математичних моделей на базі результатів нових досліджень у галузі теорії електромагнітних і електромеханічних процесів, що забезпечує їх усебічний, повний і адекватний опис.

Комутатори ВРД будуються за схемами, які добре описані [1, 4]. Вибір схеми залежить від умов роботи і вимог технічного завдання. Завдання, пов'язані з керуванням ВРД, дають широке поле діяльності для досліджень. ВРД характеризуються нелінійністю робочих характеристик магнітної системи, зміною форми імпульсів струмів у фазах залежно від керуючих дій. Тому традиційні алгоритми керування регульованим електроприводом виявляються не пристосованими для ВРД. До теперішнього часу завдання вибору структури системи управління і застосовуваних алгоритмів для конкретного використання залишається актуальним, незважаючи на спостережувану тенденцію до їх уніфікації.

Що стосується визначення геометричних розмірів сердечників статора і ротора, то з цього питання існує декілька підходів [1, 2, 3, 21-25], відповідно до яких виходять різні рішення і не завжди однозначні.

Початковим етапом проектування двигуна є вибір об'єму ротора. Для його визначення [25] рекомендуються два підходи. Перший підхід – визначення об'єму за допомогою сталої машини. Але метод визначення головних розмірів за допомогою сталої машини має істотні недоліки. Стала машина не є постійною для машин у широкому діапазоні потужностей і швидкостей обертання, оскільки максимальне значення магнітної індукції в повітряному проміжку і лінійне електричне навантаження змінюються зі зміною розмірів машин.

Другий підхід – визначення головних розмірів за довідковими даними, отриманими при проектуванні серійних і дослідних ВРД для різних галузей застосування [1], є більше диференційованим. Як базову величину прийнято питомий момент, що припадає на  $1 \text{ м}^3$  об'єму ротора. При цьому діапазони питомого моменту досить широкі ( $1,96 - 196 \text{ кНм/м}^3$ ) і при проектуванні конкретного двигуна однозначна відповідь у частині величини питомого моменту не може бути отримана.

Для двигунів з ємнісними накопичувачами енергії [4] наведено формули для розрахунку діаметра ротора виходячи з лінійного навантаження і вказується досить широкий діапазон співвідношення між діаметром ротора і його довжиною. Але для двигунів різної потужності різне лінійне навантаження, а її величина залежно від потужності заздалегідь для ВРД не визначена.

У методиці [2] в основу покладено визначення максимального моменту при заданих геометричних розмірах і заданій щільності струму в обмотці. При цьому слід визначити, якими ж мають бути поперечні геометричні розміри при заданому зовнішньому діаметрі статора, щоб був максимальним момент.

У роботах [22, 24] визначення геометричних розмірів магнітопроводу запропоновано брати з умови досягнення максимальної енергії магнітного поля в повітряному проміжку або з умови отримання максимального магнітного потоку, що припадає на одиницю струму. Остаточний вибір рекомендується визначити за результатами електромагнітного розрахунку.

Таким чином, напрями дослідження, пов'язані з удосконаленням методик розрахунку геометричних розмірів статора і ротора, як і раніше, є актуальними.

Струми у фазах статора ВРД мають різко несинусоїдний вигляд. Це обумовлює знижену сумісність з мережею через високий вміст вищих гармонік. При проектуванні ВРД цим питанням необхідно приділяти більше уваги.

Вдосконалення конструкції, окремих деталей і вузлів актуально для будь-якого типу двигуна, і ВРД не є тут виключенням. Розробники активно займаються цими питаннями і, поза сумнівом, займатимуться цим надалі.

**Висновок.** Нині немає однозначних підходів до проектування ВРД, незважаючи на спостережувану тенденцію до їх уніфікації. Усе це залишає широке поле діяльності для наукових досліджень.

### Список використаних джерел

1. Miller, T.J.E. Switched reluctance motors and their control [Text] / T.J.E. Miller // Magna Physics Publishing and Clarendon Press. Oxford, 1993.
2. Голландцев, Ю.А. Вентильные индукторно-реактивные двигатели [Текст] / Ю.А. Голландцев. – С.Пб.: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 148 с.
3. Кузнецов, В.А. Вентильно-индукторные двигатели [Текст] / В.А. Кузнецов, В.А. Кузьмичев. – М.: МЭИ, 2003. – 70 с.
4. Ткачук, В.І. Електромеханотроніка [Текст]: підручник / В.І. Ткачук. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2006. – 440 с.
5. Broek, H. van der. Switched reluctance drive and PWM induction motor drive compared for low cost applications [Text] / H. van der Broek, D. Gerling, E. Bolte // EPE'93, 6:71 76, September 1993.
6. Goransson, G. A cost optimised direct drive for low-speed industrial applications [Text] / G. Goransson, L. Sjoberg, J. Reinert // EPE'2001, CD-ROM, August 2001.

7. Harris, M.R. A review of the integral-horsepower switched reluctance drive [Text] / M.R. Harris, J.W. Finch, J.A. Mallick, T.J.E. Miller // IEEE Trans. on Industry Applications, IA-22(4):716-721, July/August 1986.
8. Kline, J.A. Opportunities for switched reluctance motor-drives [Text] // Pulp and Paper Industry Technical Conference, 1999, 42-47, June 1999.
9. Lawrenson, P.J. A brief status review of switched reluctance drives [Text] / P.J. Lawrenson // EPE Journal. 2(3):133-138, October 1992.
10. Miller, T.J.E. Optimal design of switched reluctance motors [Text] / T.J.E. Miller // IEEE Trans. on Industrial Electronics, 49(1):15-27, February 2002.
11. Calverley, S.D. Design of a high speed switched reluctance machine for automotive turbo-generator applications [Text] / S.D. Calverley, G.W. Jewell, R.J. Saunders // SAE Transactions, 108(2):3246-3255, 2000.
12. Hendershot, J.R. AC, brushless and switched reluctance motors comparisons [Text] / J.R. Hendershot // Motion Control, 1 – 12, April 1991.
13. Бычков, М.Г. Экспериментальные исследования шума и вибраций в вентильно-индукторном электроприводе [Текст] / М.Г. Бычков, А.В. Кисельникова, В.А. Семенчук // Электричество. – 1997. – №12. – С.41-46.
14. Красовский, А.Б. Физические особенности алгоритма компенсации пульсаций момента в вентильно-индукторном электроприводе [Текст] / А.Б. Красовский // Тезисы II Междунар. конф. “Состояние разработки и перспективы применения вентильно-индукторных приводов в промышленности и на транспорте”. – М.: Интерэлектро, 2001. – С. 40-45.
15. Красовский, А.Б. Исследование пульсаций момента в вентильно-индукторном электроприводе [Текст] / А.Б. Красовский, М.Г. Бычков // Электричество. – 2001. – №10. – С. 30-33.
16. Голландцев, Ю.А. Пульсации пускового момента вентильного индукторно-реактивного двигателя [Текст] / Ю.А. Голландцев // Электричество. – 2003. – № 6. – С.21-24.
17. Ильинский, Н.Ф. Вентильно-индукторный привод для легких электрических транспортных средств [Текст] / Н.Ф. Ильинский, М.Г. Бычков // Электротехника. – 2000. – №2. – С. 28-31.
18. Kosaka T. Denki gakkai ronbunshi. D. Sangyo oyo bumonshi [Text] / T. Kosaka, N. Matsui, Y. Taniguchi, H. Do-meki // Trans. Inst. Elec. Eng. Jap. D. – 1998. – 118, №2. – P. 150-157.
19. Рымша, В.В. Математическое моделирование линейных вентильно-реактивных двигателей [Текст] / В.В. Рымша // Электротехника і електромеханіка. – 2003. – №4. – С. 72-76.
20. Krishnan, R. Switched Reluctance Motor Drives. Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications [Text] / R. Krishnan – CRC Press, 2001. – 398 p.
21. Зинченко, Е.Е. Математическая модель вентильного индукторно-реактивного двигателя, питающегося от выпрямителя [Текст] / Е.Е. Зинченко // Технічна електродинаміка. – 2009. – №4. – С. 23-28.
22. Зинченко, Е.Е. Раскрой листов магнитопровода вентильных индукторно-реактивных двигателей [Текст] / Е.Е. Зинченко, В.Б. Финкельштейн // Электротехніка і електромеханіка. – 2008. – № 5. – С. 16-19.
23. Ferrero, A. An Indirect Test Method for the Characterization of Variable Reluctance Motors [Text] / A. Ferrero // IEEE, Transactions on Instrumentation and Measurement. – 1993. – Vol. 42, № 6. – P. 1020-1025.
24. Зинченко, Е.Е. Методика расчета вентильного индукторно-реактивного двигателя [Текст] / Е.Е. Зинченко, В.Б. Финкельштейн // Электротехніка і електромеханіка. – 2009. – № 4. – С. 24-29.
25. Кузнецов, В.А. Особенности расчета индукторных двигателей для вентильного электропривода [Текст] / В.А. Кузнецов, Л.А. Садовский, В.Л. Виноградов [и др.] // Электротехника. – 1998. – №6. – С. 35-43.

Рецензент д-р техн. наук, профессор М.М. Бабаев

Зінченко Олена Євгенівна, канд. техн. наук, доцент кафедри електротехніки та електричних машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-96.

Elena Zinchenko, candidate of engineering, docent department of electrical engineering and electrical machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-96.

Стаття прийнята 30.10.2015 р.



УДК 656.25:621.318

**ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ СТРЕЛОЧНОГО ПРИВОДА**

Ассист. Ю.И. Богатырь

**ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИКОНАВЧИМ ПРИСТРОЄМ СТРЕЛОЧНОГО ПРИВОДА**

Асист. Ю.І. Богатир

**CHECKIN THE ADEQUANCY OF THE SIMULATION MODEL OF CLOSET-LOOP CONTROL ACTUATORS SWICH GEAR**

Assistant Y.I. Bogatir

*Був проведений аналіз впливу факторів на результуючий показник роботи безконтактного керованого двигуна стрілочного привода з замкнутою системою керування за допомогою методів математичної статистики. У результаті було встановлено, що дійсно існує лінійний зв'язок між зміною навантаження на валу та електромагнітним моментом двигуна, що свідчить про адекватність розробленої імітаційної моделі замкнутої системи керування виконавчим пристроєм стрілочного привода, тобто можна використовувати результати моделювання в подальших дослідженнях.*

**Ключові слова:** стрілочний електропривод, перевірка адекватності імітаційної моделі, регресійний аналіз, критерій Фішера, критерій Стьюдента.

*Проведен анализ влияния факторов на результирующий показатель работы бесконтактного управляемого двигателя стрелочного привода с замкнутой системой управления с помощью методов математической статистики. В результате было установлено, что действительно существует линейная связь между изменением нагрузки на валу и электромагнитным моментом двигателя, что свидетельствует об адекватности разработанной имитационной модели замкнутой системы управления исполнительным устройством стрелочного электропривода, то есть можно использовать результаты моделирования в дальнейших исследованиях.*

**Ключевые слова:** стрелочный электропривод, проверка адекватности имитационной модели, регрессионный анализ, критерий Фишера, критерий Стьюдента.

*Verification of adequacy of simulation model of close system of management is executed the noncontact guided engine of switchgear being base on the data got at a design analysed influence of change of loading on the billow of the noncontact guided engine on his electromagnetic moment with the use of methods of mathematical statistics. A cross-correlation analysis was applied for determination of closeness of connection between two variables. For the unambiguous estimation of the adequacy worked out to the model, took advantage of criterion of Fisher that reflects as far as well this model explains general dispersion of dependency variable. By means of t- criterion of Student estimated static meaningfulness of parameters of regression and correlation, for what defined the standard errors of parameters of linear regression and coefficient of correlation. Equalization of regression confesses meaningful because actual value F- criterion considerably anymore tabular, consequently, explained dispersion considerably anymore, what unexplained. After the conducted analysis of simulation model of close system of management existence of linear dependence is mathematically well-proven between the change of loading on a billow and electromagnetic moment of the noncontact guided engine at the use of close system of management in a switchgear. It talks that a model is adequate, id est design results can serve for further researches.*

**Keywords:** electric point machine, checking the adequacy of the simulation model, regression analysis, Fischer's criterion, Student's criterion.

**Введение.** Эффективность и конкурентоспособность железных дорог в значительной степени зависит от скорости и интенсивности движения поездов. Важным звеном в обеспечении безопасности функционирования железной дороги являются устройства автоматики, в частности стрелочные электроприводы (СП). В процессе эксплуатации СП возникают различные повреждения, приводящие к аварийным ситуациям [1]. Одной из функций автоматизированной системы управления СП является регулирование величин, характеризующих его движение [2]. В таком приводе электродвигатель должен обладать большим пусковым моментом, быть реверсивным, экономичным, обеспечивая минимальный расход кабеля на стрелку, герметичным и максимально простым в обслуживании [3]. В настоящее время в СП применяются двигатели с последовательным возбуждением, асинхронный двигатель, а также широко внедряется бесконтактный управляемый двигатель (ДБУ), для управления которыми применяется разомкнутая система управления. Ее недостатком является то, что процесс работы системы не зависит непосредственно от результата ее воздействий на управляемый объект. Для регулирования работы исполнительного устройства электропривода целесообразно применять замкнутую систему управления ЭП [2]. Такая система является более сложной, но в то же

время и более совершенной, чем разомкнутая. Сигнал управления формируется из сигнала задания и сигнала отрицательной обратной связи, несущего информацию о фактическом значении регулируемого параметра, которое зависит от возмущений, действующих на узлы системы и рабочий орган электропривода. В результате введения обратной связи ошибка регулирования уменьшается до допустимого значения. При этом ни одно из возмущений не измеряется, а их влияние на регулируемый параметр воспринимается системой по каналу обратной связи.

**Анализ исследований.** С целью устранения недостатков, присущих применяемым электроприводам с разомкнутой системой управления исполнительным устройством [2, 4], была разработана замкнутая система управления исполнительным устройством ЭП [5], в которой применяется два контура управления: внутренний цикл синхронизирует импульсы коммутатора с электродвижущей силой, внешний цикл регулирует скорость двигателя, изменяя напряжение на управляемом источнике напряжения. Для исследования характеристик двигателя стрелочного привода с такой системой управления разработана имитационная модель (рисунок) в среде Simulink системы Matlab R2012a [2]. С помощью этой модели был проведен анализ характеристик работы двигателя в различных условиях.

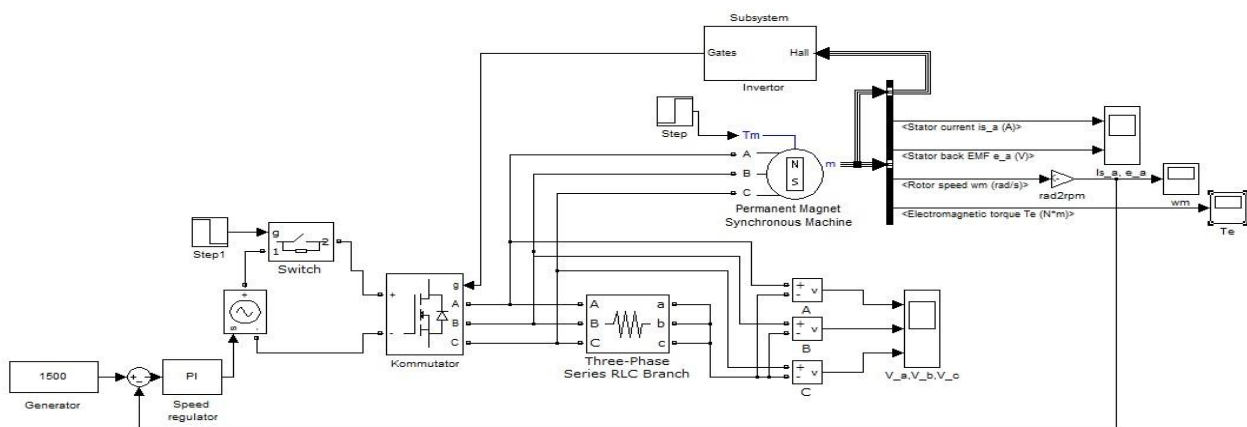


Рис. Имитационная модель управления электродвигателем стрелочного привода

**Целью** данной работы является проверка адекватности построенной имитационной модели, то есть определение наличия

логической связи между изменяющимися параметрами бесконтактного управляемого двигателя в процессе эксплуатирования

стрелочного привода с замкнутой системой управления.

**Основной материал.** Наиболее распространенным способом обоснования адекватности модели является использование методов математической статистики. Метод регрессионного анализа обеспечивает такую подборку выбранной кривой, при которой экспериментальные точки ложатся на нее лучшим образом в смысле критерия наименьших квадратов [6]. Под приближением кривой к экспериментальным данным необходимо понимать процесс вычисления значений параметров таким образом, чтобы сумма квадратичных отклонений была минимальной.

Уравнение линейной регрессии имеет вид [7]

$$y = \vartheta_0 + \vartheta_1 x + u,$$

где  $y$  – случайная величина, распределение которой зависит от некоторой независимой  $x$ ,  $y = \{y_1, y_2 \dots y_n\}$ ;

$x$  – вектор наблюдений за независимой переменной,  $x = \{x_1, x_2 \dots x_n\}$ ;

$\vartheta_0, \vartheta_1$  – неизвестные параметры регрессионной модели;

$u$  – случайные отклонения модели,  $u = \{u_1, u_2 \dots u_n\}$ .

Прямую регрессии без учета случайных отклонений представим следующим уравнением:

$$y = \vartheta_0 + \vartheta_1 x.$$

Неизвестные параметры регрессии определяются по ниже приведенным формулам [5]:

$$\vartheta_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2};$$

$$\vartheta_1 = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}.$$

Основываясь на данные, полученные при моделировании (табл. 1), проанализировали влияние изменения нагрузки на валу бесконтактного управляемого двигателя (фактор  $x$ ) на его электромагнитный момент (фактор  $y$ ), исходя из 11 выбранных наблюдений. Рассчитали линейный коэффициент парной корреляции, коэффициент детерминации и среднюю ошибку аппроксимации и оценили статистическую значимость уравнения регрессии в целом и отдельных параметров регрессии и корреляции с помощью F-критерия Фишера и t-критерия Стьюдента.

Таблица 1

Электромагнитный момент двигателя при изменении нагрузки на валу двигателя

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Нагрузка на вал двигателя, Н	0.5	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5
Электромагнитный момент, Н·м	0.6406	0.9559	1.246	1.557	1.835	2.21	2.439	2.785	3.06	3.347	3.732

Построим простую линейную регрессионную модель зависимости изменения электромагнитного момента двигателя постоянного тока вследствие изменения нагрузки на валу двигателя  $y = \vartheta_0 + \vartheta_1 x + u$  с целью выявления, насколько изменение нагрузки на валу влияет на электромагнитный момент [7].

Для расчета параметров уравнения линейной регрессии все расчетные значения сведены в расчетную таблицу (табл. 2).

После подстановки рассчитанных значений в формулы определения параметров регрессионного уравнения получены следующие значения:  $\vartheta_0 = 0.21$ ,  $\vartheta_1 = 0.96$ .

Таблица 2

Оценка параметров прямой регрессии

№	x	y	xy	x <sup>2</sup>	$\check{y}_i$	y- $\check{y}_i$	A <sub>i</sub>
1	0.5	0.6406	0.3203	0.25	0,69	-0,049	7,71
2	0.8	0.9559	0.7647	0.64	0,978	-0,022	2,31
3	1.1	1.246	1.3706	1.21	1,266	-0,02	1,6
4	1.4	1.557	2.1798	1.96	1,554	0,003	0,19
5	1.7	1.835	3.1195	2.89	1,842	-0,007	0,38
6	2.0	2.21	4.42	4	2,13	0,08	3,61
7	2.3	2.439	5.6097	5.29	2,418	0,021	0,86
8	2.6	2.785	7.241	6.76	2,706	0,079	2,83
9	2.9	3.06	8.874	8.41	2,994	0,066	2,15
10	3.2	3.347	10.7104	10.24	3,282	0,065	1,94
11	3.5	3.732	11.802	12.25	3,57	0,162	4,34
<i>Итого</i>	22	23,45	56.412	53.9	21,33	2,47	10,4

Полученное уравнение регрессии имеет вид

$$\check{y} = 0.21 + 0.96x.$$

Отклонение расчетных значений от фактических определяет ошибка аппроксимации:

$$A = \left| \frac{y - \check{y}}{y} \right| \cdot 100\%$$

Для определения плотности связи между двумя переменными применяется корреляционный анализ. Полученные в результате применения линейных методов корреляционного анализа выводы могут подтвердить или опровергнуть гипотезу о существовании линейной зависимости между

рядами [8]. Чем ближе вычисленная величина корреляционного отношения к 0, тем слабее сила линейной связи между рядами, чем ближе вычисленная величина к+1 или к-1, тем сильнее сила линейной связи.

Силу линейной корреляционной связи количественных признаков измеряет коэффициент корреляционного отношения Пирсона, который вычисляется по формуле [8]

$$r = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

где  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  – средние значения переменных.

Все расчетные значения сведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения для определения коэффициента корреляции

№	x	y	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.5	0.6406	-1.5	-1.49	2,23	2,25	2,22
2	0.8	0.9559	-1.2	-1,17	1,41	1,44	1,38
3	1.1	1.246	-0.9	-0,88	0,79	0,81	0,78
4	1.4	1.557	-0.6	-0,57	0,344	0,36	0,33
5	1.7	1.835	-0.3	-0,29	0,088	0,09	0,087
6	2.0	2.21	0	0,078	0	0	0,006

1	2	3	4	5	6	7	8
7	2.3	2.439	0.3	0,307	0,092	0,09	0,09
8	2.6	2.785	0.6	0,65	0,39	0,36	0,42
9	2.9	3.06	0.9	0,92	0,83	0,81	0,86
10	3.2	3.347	1.2	1,21	1,451	1,44	1,47
11	3.5	3.732	1.5	1,24	1,86	2,25	1,53
<i>Итого</i>	22	23,45	0	21,31	9,517	9,9	9,21

После подстановки рассчитанных параметров значение коэффициента корреляционного отношения равно  $r=0.99$ .

Величина вычисленного линейного коэффициента корреляции составила 0.99, что свидетельствует о том, что связь между изменяемыми параметрами двигателя весьма высока. Положительная величина коэффициента корреляции свидетельствует о прямой связи между изменением нагрузки на валу и электромагнитным моментом двигателя при использовании замкнутой системы управления исполнительным устройством стрелочного привода.

Одним из показателей качества модели является коэффициент детерминации  $R^2$ . При отсутствии связи коэффициент детерминации равен нулю, то есть модель считается неадекватной.

Коэффициент детерминации равен квадрату коэффициента корреляции:

$$R^2 = r^2;$$

В нашем случае коэффициент детерминации  $R^2=0.99^2=0.98$  показывает, что в исследуемой ситуации 98 % общей дисперсии издержек обращения объясняются изменениями нагрузки на валу двигателя, в то время как на все остальные неучтенные факторы приходится 2 % изменчивости издержек обращения.

Качество модели определяет средняя ошибка аппроксимации, допустимый предел значений  $\bar{A}$  не должен превышать 10 %:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum |A| = 0.94\%$$

Качество построенной модели хорошее, так как средняя ошибка аппроксимации не превышает 10 %.

Для однозначной оценки адекватности разработанной нами модели воспользуемся критерием Фишера. Для регрессионной модели он отражает, насколько хорошо эта модель объясняет общую дисперсию зависимой переменной [6]. Расчет критерия выполняется по следующей формуле:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{f_1}{f_2}$$

где  $f_1$  и  $f_2$  – числа степеней свободы.

Число степеней свободы объясненной дисперсии  $f_1$  равно количеству объясняющих переменных  $f_1 = 1$ . Число степеней свободы необъясненной дисперсии  $f_2 = 11 - 1 - 1 = 9$ .

Рассчитанное значение F-критерия составляет  $F=891$ .

По таблице критических значений F-распределения Фишера определим при указанных степенях свободы  $k = n - 2 = 9$  и уровне значимости  $p=0,05$  критическое значение F-критерия 5.12. Уравнение регрессии признается значимым, так как фактическое значение F-критерия ( $F=891$ ) значительно больше табличного ( $F = 5,12$ ). Видим, что расчетное больше табличного, следовательно, объясненная дисперсия значительно больше, чем необъясненная [5].

С помощью t-критерия Стьюдента оценим статическую значимости параметров регрессии и корреляции. Для этого необходимо определить стандартные ошибки параметров линейной регрессии и коэффициента корреляции и рассчитать фактические значения.

Стандартные ошибки параметров линейной регрессии и коэффициента корреляции:

$$M_{\vartheta_0} = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 2} \cdot \frac{\sum x^2}{n \sum (x - \bar{x})^2}} = 0.053$$

$$M_{\vartheta_1} = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2 / n - 2}{\sum (x - \bar{x})^2}} = 0.024$$

$$M_R = \sqrt{\frac{1 - R^2}{n - 2}} = 0.047$$

Фактические значения t-критериев:

$$t_{\vartheta_0} = \frac{\vartheta_0}{M_{\vartheta_0}} = 3.96$$

$$t_{\vartheta_1} = \frac{\vartheta_1}{M_{\vartheta_1}} = 40$$

$$t_R = \frac{R}{M_R} = 21.06$$

Табличное значение t-критерия для числа степеней свободы и уровня значимости  $p=0,05$  составляет  $t_{\text{табл}} = 2,26$ . Фактические значения превосходят табличное значение:

$$t_{\vartheta_0} = 3.96 > t_{\text{табл}} = 2,26,$$

$$t_{\vartheta_1} = 40 > t_{\text{табл}} = 2,26,$$

$$t_R = 21.06 < t_{\text{табл}} = 2,26,$$

Следовательно, параметры  $\vartheta_0, \vartheta_1$  и  $R$  статистически значимы. Это значит, что построенная имитационная модель адекватна, то есть существует линейная связь между

изменением нагрузки на валу и электромагнитным моментом в бесконтактном управляемом двигателе стрелочного привода.

**Вывод.** При анализе имитационной модели замкнутой системы управления исполнительным устройством стрелочным приводом математически доказано существование линейной зависимости между изменением нагрузки на валу и электромагнитным моментом ДБУ при использовании замкнутой системы управления в стрелочном приводе. Это говорит о том, что модель является адекватной, то есть результаты моделирования могут служить для дальнейших исследований.

#### Список использованных источников

1. Бабаев, М.М. Имитационное моделирование временных зависимостей параметров асинхронных двигателей стрелочных электроприводов [Текст] / М.М. Бабаев, В.С. Блиндюк, Ю.И. Богатырь // 36. наук. праць Укр. держ. ун-ту заліз. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015 – Вип. 154. – С. 120-126.
2. Бабаев, М.М. Управление стрелочным электроприводом с применением нейросетевого преобразователя управляемого сигнала [Текст] / М.М. Бабаев, В.С. Блиндюк, Ю.И. Богатырь // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – № 4. – С. 79-84.
3. Бабаев, М.М. Компьютерное моделирование двигателей стрелочных электроприводов [Текст] / М.М. Бабаев, Ю.И. Богатырь // 36. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 164-172.
4. Стрелочный электропривод [Текст]: пат. 2412845 Россия: МПК В61L 5/06 (2006.01) / Эпифанова Л.М., патентообладатель ЗАО Проектно-технологическая фирма «ЭЛМА-Ко». - № 2009111327/11; заявл. 27.09.2010; опубл. 27.02.2011, Бюл. № 6. – 5 с.
5. Стрелочный электропривод [Текст]: пат. 101436 Украина: МПК Н04К 3/00 Н03J 7/00, Бабаев М.М., Блиндюк В.С., Ананьева О. М., Богатир Ю.І.; власник Українська держвна академія залізничного транспорту. – № а201201334; заявл. 23.09.2011; опубл. 25.03.2012, Бюл. №6. – 5 с.

6. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука [Текст] / под ред. Е.К. Масловского. – М.: Издательство «Мир», 1978. – 212 с.

7. Ван дер Варден, Б.Л. Математическая статистика [Текст] / пер. с нем. Л.Н. Большева; под ред. Н.В. Смирнова. – М.: Издательство «Иностранная литература», 1960. – 435 с.

8. Гайдышев, И. Анализ и обработка данных [Текст]: специальный справочник / И. Гайдышев. – СПб.: Питер, 2001. – 752 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор М.М. Бабаев

---

Богатир Юлія Іванівна, асистент кафедри електротехніки та електричних машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)7301996.

Bohatyr Yuliia Ivanivna, assistant of the department " Electrical engineering and electrical machines " Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 02.11.2015 р.

**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

---

---

УДК 629.4.014

**МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ У ТЯГОВОМУ АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ НА ОСНОВІ ЙОГО МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ**

Асп. Я.В. Ващенко

**МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ТЯГОВОМ АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ НА ОСНОВАНИИ ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

Асп. Я.В. Ващенко

**THE METHOD OF IDENTIFYING FAULTS IN ASYNCHRONOUS ELECTRIC TRACTION DRIVE ON THE BASIS OF ITS MATHEMATICAL MODEL**

Postgraduate Y.V. Vashchenko

*Розглянуто концепцію побудови системи діагностування тягового асинхронного електропривода рухомого складу на основі його математичної моделі. На прикладі алгоритму фільтра Калмана розглянуто спосіб для визначення появи несправностей (пошкоджень) в асинхронному електродвигуні. Визначено критерії оцінки ефективності роботи запропонованого алгоритму діагностування.*

**Ключові слова:** асинхронний електропривод, аварійні режими, діагностика несправностей, методи на основі моделі системи, фільтр Калмана.

*Рассмотрена концепция построения системы диагностирования тягового асинхронного электропривода подвижного состава на основании его математической модели. На примере алгоритма фильтра Калмана рассмотрен способ для определения появления неисправностей (повреждений) в асинхронном двигателе. Определены критерии оценки эффективности работы предложенного алгоритма диагностирования.*

**Ключевые слова:** асинхронный электропривод, аварийные режимы, диагностика неисправностей, методы на основании модели системы, фильтр Калмана.

*Modern diagnostic system to perform the protection functions of electric rail vehicle equipment suggest the use of efficient computer algorithms. Its operation principle is usually based on a mathematical object model, which is diagnosed, in this case - traction induction motor.*

*In the paper is considered the concept of building a traction asynchronous electric rolling stock diagnostic system on the mathematical model-based approach. On the example of Kalman filter algorithm is discussed method for determining the occurrence of faults (damages) in the induction motor. The criteria for evaluating the performance of the proposed algorithm diagnosis are defined.*

*The proposed approach will determine the diagnostic parameters in real time to prevent the emergency modes of asynchronous traction electric drive.*

**Keywords:** asynchronous traction drive, emergency modes, fault diagnosis, model-based methods, Kalman filter.

**Вступ.** З урахуванням постійного удосконалення тягового асинхронного електропривода (ТАЕП) особливої актуальності набувають завдання з розроблення загальних методів дослідження аварійних станів,

принципів побудови та практичних рекомендацій зі створення ефективних систем захисту обладнання рухомого складу з асинхронними двигунами.



На сьогоднішній день існуючі засоби захисту ТАЕП у цілому дозволяють виконувати своєчасне обмеження критичних значень параметрів привода для попередження виникнення аварійних режимів [1]. У першу чергу це забезпечується використанням пристроїв, побудованих, як правило, на принципах реєстрації відхилень від контрольного (амплітудного) рівня.

Незважаючи на різноманіття видів пристроїв захисту, експлуатація потребує систем діагностування, які б упереджували виникнення передумов аварійних режимів. Перспективи розвитку таких систем вбачаються у програмних (математичних, розрахункових) алгоритмах і методах вирішення, оскільки вони дозволяють швидко змінювати необхідні налаштування, реалізовувати цифрові алгоритми спостереження і оцінки стану та ін. [2].

**Аналіз останніх публікацій.** На сьогодні час серед методів діагностування переважного поширення набули методи гармонічного (спектрального) аналізу. Здебільшого вони застосовуються при аналізі струму (MCSA) або вібродіагностиці стаціонарно працюючих асинхронних двигунів [3, 4].

У випадку, коли асинхронний двигун отримує живлення змінної частоти від перетворювача, такий аналіз є більш ускладненим, зважаючи на додаткові гармоніки, згенеровані інвертором, які частково збігаються (перекриваються) з гармоніками, викликаними несправностями [5]. Тому звичайні способи, засновані на спектральному аналізі, не зовсім добре адаптовані для частотно-регульованих електроприводів, і деякі автори пропонують методи на основі безперервної оцінки параметрів двигуна, що змінюються при появі відмови двигуна, - методи, засновані на моделі системи [6, 7].

Методи на основі моделі системи дозволяють порівнювати діагностичні параметри фізичного процесу та математичної моделі, що дозволяє на основі вимірювань у системі встановлювати її стан. Особлива увага в таких методах діагностики приділяється точності оцінки, отриманої різними підходами.

По-перше, це можуть бути: метод найменших квадратів, метод моделювання (нелінійним програмуванням в оф-лайн режимі) у звичайній формі або з урахуванням апріорної

інформації, метод максимальної правдоподібності.

Другою групою методів моделювання є генератори залишків: спостерігач Luenberger, рівняння парності, спостерігачі невідомих входів, узагальнені спостерігачі та ін.

Особливий випадок складають розширені спостерігачі стану, що можуть включати всі або частину параметрів вектора стану: розширений спостерігач Люенбергера ELO, розширений фільтр Калмана EKF, спостерігачі на основі еталонної моделі (MRAS) та ін., які базуються на нелінійній розширеній моделі досліджуваної системи.

Недосконалістю всіх методів є необхідність вибору компромісу між якісним представленням і часом обчислення, оскільки аналітичні моделі являють собою сукупність всіх пов'язаних фізичних явищ з урахуванням певних допущень.

Для здійснення безперервної («он-лайн») діагностики тягового асинхронного електропривода рухомого складу необхідна також адаптація зазначених методів до умов змінних швидкості та навантаження.

**Мета роботи.** Розроблення удосконаленого методу діагностики тягового асинхронного електропривода шляхом підходу «на основі математичної моделі системи».

**Результати досліджень.** Одним з ефективних методів є фільтр Калмана, який дозволяє здійснювати ідентифікацію (оцінку, діагностику) вектора стану параметрів досліджуваної системи при відомій структурі її динамічної моделі з використанням ряду неповних або зашумлених вимірювань.

Алгоритм «розширеного» фільтра Калмана дозволяє не тільки здійснювати оцінку параметрів у реальному часі, але і проводити визначення тих змінних стану об'єкта, що не можуть бути виміряні безпосередньо. Виконаний у даній роботі розширений фільтр Калмана призначений для неперервної оцінки значень струмів, потокочеплень, розрахунку частоти обертання ротора асинхронного тягового привода, активних опорів статора та ротора.

Алгоритм розрахунку розширеного фільтра Калмана включає в себе математичну динамічну модель одного з основних об'єктів привода – тягового асинхронного двигуна на основі відомих диференціальних рівнянь і допущень (рис. 1) [8]. Відомими вхідними

сигналами для фільтра Калмана є управляючий сигнал – напруга живлення  $U_S$  та вимірні струми статора  $I_S$  в двокоординатних проєкціях. Змінними стану є струми статора  $i_{ds}$ ,  $i_{qs}$  та потокозчеплення ротора  $\psi_{dr}$ ,  $\psi_{qr}$ .

Розширеним фільтр Калмана стає при включенні до змінних стану швидкості обертання ротора  $\omega_p$ , активних опорів статора  $R_s$  або ротора  $R_r$ , електромагнітного моменту  $M_e$ , постійної часу  $T_e$  тощо.

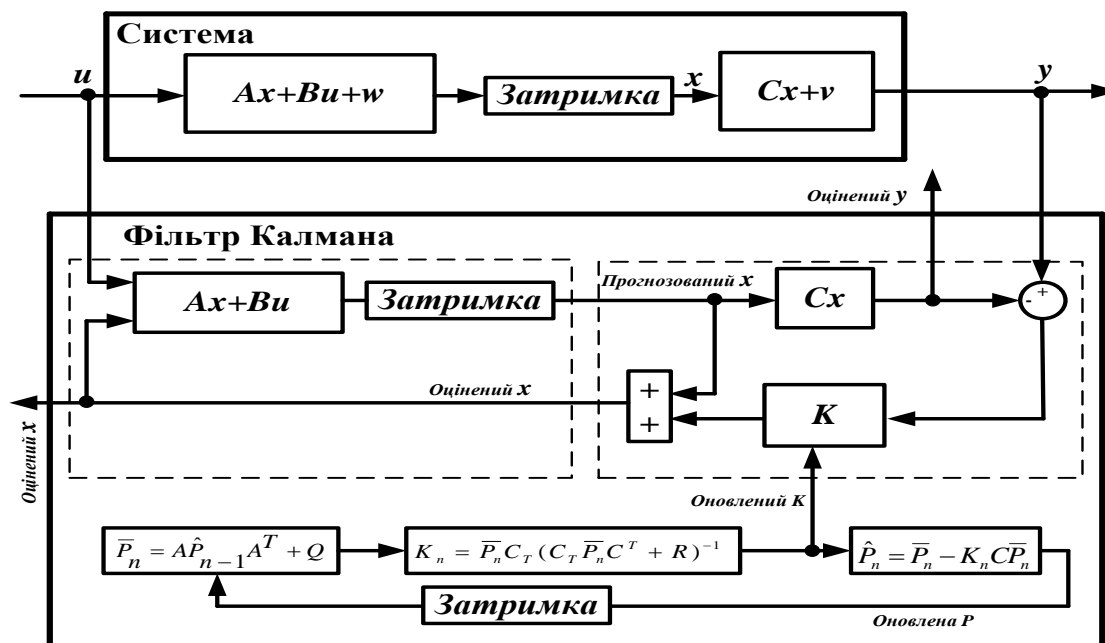


Рис. 1. Структура фільтра Калмана

Алгоритм полягає в розрахунку двох повторюваних циклів: прогнозування стану та коригування прогнозованого значення. Все це виконується з урахуванням можливостей появи неточностей і зашумленостей вимірювань. До випадкових шумів належать всі фактори, що викликають відхилення від нормального режиму функціонування тягового електропривода (інформація, що не передається вимірювальним датчикам, випадкові величини): наприклад, нагрів та охолодження обмоток, зміна стану магнітних кіл, частота при роботі широтно-імпульсної модуляції тощо.

Розширені рівняння моделі системи подаються як

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu + G(t)w(t) \quad \text{система} \\ y &= Cx + v(t) \quad \text{вимірювання} \end{aligned} \quad (1)$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – вхідні та вихідна матриці системи;  
 $G$  – вагова матриця шуму;

$x$  – вектор стану системи;  
 $u$  – вектор функції управління;  
 $w(t)$  – матриця шуму стану моделі;  
 $v(t)$  – матриця шуму виходу моделі (вимірювань).

Достовірність прийнятих рішень при побудові системи діагностування проілюстровано на прикладі процесу оцінки швидкості та струму, наведених на рис. 2.

Для діагностування несправностей обмоток статора і стержнів ротора фільтром Калмана необхідно відслідковувати деякий параметр схеми заміщення. Параметрами заміщення Т-подібної схеми заміщення ТАД є активні опори  $R_s$ ,  $R_r$ , індуктивності фаз обмоток статора  $L_s$  і ротора  $L_r$ , а також взаємна індуктивність  $L_m$ .

Наявність різних типів дефектів або пошкоджень вносить дисбаланс у двигуні [9]. Відомі результати показують, що якщо це пошкодження ротора, то збільшується його

опір, а інші параметри – опір статора і індуктивності розсіювання статора і ротора – зменшуються. Під час короткого замикання між

витками обмотки статора опір статора зростає, а інші параметри зменшуються.

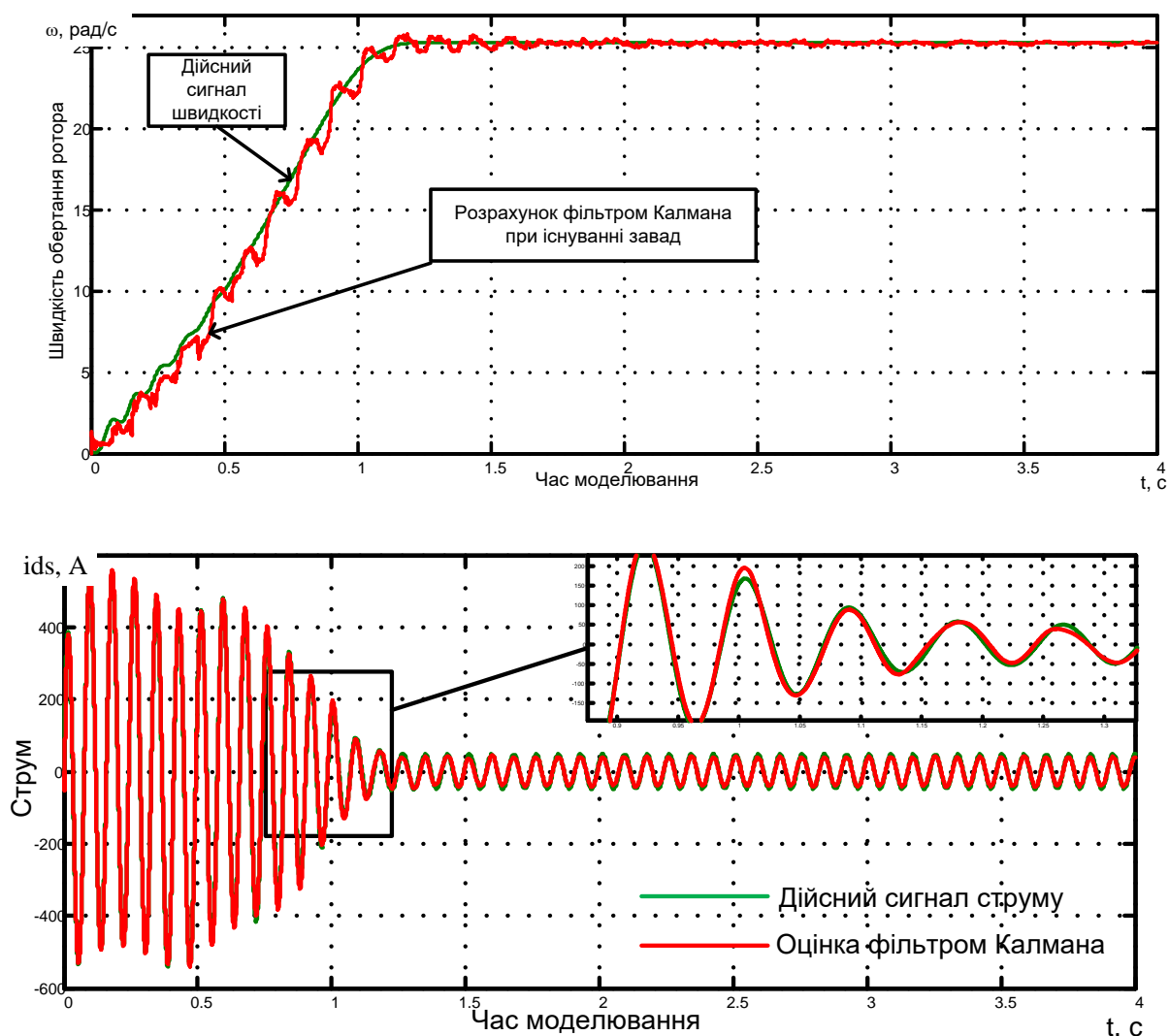


Рис. 2. Процес оцінки швидкості (а) і струму статора (б) розширеним фільтром Калмана

Для діагностування обриву стержнів ротора [10] на основі оцінки активного опору

$R_r$  модель змінних стану виглядатиме таким чином:

$$x(k) = [i_{s\alpha}(k) \ i_{s\beta}(k) \ \psi_{ra}(k) \ \psi_{rb}(k) \ R_r(k)]^T \quad (2)$$

Для виконання розрахунків розширеним фільтром Калмана необхідне отримання похідної по активному опору ротора для

системи рівнянь двигуна (динамічної моделі системи):

$$F(k) = \begin{bmatrix} 1 - T(\gamma_1 + \gamma_2 x_5) & 0 & T \frac{K_1}{L_r} x_5 & Tr K_1 \omega_p & T \left( \frac{K_1}{L_r} x_3 - \gamma_2 x_1 \right) \\ 0 & 1 - T(\gamma_1 + \gamma_2 x_5) & -Tr K_1 \omega_p & T \frac{K_1}{L_r} x_5 & T \left( \frac{K_1}{L_r} x_4 - \gamma_2 x_2 \right) \\ T \frac{L_m}{L_r} x_5 & 0 & 1 - \frac{T}{L_r} x_5 & Tr \omega_p & T \left( \frac{L_m}{L_r} x_1 - \frac{1}{L_r} x_3 \right) \\ 0 & T \frac{L_m}{L_r} x_5 & Tr \omega_p & 1 - \frac{T}{L_r} x_5 & T \left( \frac{L_m}{L_r} x_2 - \frac{1}{L_r} x_4 \right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

У даній роботі на прикладі оцінки опору ротора  $R_r$  виконано моделювання, що дозволяє оцінити його величину та приймати на основі цього рішення про злам стержнів білячої клітки

(рис. 3). Моделювання виконано в присутності шумових завад при вимірюванні на рівні  $\xi = \pm 10\%$ .

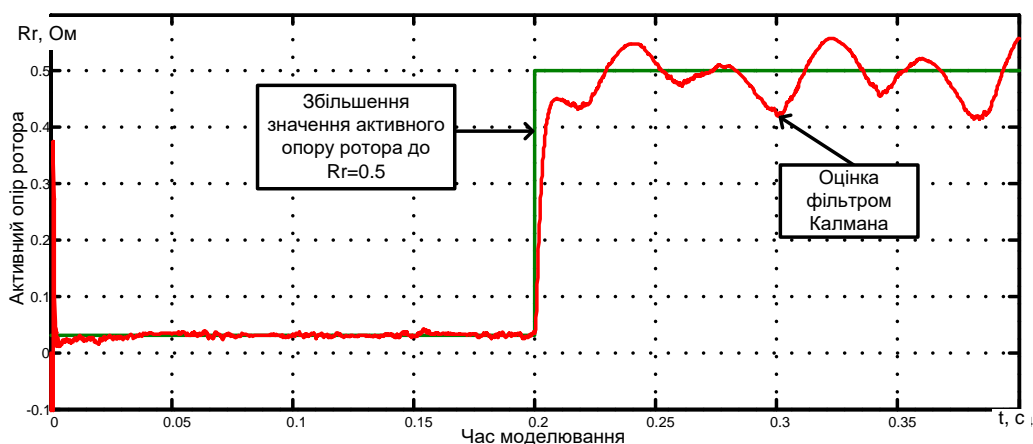


Рис. 3. Діагностування зламу стержнів ротора асинхронного двигуна розширеним фільтром Калмана

Наступним етапом проведення досліджень було виявлення коротких замикань (КЗ) в обмотках статора [11] асинхронного

двигуна розширеним фільтром Калмана. Новий розширений вектор стану визначається як

$$x(k) = [i_{s\alpha}(k) \ i_{s\beta}(k) \ \psi_{r\alpha}(k) \ \psi_{r\beta}(k) \ R_s(k)]^T. \quad (4)$$

Динамічна модель асинхронного двигуна при коротких замиканнях обмоток статора описується так:

$$F(k) = \begin{bmatrix} 1 - \frac{K_r \cdot T}{K_l} & 0 & \frac{L_m \cdot R_r \cdot T}{L_r^2 \cdot K_l} & \frac{p \cdot L_m \cdot x_5 \cdot T}{L_r \cdot K_l} & \frac{(L_r^2 + L_m^2 \cdot R_r) \cdot L_r \cdot L_s \cdot T}{L_r^2 \cdot L_s \cdot (L_r \cdot L_s - L_m^2)} \\ 0 & 1 - \frac{K_r \cdot T}{K_l} & \frac{-p \cdot L_m \cdot x_5 \cdot T}{L_r \cdot K_l} & \frac{L_m \cdot R_r \cdot T}{L_r^2 \cdot K_l} & \frac{(L_r^2 + L_m^2 \cdot R_r) \cdot L_r \cdot L_s \cdot T}{L_r^2 \cdot L_s \cdot (L_r \cdot L_s - L_m^2)} \\ \frac{L_m \cdot T}{T_r} & 0 & 1 - \frac{T}{T_r} & -p \cdot x_5 \cdot T & 0 \\ 0 & \frac{L_m \cdot T}{T_r} & p \cdot x_5 \cdot T & 1 - \frac{T}{T_r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

де  $T$  – інтервал вибірки (дискретність).

Як показано на рис. 4, за допомогою фільтра Калмана вдається знайти добре наближення оцінюваного сигналу до реального

опору статора  $R_s$ . Кількісна величина збільшення цього опору може свідчити про кількість (процент) пошкоджених коротким замиканням витків.

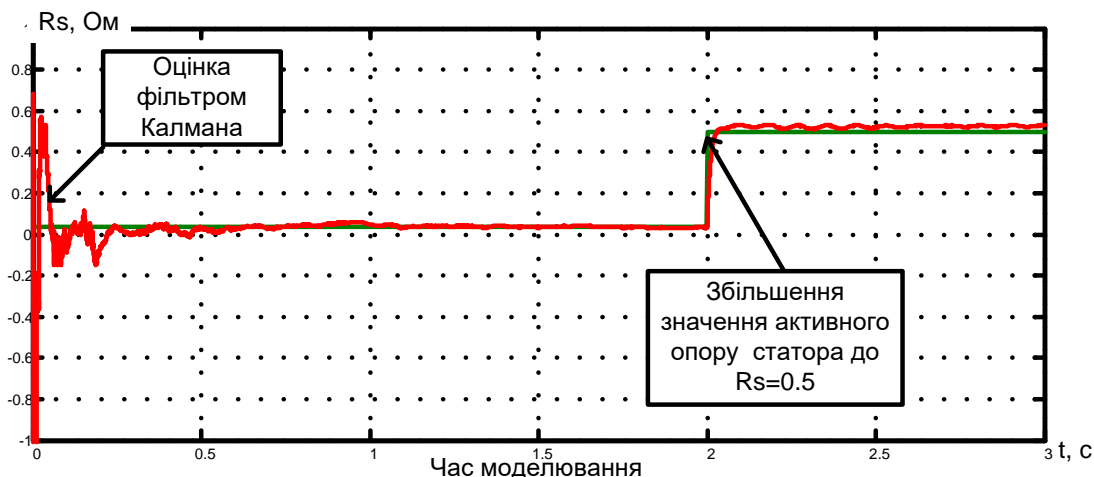


Рис. 4. Виявлення пошкодження витків обмотки статора ТАД за допомогою фільтра Калмана

Аналіз отриманих результатів показує, що фільтр Калмана дозволяє визначати параметри і змінні стану в реальному часі з допустимою для практичного використання похибкою і його можна використовувати для отримання інформації, необхідної для системи функціональної діагностики і захисту від аварійних режимів ТАД.

Оскільки на практиці практично неможливо виміряти ефективність роботи фільтра Калмана з урахуванням стану помилки вимірювань, оскільки не відомі істинні значення стану, постає завдання в розробленні методів перевірки правильності роботи фільтра. Пропонується визначення показників

ефективності фільтра за допомогою «інновацій» [12].

Інновація (нововведення)  $v_{k+1}$  визначається як різниця між спостереженням (вимірюванням) величини і її передбаченим значенням  $\hat{z}_{k+1|k}$  з використанням інформації, доступної в момент часу  $k$ .

$$v_{k+1} = z_{k+1} - H_{k+1} \hat{x}_{k+1|k}. \quad (6)$$

Інновації або залишки є важливою мірою того, наскільки добре працює оцінювач. Очевидно, що якщо фільтр працює правильно, тоді  $v_k$  – нульове середнє і біле з коваріацією  $S_k$ .

Відповідність фільтра можна оцінити шляхом застосування трьох процедур.

Тест 1 – переконатися, що інновації відповідні їх коваріаціям, перевіривши, що величина інновацій обмежена  $\pm 2\sqrt{S_k}$ .

Для перевірки границь амплітуди інновації на рис. 5, а показано інноваційну

послідовність разом з  $\pm\sigma$  та  $\pm 2\sigma$  границями від її амплітуди. Рисунок показує, що інновація незміщена і приблизно 95 % значень лежать у межах  $\pm 2\sigma$  необхідних границь. Цього тесту іноді достатньо, щоб перевірити відповідність фільтра, але, тим не менш, на практиці доцільно також застосувати інші два тести.

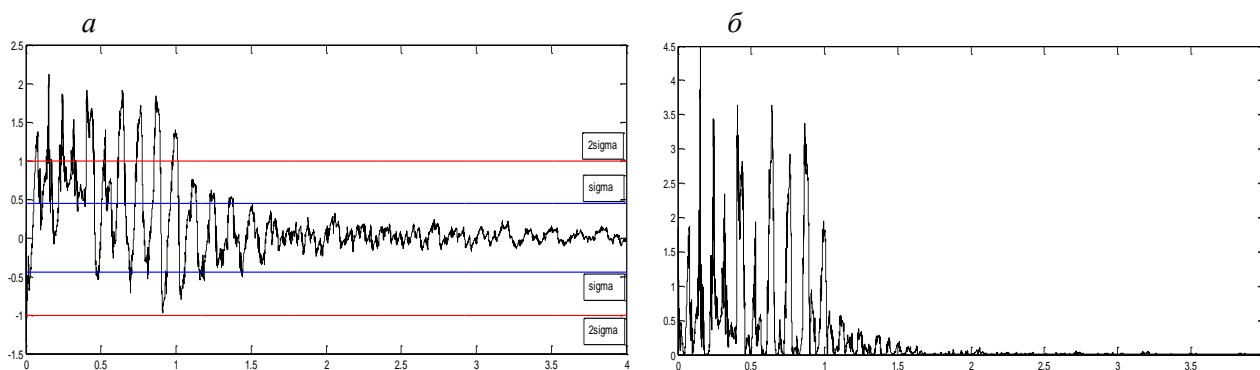


Рис. 5. Інновація та границі її стандартного відхилення (а), нормалізована інновація (б)

Тест 2 – переконатися, що інновація незміщена і біла. Це можна перевірити за допомогою перевірки гіпотези нормованих квадратичних інновацій – « $\chi^2$ -тесту».

Для перевірки незміщеності обчислюються нормовані квадратичні інновації для послідовності  $i$  точок розрахунку фільтра Калмана:

$$q_{k+1}(i) = v_{k+1}(i)S_{k+1}^{-1}(i)v_{k+1}(i) \quad (7)$$

Якщо це припущення виконується, тоді  $q_{k+1}(i)$  існує для кожного  $\chi^2$ .

Для оцінки середнього необхідно мати  $N$  незалежних вибірок  $q_{k+1}(i), i = 1, \dots, N$ . Середнє цієї сукупності

$$\bar{q}_{k+1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_{k+1}(i) \quad (8)$$

У даному випадку можна використовувати той факт, що інновації є ергодичними, щоб оцінити середнє вибірки від середнього часу для довжини послідовності точок (тобто рухомого середнього), а не в

середньому сукупності. Таким чином, можливо оцінити середнє від одного прогону фільтра Калмана як

$$\bar{q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_k \quad (9)$$

Рис. 5, б показує нормалізовану інновацію та рухоме середнє інновації. Останнє, як правило, прагне до 1.0, коли  $k$  стає більшим. Щоб перевірити незміщеності, необхідно переконаватися, що  $\bar{q}$  лежить у довірчому інтервалі  $[r_1, r_2]$ , визначеному за гіпотезою  $H_0$ , що  $N\bar{q} \in \chi^2_{Nm}$ , розподіленою з імовірністю  $1-\alpha$ . Таким чином, потрібно знайти такий  $[r_1, r_2]$ , що

$$P(N\bar{q} \in [r_1, r_2] | H_0) = 1 - \alpha \quad (10)$$

Для прикладу візьмемо  $N=100, \bar{q}=1.11$ , нехай  $\alpha=0.05$  (тобто визначаємо двосторонню 95 % довірчу область). Використовуючи статистичні таблиці (функція 'chi2inv' в Matlab), знаходимо, що

$$[r_1, r_2] = [\chi^2_{100}(0.025), \chi^2_{100}(0.975)] = [74.22, 129.56]$$

Гіпотеза насправді прийнятна для цього прикладу.

Тест 3 – тест білизни (автокореляції) інновації. Для перевірки «білизни» необхідно довести, що

$$E[v_i^T v_j] = S_i \delta_{ij} \quad , \quad (11)$$

Це можливо перевірити, перевіряючи, що скрізь, за виключенням, коли  $i=j$ , статистика, визначена рівнянням (11), дорівнює нулю в межах допустимої статистичної похибки. Можливо використовувати ергодичності, щоб перевизначити тестову статистику як усереднену за часом кореляцію:

$$r(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-\tau-1} v_k^T v_{k+\tau} \quad . \quad (12)$$

Для досить великого  $N$  можна вважати, що  $r(\tau)$  нормально розподілена з нульовим середнім і дисперсією  $1/N$ . Тоді можна обчислити  $2\sigma$ -межі як  $\pm 2/\sqrt{N}$  і переконатися, що принаймні 95 % значень потрапляють у цю довірчу область.

#### Висновки

1. Розглянута концепція побудови системи діагностування тягового асинхронного електропривода на основі алгоритму розширеного фільтра Калмана, що включає математичну модель об'єкта діагностування, дозволяє здійснювати безперервне відстеження та оцінку параметрів привода в режимі реального часу.

2. Виконане моделювання показало здатність виявлення відхилень параметрів двигуна на основі оцінки значень активних опорів ротора і статора, що може вказувати на злами стержнів ротора та міжвиткові короткі замикання обмоток статора.

3. Наведено основні критерії оцінки ефективності роботи фільтра Калмана.

#### Список використаних джерел

1. Покровский, С.В. Система управления и диагностики электровоза ЭП10 [Текст] / под ред. С.В. Покровского. – М.: Интекст, 2009. – 356 с.
2. Flammini, F. Railway safety, reliability and security: Technologies and systems engineering [Text] / Francesco Flammini. – Ansaldo STS, Italy, 2012. – 463 p.
3. Capolino, G.-A. Trends in fault diagnosis for electrical machines: a review of diagnostic techniques [Text] / G.-A. Capolino, C. Bruzzese, R. Rosca, J. Estima // IEEE Industrial electronics magazine. – 2014. – P. 30-42.
4. Nandi, S. Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors – A review [Text] / S. Nandi, Hamid A. Toliyat, X. Li // IEEE Transactions of energy conversion. – Vol.20, No.4. – 2005. – P. 719-729.
5. Kowalski, C.T. Stator and rotor faults monitoring of the inverter-fed induction motor drive using state estimators [Text] / C.T. Kowalski, R. Wierzbicki, M. Wolkiewicz // Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland: AUTOMATIKA. – № 54(3). – 2013. – P. 348-355.
6. Hamid, A.T. Electric Machines: Modeling, Condition Monitoring, and Fault Diagnosis [Text] // Hamid A. Toliyat, S. Nandi, S. Choi, H. Meshgin-Kelk. - CRC Press. - 2013. – 253 p.
7. Trigeassou, J.-C. Electrical machines diagnosis [Text] / J.-C. Trigeassou. – John Wiley & Sons, Inc., 2011. – 318 p.
8. Chan, T.-F. Applied intelligent control of induction motor drives [Text] / T. Chan, K. Shi. - John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd., 2011. - 431 p.
9. Raison, B. Détection et localisation de défaillances sur un entraînement électrique [Text] / These pour obtenir le grade de docteur de l'institut national polytechnique de Grenoble. – 2000. - 214 p.
10. Khaled, Y. Indirect vector control of induction motor with on line rotor resistance identification [Text] / K. Yahia, S.-E. Zouzou, F. Benchabane // Asian journal of information technology. 2006. – № 5(12). – P. 1410-1415.

11. Bachir, S. Diagnosis by parameter estimation of stator and rotor faults occurring in induction machines [Text] / S. Bachir, S. Tnani, J.-C. Trigeassou, G. Champenois // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2006. – Vol.53, NO.3. – P. 963-972.

12. Reid I. Estimation II: Discrete-time Kalman filter [Text] / I. Reid, H. Term. – 2001. – 44 p.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

---

Ващенко Ярослав Васильович, аспірант кафедри автоматизованих систем електричного транспорту  
Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050) 728-21-92.  
E-mail: yar17680@gmail.com.

Vashchenko Yaroslav Vasylovych, postgraduate Chair of the automated systems of electric transport Ukrainian State  
University of Railway Transport. Tel.: (050) 728-21-92. E-mail: yar17680@gmail.com.

Стаття прийнята 13.10.2015 р.



**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА УПРАВЛІННЯ НИМИ**

---

---

УДК [656.22:656.25]:006.1

**РОЗРОБЛЕННЯ ПРОФІЛЮ СТАНДАРТІВ СТАНЦІЙНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Канд. техн. наук В.П. Мороз, магістранти А.Ю. Бурлаченко, О.О. Шовкопляс

**РАЗРАБОТКА ПРОФИЛЯ СТАНДАРТОВ СТАНЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Канд. техн. наук В.П. Мороз, магистранты А.Ю. Бурлаченко, А.А. Шовкопляс

**DEVELOPMENT PROFIL STANDARTS TO STATIONS SYSTEMS CONTROL MOVEMENT OF TRAINS FOR RAILWAY TRANSPORT**

Cand. of techn. sciences V.P. Moroz, master student A. Burlachenko, O. Shovkoplias

*Проведено дослідження існуючих стандартів у галузі залізничної автоматики, відповідно до яких розробляються сучасні мікропроцесорні системи керування рухом поїздів на залізничному транспорті. Встановлено необхідність створення узгодженої сукупності нормативних документів (стандартів і вимог) для підвищення ефективності і якості процесу розроблення та впровадження сучасних систем керування.*

**Ключові слова:** стандарти, мікропроцесорні системи, залізнична автоматика, нормативні документи.

*Выполнено исследование существующих стандартов в области железнодорожной автоматики, согласно которым разрабатываются современные микропроцессорные системы управления движением поездов на железнодорожном транспорте. Установлена необходимость создания согласованной совокупности нормативных документов (стандартов и требований) для повышения эффективности и качества процесса разработки и внедрения современных систем управления.*

**Ключевые слова:** стандарты, микропроцессорные системы, железнодорожная автоматика, нормативные документы.

*A study of existing standards in the field of railway automation, under which developed modern microprocessor control systems of train traffic on the railway. Established the need to create a coherent set of regulations (standards of) to improve the quality and facilitate the development and implementation of new control systems.*

*The article shows the relationship of international, European, national and industry standards of railway automation. Shows the proposed structure of the profile of standards for train control system, which follows the structure of the control system and is divided into appropriate levels of the hierarchy. Presented profile standards for the generalized structure of a microprocessor control system of train at the railway station. We describe the steps of creating a profile of standards and conclusions about the expediency of its use in the reconstruction of existing and building new train control systems.*

**Keywords:** standards, microprocessor systems, rail automation, regulations.

**Вступ.** На сьогодні час можна виділити три основні напрямки в розробленні та проектуванні систем керування рухом поїздів на станції:

- релейні системи;
- релейно-процесорні системи (РПЦ);
- мікропроцесорні системи (МПЦ).

Безперервно зростаючі вимоги до систем керування рухом поїздів визначають загальну тенденцію переходу на мікропроцесорну техніку. Однак темпи впровадження тих чи інших рішень повинні визначатись ступенем готовності до їх масового виробництва та експлуатації, а також економічними міркуваннями сучасного періоду [1].

Необхідність впровадження систем керування на сучасній елементній базі пояснюється ще й тим, що з'являється потреба удосконалення технології обслуговування, оскільки обслуговуючий персонал, як з'ясувалося з практики, інколи порушує графік технічного обслуговування пристроїв.

Відомо, що на людину все більше впливає різного роду інформаційне навантаження, і тому людина не завжди у змозі приділяти достатньо уваги своєму професійному удосконаленню. Саме тому повинні впроваджуватись системи, які допомагають як оперативному, так і обслуговуючому персоналу у виконанні поставлених завдань.

Одними із вимог при розробленні систем керування на залізничному транспорті є створення таких систем, які реєструють дії людини-оператора, а при некоректних діях система повинна підказати про їх недопустимість.

Такий підхід дозволить не тільки навчати, а й мінімізувати можливі помилки людини-оператора в умовах нормальної роботи і при збоях системи. При аваріях чи катастрофах з'явиться можливість виявляти звідки виникла помилка.

Оскільки сучасні системи керування розробляються та впроваджуються колективами розробників з різними ступенями професійності та компетентності, то постає питання: у якому обсязі та на яких етапах розроблення і для яких рівнів ієрархічної структури береться до уваги і використовується такими колективами та чи інша сукупність стандартів.

Таким чином, актуальним є розроблення такої множини сукупності існуючих стандартів, яка б стала основою для створення узгодженої сукупності нормативних документів для підвищення ефективності та якості процесу розроблення та впровадження сучасних систем керування.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими**

**науковими та практичними завданнями.** Зараз на перше місце виходять питання безпеки руху поїздів, безпеки перевезення пасажирів і вантажів, надійності систем керування, інновацій, якості обслуговування, енерго- та матеріалоємності, ергономіки, тобто все те, що визначає конкурентоспроможність на внутрішньому та зовнішньому ринках.

З метою підвищення якості та конкурентоспроможності станційних систем автоматики ведеться активна робота зі стандартизації та сертифікації продукції. Діють Закони України «Про транспорт», «Про залізничний транспорт» і Декрет Кабінету Міністрів України «Про стандартизацію та сертифікацію» щодо обов'язкової та добровільної сертифікації на залізничному транспорті [15].

Сучасний підхід у розробленні систем здійснюється в основному з дотриманням існуючих стандартів: міжнародних, державних, галузевих та керуючих документів.

Розроблення систем МПЦ ґрунтується на певній сукупності різних стандартів [9, 13, 15].

Проведені дослідження показали, що при розробленні нових систем проєктувальник найчастіше бере до уваги тільки ті стандарти, які, на його погляд, є найбільш важливими. Для того щоб такого в подальшому не відбувалося, зараз є необхідність створення профілю стандартів на системи МПЦ.

Профіль – це набір стандартів для відповідних рівнів системи. Розроблення профілю стандартів спрямовано на одну мету: забезпечення більш оптимального, ефективного та якісного процесу розроблення нових систем МПЦ [10].

Особливістю досліджуваного завдання є те, що при створенні профілів необхідно враховувати певну суперечливість умов, у яких відбуваються процеси стандартизації мікропроцесорних систем залізничної автоматики. З одного боку, темпи поліпшення характеристик і вдосконалення функціональних можливостей засобів обчислювальної техніки є такими, що тривалість життєвого циклу складних інформаційних систем перевищує строки морального й фізичного старіння апаратних і програмних засобів, на базі яких створюються ці системи. З іншого боку, стандарти, що регламентують вимоги до цих засобів, мають природну консервативність, закріплюючи зазначені вимоги на певний

період часу. Тому визначення номенклатури стандартів, які необхідно застосовувати для систем МПЦ, пов'язані з вибором таких рішень, які б забезпечували можливість заміни окремих її компонентів, не зачіпаючи інших функціональних частин [9].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання створення єдиної сукупності стандартів на розроблення систем МПЦ є дуже важливим на сьогодні, оскільки існує значна кількість різноманітних стандартів, що значно ускладнюють процес розроблення та прийняття єдиної системи стандартизації та сертифікації продукції.

З аналізу існуючих публікацій [5, 6, 7] відомо, що ведуться роботи зі створення профілю життєвого циклу програмних засобів для систем керування.

Створення профілю стандартів на систему МПЦ й на досі залишається нерозглянутим та є актуальним на сьогодні.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Основна увага в даній статті приділяється розробленню профілю стандартів на основі взаємозв'язку між міжнародними, європейськими, державними та галузевими стандартами. Цей взаємозв'язок важливий тому, що застосування профілю стандартів у перспективі надасть можливість сертифікувати розроблювану систему відповідно до стандартів профілю.

Метою є створення на основі аналізу існуючих стандартів профілю стандартів для розроблення систем керування рухом поїздів і виконання маневрової роботи на станції.

Завданням дослідження є створення структури профілів на систему МПЦ, яка б забезпечила можливість побудови зазначеної системи відповідно до існуючих стандартів і надала можливість виконати за необхідності її модифікацію чи подальше вдосконалення зі збереженням функціональної структури.

**Основна частина дослідження.** Розроблення й застосування профілів є невід'ємною частиною процесів проектування, розроблення, супроводу, модернізації й розвитку відкритих інформаційних систем [4]. Профілі характеризують визначену систему на всіх стадіях її життєвого циклу та визначають набір базових стандартів, яким повинні відповідати компоненти системи.

При розробленні та впровадженні нових систем формується та застосовується

сукупність базових стандартів і нормативних документів, гармонізованих між собою, у яких виділяються вимоги та рекомендації, що необхідні для реалізації функцій системи. У зв'язку з цим виділилось і сформувалось поняття «профіль стандартів», який є основним інструментом функціональної стандартизації [3].

Профілем є узгоджена сукупність декількох (або підмножина одного) нормативно-технічних документів (стандартів і специфікацій), яка орієнтована на вирішення певного завдання: реалізація заданої функції або групи функцій програми або середовища [5].

Проектуванню системи передують стадія передпроектного дослідження об'єкта, визначення цілей створення системи та складу її функцій [5]. Важливі стандарти вказуються в технічному завданні на проектування й становлять її первинний профіль. З початком розроблення цей профіль модифікується в залежності від початкових вимог і необхідних функцій.

Формування профілю стандартів (рис. 1) для кожного рівня системи включає вихідні дані, розроблення самого профілю та результати.

Вихідними даними для формування профілю стандартів станційних систем керування є набір стандартів і нормативних документів, концепції та специфікації вимог, детальний проект комплексу програм і бази даних, які використовуються для проекту системи.

Розроблення профілю стандартів включає в себе системний аналіз і планування розроблення профілю, проектування складу і вимог стандартів, адаптацію вимог до конкретної системи та затвердження адаптованого профілю.

На етапі системного аналізу і створення концепції системи [2]:

1) відбувається первинний відбір вихідного комплексу стандартів, яким повинна відповідати система;

2) з'являється необхідність розроблення та складання додаткових нормативних документів;

3) оформлюється зміст і параметри комплектів документів передбачуваних профілів.

При проектуванні системи визначаються вимоги до її архітектури і структури, відповідно до чого уточнюються положення,

параметри та адаптуються стандарти комплекту профілів; оформлюються проекти документів і

методичних вказівок з застосування робочої версії кожного профілю стандартів.

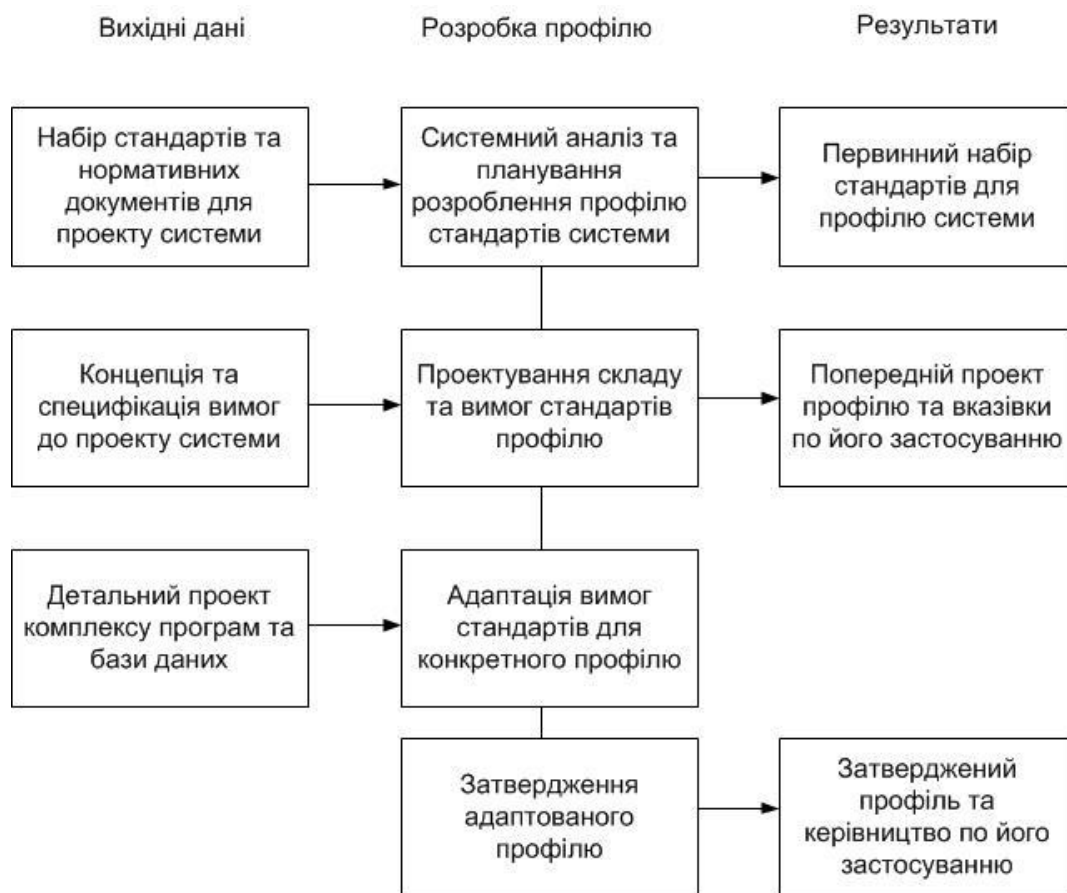


Рис. 1. Модель формування профілю стандартів

При розробленні або придбанні готових компонентів системи вже застосовуються всі положення профілю: здійснюється контроль, тестування та випробування компонентів на відповідність вимогам і документам конкретного профілю стандартів [9, 10].

На етапі модернізації профілю, що можливо при появі як більш досконаліх технічних і програмних засобів, так і нових стандартів, за необхідності здійснюється формування, документація та впровадження нової модифікованої та уточненої версії відповідного профілю.

У загальному випадку створенню профілю життєвого циклу повинно передувати дослідження розроблюваної системи. Результатом є створення функціональної та інформаційної моделі (структури системи), а також специфікації вимог, які слугують вихідними даними для проектування системи. У

специфікації повинні бути визначені вимоги до життєвого циклу системи, надані посилання на діючі нормативні документи та визначена попередня структура профілю стандартів [9, 10].

У результаті на основі первинного набору стандартів створюється попередній проект профілю та вказівки щодо його застосування. Після процесу адаптації попереднього профілю до конкретної системи формується затверджений профіль і керівництво з його експлуатації.

У перспективі профіль стандартів стане єдиним нормативним джерелом для розроблення систем на залізничному транспорті, оскільки основні постачальники, з одного боку, не матимуть можливості продовжувати не враховувати значну кількість різних місцевих стандартів, а з іншого – замовники бажають забезпечувати на проведених ними тендерах максимально

можливу ступінь конкурентності. Створення профілю стандартів служить інтересам обох сторін максимально [13].

Як відомо, всі стандарти створюються не ізольовано, а у взаємному зв'язку один з одним. На рис. 2 наведено взаємозв'язок існуючих стандартів.

Основним завданням систем керування на залізничному транспорті є забезпечення безпеки руху поїздів [1, 14]. На безпеку функціонування систем залізничної автоматики впливають некоректні дії людини-оператора, заважаючи та небезпечні дії зовнішнього середовища, відмови та збої програмно-апаратних засобів [2, 4]. Тому у всіх існуючих і розроблюваних системах МПЦ повинні бути закладені концепції безпеки для мікроелектронних систем [14].

Розроблення сучасних систем МПЦ має здійснюватись з дотриманням вимог V-моделі [13, 14, 15], яка відповідає відповідним етапам життєвого циклу будь-якої системи.

Дана модель включає в себе концепції створення системи, визначення сфери застосування та умов використання, аналіз ризиків, системні вимоги, розподілення вимог до системи, розроблення та впровадження системи.

Наступним етапом є виробництво та встановлення для проведення випробувань з використанням системи перевірки та системи прийняття рішення і подальша експлуатація. Заключним етапом життєвого циклу є виведення системи з експлуатації та її подальша утилізація. У цей момент вже впроваджується нова система з розширеними функціональними можливостями відповідно до зростаючих вимог.

Створюваний профіль стандартів являє собою систему вимог, спрямованих на забезпечення встановлених властивостей виробничого процесу і виражених на основі нормативно-технічних документів (НТД) – юридичних і (або) фактичних стандартів [7].

Заданий набір функцій системи керування є вихідним для формування профілю стандартів. У профілі виділяються і встановлюються допустимі можливості і значення параметрів кожного базового стандарту і/або нормативного документа, що входить до профілю [9].

Будь-яка система керування рухом поїздів на залізничному транспорті є ієрархічно

упорядкованою системою. На кожному рівні ієрархії знаходяться певні функціональні вузли системи, які виконують задані функції.

Профіль стандартів на всю систему керування складається зі структури профілів стандартів станційної системи керування (рис. 3).

На базі однієї і тієї самої сукупності базових стандартів можуть формуватися і утверджуватися різні профілі для різних систем керування [3]. Профіль стандартів для узагальненої системи керування на станції не є статичним, профіль буде розвиватися і ставати більш конкретним (можливо, у взаємодії із замовником) у процесі життєвого циклу і в подальшому оформлятися у складі документації системи. Розроблення і застосування профілів стандартів є органічною частиною процесів життєвого циклу, розроблення і розвитку систем керування. Проектуванню системи, як вже зазначалося, передують обстеження об'єкта автоматизації, результатом якого є його функціональна та інформаційна моделі, визначення цілей створення системи і складу її функцій.

При формуванні профілю стандартів на систему МПЦ можливе використання міжнародних, національних, де-факто стандартів і відомчих нормативних документів [2, 4, 6].

Стандарти, які важливі з точки зору замовника, повинні бути включені до специфікації вимог на проектування системи і складати її первинний профіль. Те, що не задано у вимогах замовника, залишається спочатку на розсуд розробника системи, який, керуючись вимогами специфікацій, може доповнювати і розвивати профілі, які узгоджуються із замовником.

До профілю системи МПЦ включаються специфікації стандартизації компонентів, розроблених у складі даного проекту, і специфікації використаних готових програмних і апаратних засобів. Після завершення проектування і випробувань системи перевіряється її відповідність профілю. Профіль застосовується як основний інструмент супроводу системи при експлуатації, модернізації та керуванні конфігурацією.

Методологія розроблення мікропроцесорних систем керування на залізничному транспорті повинна базуватися на застосуванні системи стандартизованих рішень і фіксації цих рішень у вигляді профілю стандартів на систему керування і профілю складових компонентів.

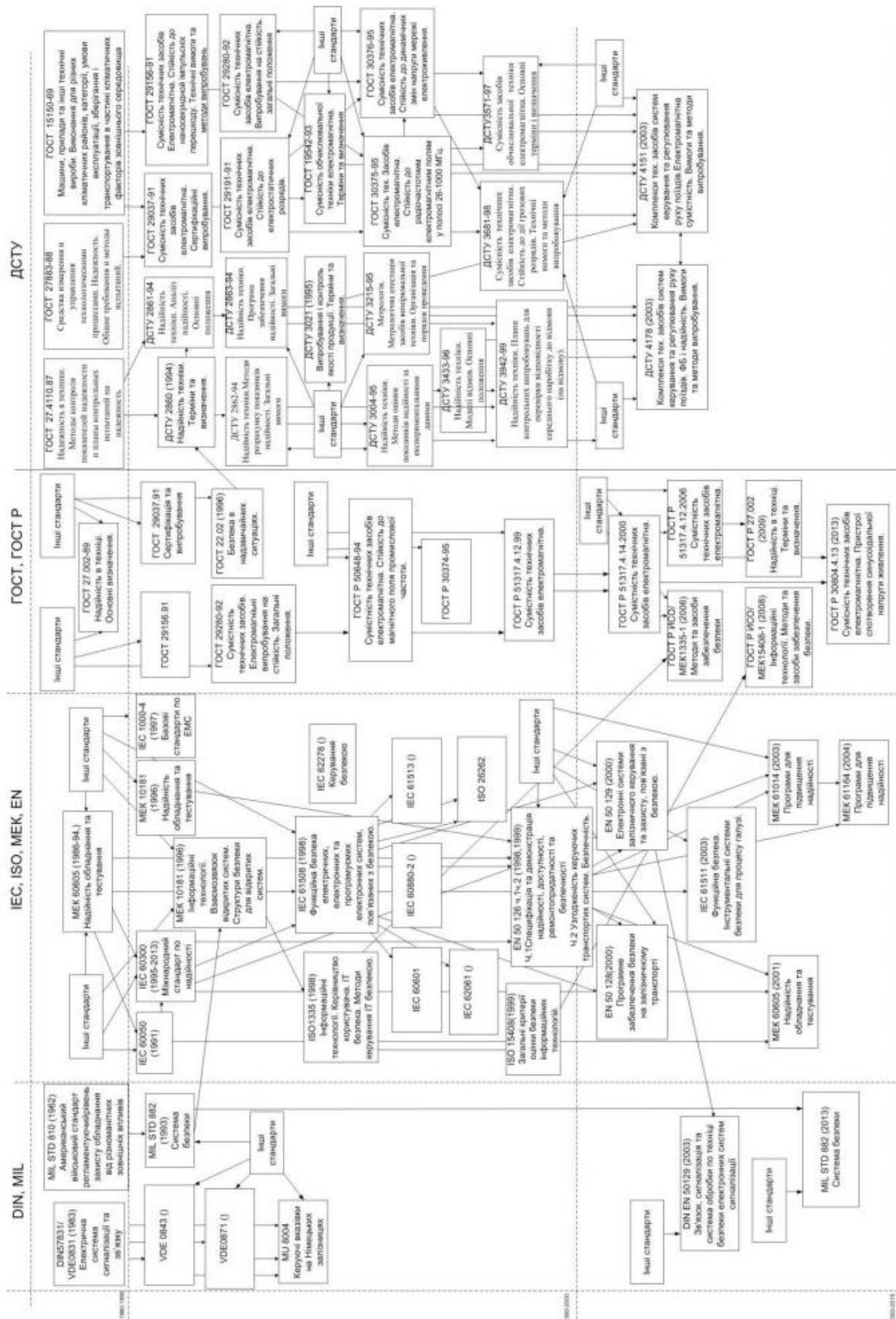


Рис. 2. Взаємозв'язок існуючих стандартів

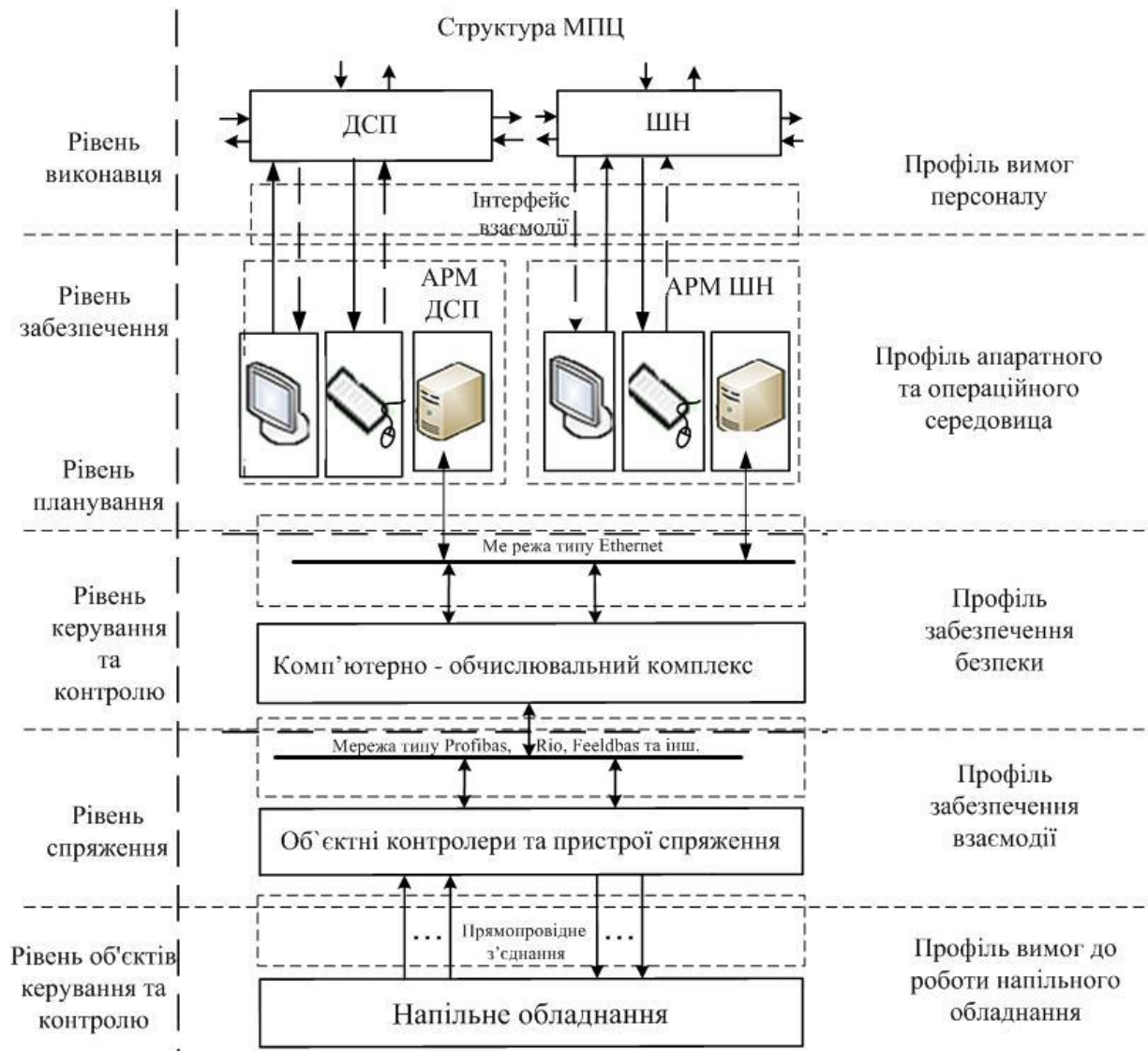


Рис. 3. Структура профілів стандартів станційної системи керування

Профіль стандартів для узагальненої структури мікропроцесорної системи керування рухом поїздів на залізничному транспорті подано на рис. 4.

Розроблений і поданий профіль являє собою сукупність узгоджених нормативно-технічних документів, що регламентують технологічні процеси керування рухом поїздів на станції.

Основними цілями застосування профілів стандартів при створенні мікропроцесорної системи керування рухом поїздів є:

- зниження трудомісткості, тривалості, вартості та поліпшення інших техніко-

економічних показників проектів і комплексів програм;

- підвищення якості розроблюваних або застосовуваних існуючих компонентів і програмних засобів при їх розробленні, придбанні та експлуатації;

- забезпечення збільшення кількості прикладних функцій і масштабованості залежно від розмірності вирішуваних завдань;

- підтримка функціональної інтеграції задач;

- забезпечення переносу програм і даних між різними апаратно-програмними платформами.

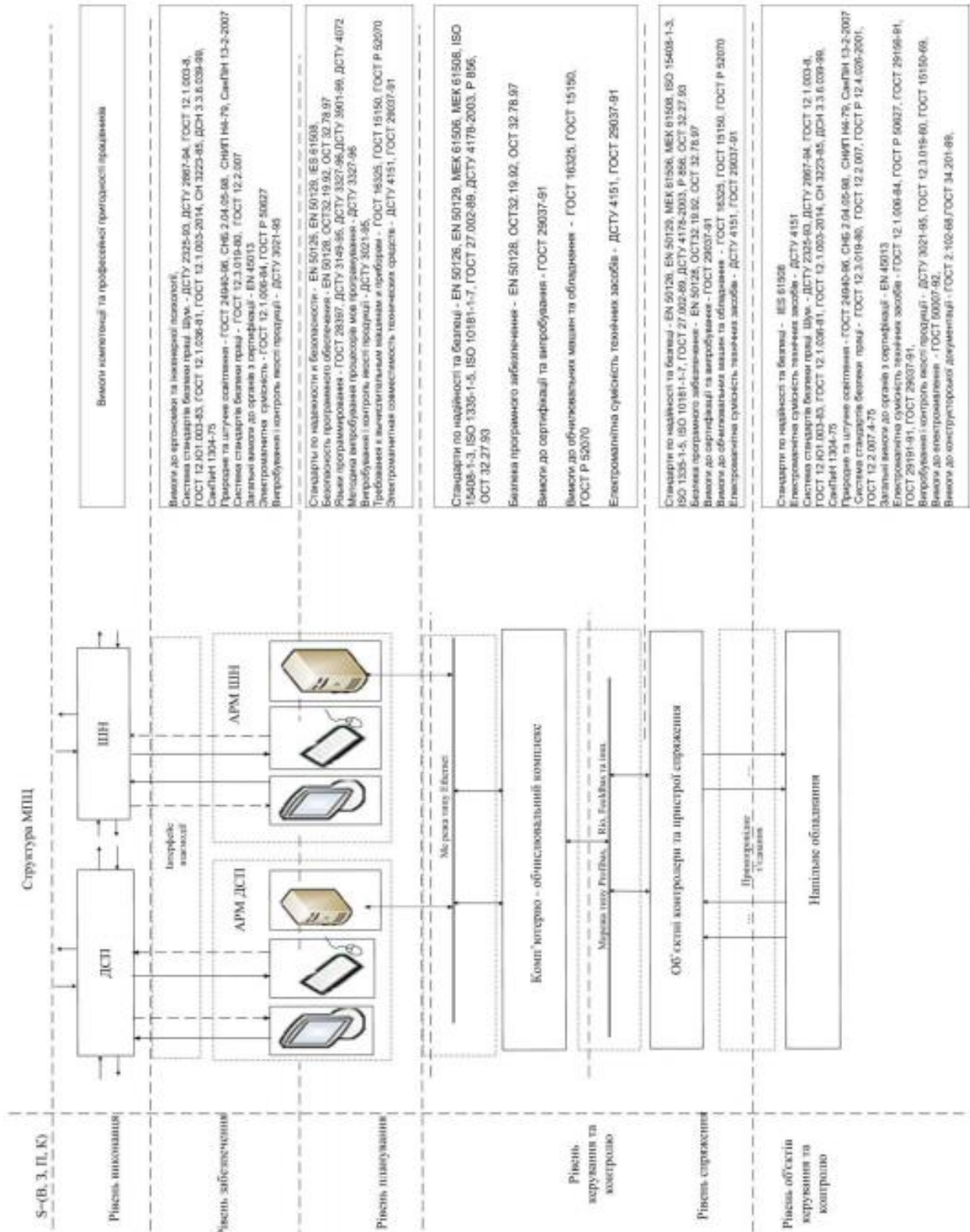


Рис. 4. Профіль стандартів для узагальненої структури МПЦ



**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** З огляду на зазначені особливості щодо проектування профілю стандартів на станційні системи керування рухом поїздів можна зробити висновок, що їх застосування дозволяє замовнику системи зменшити залежність від одного постачальника програмних та апаратних засобів за рахунок вибору відповідних засобів із числа доступних на ринку, які відповідають стандартам, нормативним вимогам і рекомендаціям.

Практичне застосування профілю стандартів на системи МПЦ сприятиме значному підвищенню продуктивності праці

фахівців і відповідно якості розроблюваних систем.

Ці стандарти обумовлюють модифікацію, мобільність і можливість повторного використання профілю при розробленні нових систем МПЦ. Це безпосередньо позначається на зростанні економічної ефективності технологій і процесів створення різних систем МПЦ, а також значно підвищує експлуатаційні характеристики.

Оскільки станційні системи керування рухом поїздів, а також і стандарти з часом удосконалюються, то завжди буде потреба удосконалювати й профілі на ці системи.

### *Список використаних джерел*

1. Обобщение тенденций развития устройств электрической централизации и опыта тиражирования компьютерных систем оперативного управления движением поездов на станциях [Текст] / А.Б. Никитин, С.В. Бушуев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nilksa.ru/>. – Загл. с экрана.
2. Липаев, В.В. Программная инженерия [Текст] / В.В. Липаев // Методологические основы. – М.: ТЭИС, 2006. – 605 с.
3. Липаев, В.В. Сертификация программных средств [Текст]: учебник / В.В. Липаев. – М.: СИНТЕГ, 2010. – 348 с.
4. Липаев, В.В. Надежность и функциональная безопасность комплексов программ реального времени [Текст]: учебник / В.В. Липаев. – М., 2013. – 210 с.
5. Липаев, В.В. Технические процессы и стандарты обеспечения функциональной безопасности в жизненном цикле программных средств [Электронный ресурс] / В.В. Липаев // Информационный бюллетень "Jet Info 03(130)/2004". – Режим доступа: [http://www.cplire.ru/win/casr/os/3\\_12/10/4.htm](http://www.cplire.ru/win/casr/os/3_12/10/4.htm). – Загл. с экрана.
6. Сапожников, В.В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики [Текст]: учеб. пособие / В.В. Сапожников, Х.А. Христов, Д.В. Гавзов. – М.: Транспорт, 1995. – 272 с.
7. Щербо, В.К. Функциональные стандарты в открытых системах [Текст] / В.К. Щербо. – М.: МЦНТИ, 2007. – 640 с.
8. Батоврин, В.К. О гармонизации процессов обеспечения открытости и процессов жизненного цикла систем [Текст] / В.К. Батоврин // Развитие открытых систем: сб. научн. тр. «Информационные технологии и вычислительные системы». – М. 2003. – Вып. 3. – С. 64-72.
9. Концепции создания интегрированной автоматизированной вычислительной системы [Текст] / Телекоммуникации и информатизация образования: сб. науч. тр. – М., 2002. – Вып. 1(8). – С. 5-17.
10. Модель профиля стандартов жизненного цикла сложных программных средств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://studopedia.ru/2\\_478\\_model-profilya-standartov-zhiznennogo-tsikla-slozhnih-programmnih-sredstv.html](http://studopedia.ru/2_478_model-profilya-standartov-zhiznennogo-tsikla-slozhnih-programmnih-sredstv.html). – Загл. с экрана.
11. Васюта, В. Регламентация жизненного цикла профиля стандартов программных средств [Электронный ресурс] / В. Васюта, С. Самохин, Г. Никифоров // Директор информационной службы. – Вып. 07-08. – 2000. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/cio/2000/07-08/170949/>. – Загл. с экрана.
12. Обзор стандартов описания жизненного цикла [Электронный ресурс]: информация. – Режим доступа: [TechInvestLab.ru/](http://TechInvestLab.ru/). – Загл. с экрана.
13. Брадбанд, Й. Взаимосвязь между стандартами CELENEC в области железнодорожной сигнализации и другими стандартами по безопасности [Электронный ресурс] / Й. Брадбанд, Ю. Хираву, Д.Ф. Людеке. – Режим доступа: <http://www.ibtrans.ru/CENELEC.pdf>. – Загл. с экрана.

14. Бочков, К.А. Микропроцессорные системы автоматики на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. пособие / К.А. Бочков, А.Н. Коврига, С.Н. Харлап. – Гомель: БелГУТ, 2013. – 254 с.

15. Стандартизация на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2011-09a02>. – Загл. с экрана.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.Б. Бойнік

---

Мороз Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: onilbd@yandex.ru.

Бурлаченко Анастасія Юріївна, магістрант кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: nastya.byrla4enko@yandex.ru.

Шовкопляс Олександр Олександрович, магістрант кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: armagedon5923@mail.ru.

Moroz Volodymyr, associate Professor at Department of Automation and computer remote control train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: onilbd@yandex.ru.

Burlachenko Anastasiia, master student at Department of Automation and computer remote control train traffic Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: nastya.byrla4enko@yandex.ru.

Shovkopljas Oleksandr, master student at Department of Automation and computer remote control train traffic Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: anytakubay@gmail.com.

Стаття прийнята 12.11.2015 р.

УДК 65.01:656.2

## ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИБОРІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Канд. техн. наук А.О. Лапко

## ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Канд. техн. наук А.А. Лапко

## APPROACH TO THE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF MAINTENANCE DEVICE RAIL AUTOMATION

Cand. of techn. sciences A. Lapko

*Визначено особливості організації системи технічного обслуговування пристроїв залізничної автоматики. Запропоновано критерій для оцінки організації системи технічного обслуговування пристроїв залізничної автоматики, який є інтегральним показником і враховує як трудомісткість технічного обслуговування, так і отриманий ефект від його проведення. Критерій може використовуватися при моделюванні в якості цільової функції з метою вибору найбільш ефективного варіанта організації технічного обслуговування.*

**Ключові слова:** *технічне обслуговування, залізнична автоматика, трудомісткість технічного обслуговування, ефективність технічного обслуговування, дистанція сигналізації та зв'язку.*

*Определены особенности организации системы технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики. Предложен критерий для оценки организации системы технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики, который является интегральным показателем и учитывает как трудоемкость технического обслуживания, так и полученный эффект от его проведения. Критерий может использоваться при моделировании в*

качестве целевой функции с целью выбора более эффективного варианта организации технического обслуживания.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, железнодорожная автоматика, трудоемкость технического обслуживания, эффективность технического обслуживания, дистанция сигнализации и связи.

*The features of the organization of maintenance of railway automation devices. The main features are a selection of concepts: philosophy, method and technology of maintenance. Also highlights the need to ensure traffic safety and reliable operation of railway automation devices at the lowest possible cost for their maintenance. The criterion to assess the organization of the maintenance of railway automation which is the integral index, and takes into account both the labour intensiveness of maintenance and the resulting effect on the meeting. A criterion is proposed to call – the coefficient of performance of maintenance. Effect of maintenance is estimated using the availability factor. When calculating the labour intensiveness of maintenance it is proposed to take into account the labour intensiveness of planning and prevention, planning and recovery and rescue and recovery operations, as well as a valid indicator of the volume of work. The criterion can be used in the simulation as the objective function to select the more efficient variant organization of maintenance.*

**Keywords:** maintenance, railway automation, labour intensiveness, efficiency of maintenance, office signalling and communication.

**Вступ.** На етапі експлуатації збереження здатності пристроїв залізничної автоматики (ЗА) виконувати функції залежить від початкових умов розроблення та проектування, якості будівництва та монтажу і значною мірою від технічного обслуговування (ТО). Відомо, що існуюча система ТО пристроїв ЗА побудована на основі планово-профілактичної стратегії ТО. Поява сучасних методів і засобів діагностування дозволяють перейти на стратегію ТО за фактичним станом, а за наявності резервування – і на відновлювальну стратегію. При цьому застосування перспективних методів і стратегій ТО пристроїв ЗА мають бути аргументовані як з технічного боку: забезпечення та надійність, так і з економічного.

**Постановка задачі у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Виступаючи як об'єкт матеріального світу, технічна система взагалі, а пристрої ЗА зокрема, являють собою сукупність засобів людської діяльності, що створені для здійснення процесів виробництва [1]. Різноманітність технічних систем накладає особливості на процеси експлуатації та ТО. Однак з позицій системного підходу створення та експлуатація технічних систем мають однакові принципи. Аналіз джерел [2–11] показав, що загальний принцип організації системи ТО має ієрархічну структуру, яка

охоплена як прямими, так і зворотними зв'язками з керування ТО (рис. 1). При цьому можна виділити дві складові: статистику і динаміку. У “статистиці” одноразово виконується вибір стратегії, методу і технології ТО з відповідним формуванням нормативно-технічної документації. Складова структури “динаміка” відображує функціонування системи ТО в процесі експлуатації. Тому в роботі розглядається загальний випадок технічної системи, що належить до класу “людина–машина” виробничого використання, яка існує в природно-кліматичному та соціальному середовищах.

Між підсистемами існує постійний обмін інформацією (рис. 1). До технічної системи застосовуються з боку людини регламентовані процеси керування та ТО. Будь-яке відхилення від норми підсистеми, якою управляють, викликає відповідну реакцію у процесі керування та ТО, які повинні привести процес виробництва в стійку рівновагу. Згідно з процесом виробництва для функціонування системи потрібні ресурси та інформація. Слід зазначити, що на систему впливають вади як зовнішні, так і внутрішні. Канали зворотного зв'язку організуються за допомогою оцінки якості продукції, у даному випадку якості та ефективності виконання робіт з ТО, що і викликає необхідність у висуненні відповідних критеріїв.

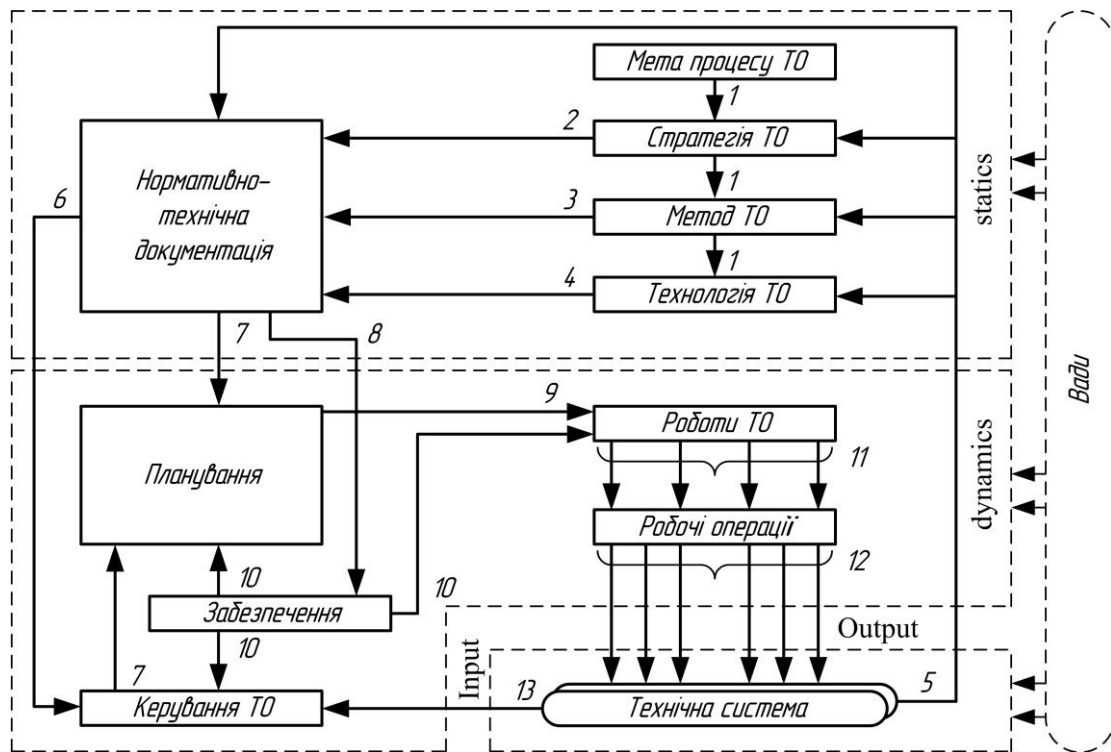


Рис. 1. Структура організації ТО: 1 – алгоритми вибору; 2 – формування комплексу робіт ТО та правил їх призначення; 3 – спосіб виконання комплексу робіт ТО; 4 – прийоми виконання ТО; 5 – технічні характеристики, властивості; 6 – формування організаційної структури; 7 – принципи регламентації ТО (закон керування); 8 – норми; 9 – розподіл робіт ТО в часі; 10 – ресурси, енергія, матеріали; 11 – сукупність робіт; 12 – сукупність операцій; 13 – стан системи

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Необхідність вирішення подібних завдань виникає і для інших технічних систем [12-16]. У роботах пропонуються підходи, засновані на аналізі вартісних характеристик технічного обслуговування, експлуатаційних витрат і надійності відповідних систем.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Система технічного обслуговування пристроїв ЗА існує в складі виробничо-організаційної системи, що наведена на рис. 2, з урахуванням структури її організації (рис. 1). Під виробничо-організаційною системою розуміється дистанція сигналізації та зв'язку (ШЧ).

Головне завдання, що вирішується в ШЧ, – забезпечення процесу перевезень надійно діючими засобами ЗА при мінімально припустимій витраті ресурсів на одиницю продукції [2, 3].

Для удосконалення ТО пристроїв ЗА діяльність ШЧ необхідно проаналізувати в кібернетичному аспекті. Кібернетичний аспект дає можливість проаналізувати стан системи керування ШЧ, виявити недоліки в методах і технології керування системою ТО.

Щоб визначити ефективність виробничого процесу в ШЧ, необхідно розглянути чотири основні групи питань:

- встановити, які завдання повинна вирішити система ТО для досягнення поставленої мети (визначити цільову функцію);
- систематизувати основні входи системи ТО (ресурси);
- визначити основні виходи системи ТО (продукцію);
- проаналізувати внутрішню структуру й установити критерії ефективності системи ТО.

Ресурси, що використовуються ШЧ в процесі виробництва, можна розділити на чотири основні групи: техніка, що обслуговується, фахівці, матеріали й електроенергія, засоби праці. Техніка ЗА віднесена до ресурсів, оскільки вона обробляється персоналом дистанції в процесі ТО. До ресурсів належать люди – фахівці, як головна продуктивна сила процесу виробництва, а також матеріали й електроенергія. Транспортні засоби ШЧ, механізми, інструмент, як засоби праці також, є ресурсами.

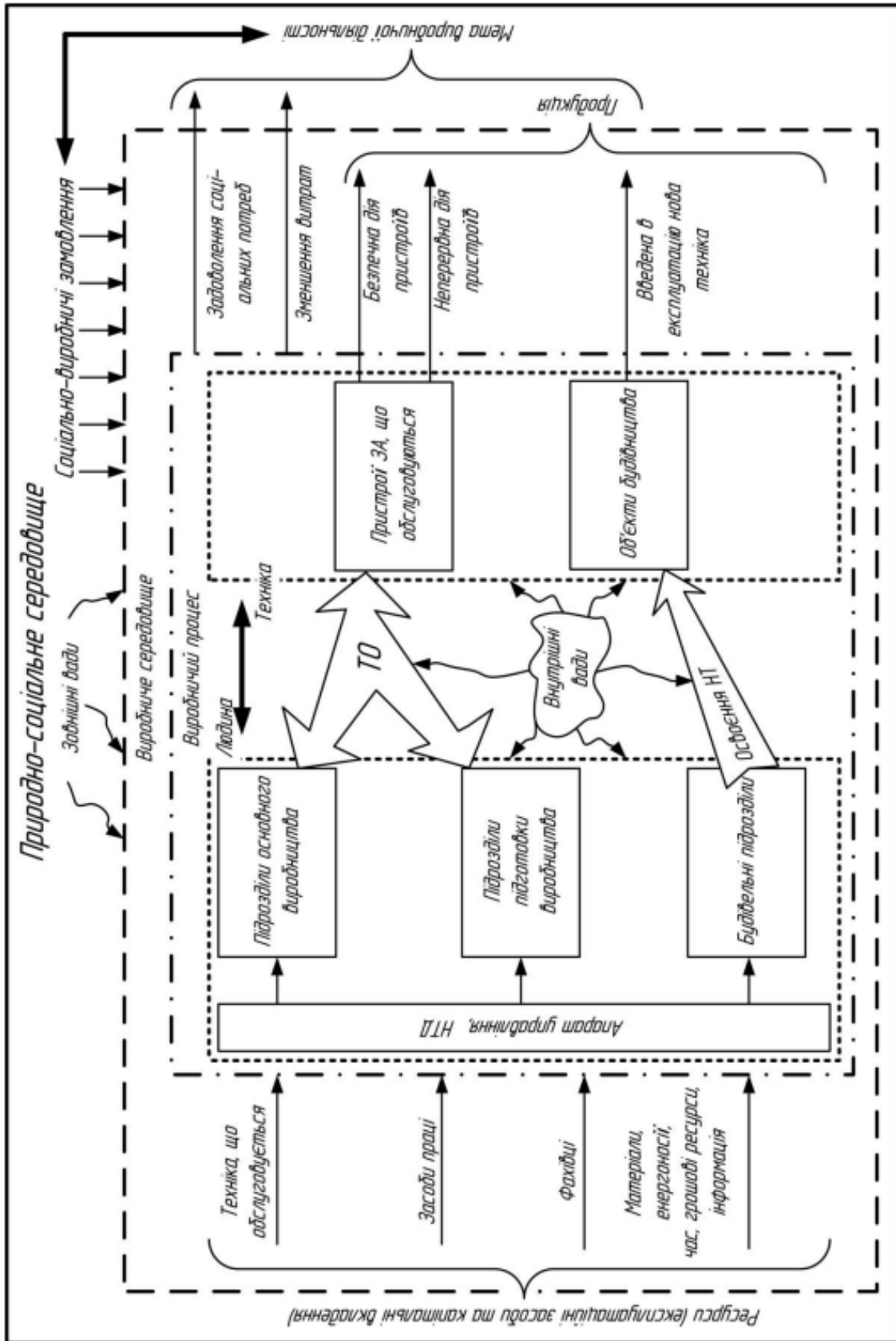


Рис. 2. Формалізоване уявлення системи ТО пристроїв ЗА в складі виробничої системи

ШЧ не створює нового речовинного продукту, а здійснює виробничі процеси, необхідні для діяльності транспорту як виробничого середовища. Основні виробничі процеси – це ТО й ремонт пристроїв ЗА, а також освоєння нової техніки. Продукт праці, який виробляється в зазначених виробничих процесах, і є продукцією дистанції, що забезпечує виконання головного завдання в перевізному процесі. У сфері виробництва при ТО пристроїв ЗА продуктом праці є надійна дія технічних засобів. До 75 % працівників ШЧ зайняті ТО пристроїв ЗА. Тому основною продукцією, яку виробляє ШЧ, слід вважати безпечну та надійну дію пристроїв ЗА. Ця продукція безпосередньо впливає на забезпечення плану перевезень. Припинення або перебої в роботі техніки ЗА можуть призупинити або різко скоротити процес перевезень. Очевидна й споживча вартість цієї продукції – без неї не може ефективно здійснюватися процес перевезень на залізничному транспорті. Для кількісної оцінки продукції використовуються технічні одиниці й показник обсягу робіт. Про результати діяльності ШЧ як виробничої системи можна судити, використовуючи комплекс взаємозалежних показників, що характеризують різні сторони її діяльності [2, 3].

При оцінюванні функціонування будь-якої виробничої системи найчастіше застосовують до продукції, що виробляється, поняття “якість” [1, 2, 3, 5, 15]. У загальному випадку для системи ТО пристроїв ЗА якість визначається як сукупність основних властивостей продукції процесу ТО, що забезпечують підтримку заданих характеристик експлуатованих пристроїв [2, 3]. Однак при удосконаленні ТО пристроїв ЗА необхідно використовувати поняття ефективності системи ТО. Це пояснюється тим, що під ефективністю системи ТО розуміється сукупність всіх властивостей системи ТО, що забезпечують досягнення поставлених перед нею основних цілей. А основними цілями системи ТО є забезпечення заданої надійності й готовності пристроїв до використання, підвищення продуктивності праці, поліпшення умов праці й побуту обслуговуючого персоналу і, що особливо важливо в сучасних умовах, зниження приведеної трудомісткості і відповідно вартості ТО пристроїв ЗА на одиницю продукції.

**Основна частина дослідження.** У зв’язку з тим, що при визначенні ефективності використовується певна кількість властивостей, то в таких випадках застосовують узагальнені або інтегральні показники:  $P_{\text{и}} = W/C$  [17]. Інтегральний показник якості є комплексним показником у вигляді відношення сумарного корисного ефекту ( $W$ ) від отриманої продукції до сумарних витрат на її виготовлення ( $C$ ). Тому для оцінки ефективності організації системи ТО пристроїв ЗА запропоновано критерій результативності системи ТО, який є інтегральним показником:

$$K_{\text{рТО}} = f(Ef, Q_{\text{ТО}}) \rightarrow \max, \quad (1)$$

де  $Q_{\text{ТО}}$  – трудомісткість ТО;

$Ef$  – ефект від проведення ТО.

У зв’язку з тим, що продукцією ШЧ, яка і здійснює ТО пристроїв ЗА, є забезпечення та надійна робота пристроїв ЗА при завданому обсязі руху поїздів (рис. 2), під ефектом від проведення ТО можна розуміти коефіцієнт готовності  $K_{\text{Г}}$  [2, 17, 18] як імовірність того, що пристрій буде справним у довільний момент часу, крім періодів, що заплановані і протягом яких використання пристрою не передбачається. Коефіцієнт готовності має сенс визначення для систем, що працюють у режимі очікування та повинні знаходитися в справному стані в момент отримання заявки на використання, як у випадку пристроїв ЗА.

Отже, для пристроїв ЗА необхідно знати множину  $S_C = [S_{C1}, S_{C2}, \dots, S_{Cn}]$  справних станів. Під справним станом розуміється такий стан, при якому основні (робочі) і другорядні (зовнішній вигляд, працездатність додаткових пристроїв, що забезпечують зручність експлуатації, та ін.) параметри відповідають технічним вимогам і, крім того, виріб не має відмов резервних вузлів і агрегатів [18].

Через різну розмірність складових у функціоналі (1) трудомісткість ТО слід подавати в безрозмірній величині за допомогою коефіцієнта трудомісткості  $K_Q$ , який фактично є показником виробничої технологічності системи ТО пристроїв ЗА:

$$K_Q = Q_{\text{ТО}} / Q_{\text{ТО Доп}}$$

де  $Q_{\text{ТО Доп}}$  – допустиме значення трудомісткості.

І тоді

$$K_{PTO} = K_{\Gamma} / K_Q \geq 1,$$

де  $K_{\Gamma} = t_{HB} / (t_{HB} + t_{ABP})$ ;

$t_{HB}$  – наробіток на відмову;

$t_{ABP}$  – час на аварійно-відновлювальні роботи.

При визначенні трудомісткості ТО [19] слід враховувати підготовчо-заклучний час  $t_{ПЗ}$ , час на обслуговування робочого місця  $t_{ОМ}$ , час

на відпочинок та особисті потреби  $t_B$ . Для пристроїв ЗА справедливо співвідношення

$$t_{ПЗ} + t_{ОМ} + t_B = 0,226 \times T_{ОП},$$

де  $T_{ОП}$  – оперативний час на виконання роботи.

З урахуванням вище наведеного коефіцієнт результативності ТО в повному вигляді можна записати так:

$$K_{PTO}(t) = \frac{K_{\Gamma}(t)}{\left( \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^k \frac{K_{\text{ч}} \cdot q_{\text{ППР}} \cdot m \cdot t}{\tau_{\text{ППР}} \cdot j} + K_{\text{ч}} \cdot q_{\text{ПВР}} \cdot x + K_{\text{ч}} \cdot q_{\text{АВР}} \cdot y \right] \right) / Q_{\text{ТО Доп.}}}, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість об'єктів різного типу;

$k$  – кількість виконуваних планово-профілактичних робіт;

$q_{\text{ППР}}$  – трудомісткість планово-профілактичних робіт;

$m$  – кількість об'єктів даного типу;

$t$  – розрахунковий період;

$\tau_{\text{ППР}}$  – періодичність планово-профілактичних робіт;

$q_{\text{ПВР}}$  – трудомісткість планово-відновлювальних робіт;

$x$  – кількість передвідмовних станів;

$q_{\text{АВР}}$  – трудомісткість аварійно-відновлювальних робіт;

$y$  – кількість відмов;

$K_{\text{ч}}$  – коефіцієнт, що враховує підготовчо-заклучний час, час на обслуговування робочого місця та на відпочинок, для станційних пристроїв ЗА  $K_{\text{ч}} = 1,226$  [19].

Вираз (2) може прийматися в якості цільової функції для удосконалення ТО пристроїв ЗА при таких обмеженнях:

$$\begin{cases} K_{\Gamma} \geq K_{\Gamma \text{ Зад}}, K_{\Gamma} \rightarrow 1; \\ Q_{\text{ТО}} \leq Q_{\text{ТО Доп.}}, Q_{\text{ТО}} \rightarrow \min; \\ q_{\text{ПВР}} < q_{\text{АВР}}; \end{cases}$$

де  $K_{\Gamma \text{ Зад}}$  – задане значення.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Критерій результативності системи ТО можна використовувати як при моделюванні організації системи ТО з метою визначення найбільш ефективного варіанта, так і для оцінювання в процесі експлуатації. Ефективною можна вважати систему ТО, для якої  $K_{PTO}$  більше або дорівнює 1.

### Список використаних джерел

1. Мухин, В.И. Исследование систем управления [Текст] / В.И. Мухин. – М.: Экзамен, 2002. – 384 с.
2. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики: [Текст] / Вл.В. Сапожников, Л.И. Борисенко, А.А. Прокофьев, А.И. Каменев; под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003. – 336 с.
3. Лабеецкая, Г.П. Организация, планирование и управление в хозяйстве сигнализации и связи [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Г.П. Лабеецкая, Н.К. Анисимов, А.Н. Брендт. – М.: Маршрут, 2004. – 348 с.
4. Барзилович, Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем [Текст] / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высш. школа, 1982. – 231 с.

5. Маньшин, Г.Г. Методы профилактического обслуживания эргатических систем [Текст] / Г.Г. Маньшин, Е.Ю. Барзилович, В.Ф. Воскобоев. – Минск: Наука и техника, 1983. – 222 с.
6. Дружинин, Г.В. Анализ эрготехнических систем [Текст] / Г.В. Дружинин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
7. Федотов, А.Е. Техническое обслуживание централизованных стрелок [Текст] / А.Е. Федотов, О.К. Качмарская. – М.: Транспорт, 1988. – 95 с.
8. Барзилович, Е.Ю. Эксплуатация авиационных систем по состоянию [Текст] / Е.Ю. Барзилович, В.Ф. Воскобоев. – М.: Транспорт, 1981. – 197 с.
9. Разгонов, А.П. Методы и средства повышения надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / А.П. Разгонов. – Харьков, 1999. – 365 с.
10. Ясер, Ханан. Оптимізація процесів технічного обслуговування повітряних суден [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Ханан Ясер. – К., 1999. – 20 с.
11. Машкіна, І.В. Дослідження та розробка методів і математичних моделей інформаційної підтримки автоматизованої системи управління ремонтно-технічного обслуговування [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / І.В. Машкіна. – К., 2003. – 20 с.
12. Якушенко, О.С. Використання удосконаленого показника технічного обслуговування для обґрунтованого вибору оптимальних ремонтних підприємств [Текст] / О.С. Якушенко, П.О. Власенко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – Вып. № 9 (116182). – С.182-186.
13. Лаврут, О.О. Методика оцінки якості технічного обслуговування засобів зв'язку [Текст] / О.О. Лаврут, В.М. Васюк // Системи обробки інформації. – 2005. – Вип. 4 (44). – С. 86-89.
14. Мачалин, И.А. Стратегии технического обслуживания транспортных систем навигации и связи [Текст] / И.А. Мачалин // Водный транспорт. – 2012. – Вип. 3. – С. 54-60.
15. Колос, О.Л. Визначення середніх питомих витрат на технічне обслуговування за станом і ремонт зразків машин інженерного озброєння в моделях їх інтенсивного функціонування з урахуванням почасової надмірності [Текст] / О.Л. Колос // Зб. наук. праць Національної академії прикордонної служби України. Сер. Військові та технічні науки. – 2014. – Вип. 2 (62). – С. 231–247.
16. Ткаченко, В.А. Теоретичне обґрунтування раціональної періодичності технічного обслуговування спеціальних машин підготовки літальних апаратів [Текст] / В.А. Ткаченко // Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – 2012. – Вип. 15. – С. 210–214.
17. Федюкин, В.К. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции [Текст] / В.К. Федюкин, В.Д. Дурнев, В.Г. Лебедев. – М.: Информационно-издательский дом “Филинь” Рилант, 2000. – 328 с.
18. Сапожников, В.В. Надежность систем железнодорожной автоматики телемеханики и связи [Текст] / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, В.И. Шаманов. – М.: Маршрут, 2003. – 262 с.
19. Федотов, А.Е. Расчет трудоемкости технического обслуживания устройств СЦБ и построение нормированных графиков [Текст] / А.Е. Федотов // ЦНИИТЭИ МПС. Сер. Автоматика и связь. – М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1983. – № 3 (138). – 44 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.Б. Бойнік

---

Лапко Антон Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-32. E-mail: a.o.lapko@gmail.com.

Lapko Anton Oleksandrovych, cand. science, department of automation and telecontrol computer train traffic, Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-30. E-mail: a.o.lapko@gmail.com.

Стаття прийнята 11.12.2015 р.



**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ZBIRNIK NAUKOVIH PRAC' UKRAINIAN STATE  
UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT**

**Випуск 157**

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

Редактори Ібрагімова Н.В., Еткало О.О., Третьякова К.А.

Відповідальні за випуск Янченко Л.В.

---

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 30.10.15 р.

Формат паперу А4. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 18,25. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейсрбаха,7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.