



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 168

Харків 2017

УДК 656.2(062)

У «Збірнику наукових праць УкрДУЗТ» 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 наукових праць УкрДУЗТ» призначений для інженерно-технічних працівників, магістрантів, студентів і науковців залізничного транспорту та промисловості.

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

Збірник наукових праць 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>

Реферативна база

"Наукова періодика України": <http://csw.kart.edu.ua>

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням ученої ради університету, протокол № 3 від 25 квітня 2017 р.

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до списку друкованих (електронних) періодичних видань, що включаються до Переліку наукових фахових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України від 21.12.2015 р. № 1328 (додаток 8)).

Редакційна колегія

Головний редактор – Михалків Сергій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, УкрДУЗТ

Бабаєв М.М., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Бойнік А.Б., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Бутько Т.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Ватуля Г.Л., д.т.н., доцент, УкрДУЗТ
Вовк Р.В., д.фіз.-мат.н., професор, УкрДУЗТ
Воронін С.В., д.т.н., доцент, УкрДУЗТ
Ворожбіян М.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Даренський О.М., д.т.н., професор,
УкрДУЗТ
Каграманян А.О., к.т.н., доцент, УкрДУЗТ
Лаврухін О.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Ломотько Д.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ

Мартинов І.Е., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Мойсеєнко В.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Мороз В.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Огар О.М., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Панченко С.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Приходько С.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Плугін А.А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Тартаковський Е.Д., д.т.н., професор,
УкрДУЗТ
Тимофєєва Л.А., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
Фалендиш А.П., д.т.н., професор, УкрДУЗТ

ISSN 1994-7852

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

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2017

ЗМІСТ

<i>Ломотько Д. В., Листопад М. С.</i> Напрямки підвищення рівня сервісу в умовах транспортно-пересадочних вузлів швидкісних залізничних магістралей	4
<i>Шелехань Г. І., Продащук М. В.</i> Удосконалення процесу взаємодії сортувальної та припортової станцій при обслуговуванні експортних вагонопотоків	10
<i>Каменєв О. Ю., Сіроклин І. М., Змій С. О., Щєблїкіна О. В.</i> Технологічна проблема регулювання пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації моторвагонного рухомого складу	19
<i>Бабанін О. Б., Буцький О. В.</i> Аналіз методів діагностування паливної апаратури дизелів	31
<i>Громов В. І.</i> Дослідження поверхонь відгуку показників міцності тягових зубчатих передач з різними ступенями зносу профілів зубців	37
Будівництво та цивільна інженерія	
<i>Задорожний А. А., Ковревский А. П.</i> Анализ процесса движения бингамовских жидкостей по трубопроводам круглого сечения	44
<i>Шумська Л. П.</i> Особливості перехідних тепловологісних процесів будівлі	50
<i>Мозговий А. О.</i> Імовірнісна оцінка надійності будівель ГЕС за критерієм втрати стійкості проти зсуву на прикладі гідровузлів Дніпровського каскаду	62
<i>Волкова А. С., Лоцман К. П.</i> Обзор методов технической мелиорации грунтов, применяемых в дорожном строительстве	70
<i>Karpyuk F. R., Karpyuk F. R., Krantovska O. M., Ksenschkevich L. M.</i> Taking note of the form of section on the bearing ability of inclined sections in norm of design	87
<i>Козлова О. Н.</i> Методика экспериментальных исследований трубчатых стержней на устойчивость с регулированием остаточного напряженного состояния	95
<i>Ромашко В. М.</i> Основи розрахунку залізобетонних елементів та конструкцій за деформаційно-силовою моделлю їх опору	103
<i>Мірошніченко С. В., Зверєва А. С.</i> Визначення потрібної міцності прокладного шару безбаластного мостового полотна на етапах монтажу та експлуатації	111
<i>Коробко О. А.</i> Взаимосвязь структур изделия и материала	117
<i>Кондращенко В. І., Кондращенко О. В., Цзин Гоцин, Ван Чжуан, Єрохіна А. В.</i> Нова постановка оптимізаційних задач бетонознавства	124
<i>Керш В. Я., Фоц А. В., Колесников А. В.</i> Описание водостойкости гипсосодержащих композиций с помощью комбинированного критерия	133

УДК 656.2: 658.818

НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ СЕРВІСУ В УМОВАХ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛІВ ШВИДКІСНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ МАГІСТРАЛЕЙ

Д-р техн. наук Д. В. Ломотько, магістрант М. С. Листопад

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ СЕРВИСА В УСЛОВИЯХ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Д-р техн. наук Д. В. Ломотько, магистрант М. С. Листопад

TRENDS TO IMPROVING SERVICE LEVEL IN CONDITIONS OF TRANSPORT HUBS ON HIGH SPEED RAIL

Doct. of techn. Sciences D. V. Lomotko, magistrands M. S. Listopad

Подано основні шляхи підвищення рівня сервісного обслуговування в умовах експлуатації високошвидкісних залізничних магістралей (ВШМ). Виявлено основні напрямки розвитку сервісу пасажирських перевезень у транспортних вузлах: розвиток інтелектуальних транспортних систем; інтеграція рішень у галузі інформаційних технологій і тарифної політики. Удосконалення перевезень пропонується за рахунок виявлення основних напрямків розвитку сервісу обслуговування пасажирів на транспортно-пересадочних вузлах, а також шляхом врахування економічних, технологічних та соціальних причин, що визначають вибір пасажиром виду транспорту.

Ключові слова: швидкісна залізнична магістраль, транспортно-пересадочний вузол, сервіс пасажирських перевезень, інфраструктурний комплекс, тарифна політика, комфорт поїздки.

Представлены основные пути повышения уровня сервисного обслуживания в условиях эксплуатации высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ). Выявлены основные направления развития сервиса пассажирских перевозок в транспортных узлах: развитие интеллектуальных транспортных систем; интеграция решений в области информационных технологий и тарифной политики. Совершенствование перевозок предполагается за счет выявления основных направлений развития сервиса обслуживания пассажиров в транспортно-пересадочных узлах, а также путем учета экономических, технологических и социальных причин, определяющих выбор пассажиром вида транспорта.

Ключевые слова: скоростная железнодорожная магистраль, транспортно-пересадочный узел, сервис пассажирских перевозок, инфраструктурный комплекс, тарифная политика, комфорт поездки.

The article presents the main trends of increasing the level of service in operation of high-speed rail lines (HSR). The basic directions of passenger transportation service in transport hubs - the development of intelligent transport systems; integration solutions in information technology and tariff policy.

Increased service provides additional services to passengers and visitors to transport hubs. In the area of additional passenger service attendants and visitors organize related objects service. Traditionally, domestic practice is implemented in the form of service centers. They provide

services that complement and improve basic transport service, on the other - increase commercial and investment attractiveness of all hubs. Main line of business related to renting space public areas, providing a balanced structure of related products and services.

Improvement of transport offered by identifying the main areas of service on passenger service transport interchange hubs, as well as by taking into account economic, technological and social reasons determining the choice of method of passenger transportation.

Keywords: *high-speed railway, transport interchange hub, passenger transport services, infrastructure complex, tariff policy, comfort of trip.*

Вступ. Важливим завданням залізничного транспорту є якнайбільш повне задоволення потреб населення в перевезеннях. Сучасні технології експлуатації швидкісних та високошвидкісних магістралей (ВШМ) вимагають від залізниці надання не тільки основної послуги – перевезення, але й створення необхідного рівня сервісу на шляху прямування та в місцях прибуття та відправлення пасажирів. Одна з найважливіших незручностей великих міст визначається необхідністю комплексної модернізації та створенням нової структури транспортних мереж шляхом формування або розвитку транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ). Вони забезпечують найбільш ефективну взаємодію всіх елементів транспортної системи ВШМ з надання основних та сервісних послуг.

ПАТ «Укрзалізниця» є найбільш великим перевізником країни – на її частку припадає близько 60 % обсягу вантажних і 38 % пасажирських перевезень, вона об'єднує шість регіональних залізниць і близько 140 інших структурних підприємств. В управлінні ПАТ «Укрзалізниця» є 21,6 тис. км залізничних колій, близько 4 тис. локомотивів і 123 тис. вагонів. Основною проблемою пасажирських перевезень на залізничному транспорті є задоволення потреб населення в перевезеннях із високим рівнем сервісу. Незважаючи на активізацію вітчизняних процесів проектування і експлуатації транспортних систем пасажирського транспорту великих міст, тривалість переміщення пасажирів з початкового пункту до кінцевого в них залишається

значною. Вона може коливатися залежно від розмірів міста в межах 35-90 хвилин, час перебування пасажира в ТПВ становить до чверті загального часу переміщення [1, 2], але певного рівня та набору сервісних послуг за цей час пасажиру не надається.

Аналіз досліджень і публікацій. У багатьох виконаних раніше наукових дослідженнях у даній галузі автори не достатньо враховували специфіку ринкової економіки, що впливає на функціонування і розвиток ТПВ [5], а також зарубіжний досвід формування системи сервісу на ВШМ [3, 4] у взаємозв'язку з подальшим розвитком великих міст та при взаємодії з різними видами пасажирського транспорту ТПВ [7]. В обмеженому вигляді використовувалися методи логічного і математичного аналізу для прогнозування і моделювання динаміки та взаємодії пасажиропотоків у ТПВ [6, 8, 10]. Крім того, питання функціонування, формування і розвитку сервісу на ТПВ слід розглядати у взаємозв'язку з інфраструктурою регіонів з урахуванням соціального та культурного ефекту для пасажирів [8, 10].

Формулювання мети. Виявлено основні напрямки розвитку сервісу пасажирських перевезень у великих транспортних вузлах: розвиток інтелектуальних транспортних систем; інтеграція рішень щодо проїзних документів, збільшення провізної і пропускнує спроможності. Дані дослідження спрямовано на визначення необхідних критеріїв для створення ефективної та комплексної транспортної системи у великих містах. Досягти цього пропонується за рахунок виявлення основних напрямків розвитку сервісу

пасажирських перевезень на ТПВ, а також шляхом урахування економічних, технологічних та соціальних причин, що визначають вибір пасажиром способу переміщення.

Основна частина дослідження.

Впровадження швидкісного руху на вітчизняних залізницях почалося з 2002 року. На сьогодні здійснюються перевезення пасажирів на швидкості до 160 км/год, проводяться дослідження та впровадження елементів інноваційних рішень щодо збільшення швидкості. Досвід показує, що при цьому може не відбутися істотного скорочення часу поїздки пасажира до кінцевого пункту, що пов'язано із значним часом, який витрачається на те, щоб дістатися ТПВ, із часом перебування

пасажира на ТПВ у процесі пересадки та в очікуванні різних видів транспорту.

За даними ПАТ «Укрзалізниця» пасажирські перевезення у внутрішньодержавному сполученні визначаються високою інтенсивністю контактів із невеликими станціями. Цим видом перевезень найбільш часто користуються студенти, підприємці і туристи. При цьому характерним є наявність стійких пасажиропотоків між основними містами країни. Найбільші пасажиропотоки в обох напрямках наведено на рис. 1 з розподілом по містах держави. Таким чином, формування сучасних ТПВ та системи сервісу на ВШМ логічно починати із найбільш завантажених транспортних вузлів та напрямів.



Рис. 1. Найбільші пасажиропотоки в обох напрямках з розподілом по містах держави, тис. пас/р (дані Укрзалізниці)

Отже, ТПВ можна визначити як складний інфраструктурний комплекс, який містить земельні ділянки з розташованими на них, над ними або під ними об'єкти транспортного, сервісного та іншого призначення, що забезпечують комфортне та безпечне обслуговування пасажирів у місцях пересадок з одного виду транспорту на інший [2]. Для ТПВ з участю швидкісного залізничного транспорту запропоновано використовувати додаткові складові – планувальне рішення ТПВ у місті та поза містом, наявність і розміщення сервіс-центру, наявність перехоплюючих паркінгів.

Підвищення рівня сервісного обслуговування передбачає надання додаткових послуг пасажирам та відвідувачам ТПВ. У зоні додаткового обслуговування пасажирів, супроводжуючих та відвідувачів організуються супутні об'єкти сервісного обслуговування. Традиційно у вітчизняній практиці це реалізовано у формі сервіс-центрів. Вони надають послуги, які доповнюють та покращують основну транспортну послугу, а з іншого боку – підвищують комерційну та інвестиційну привабливість усього ТПВ. Головний напрям розвитку супутніх бізнесів у ТПВ – здавання в оренду площ громадських зон,

що забезпечує збалансовану структуру супутніх продуктів і послуг.

При формуванні комплексної транспортної системи таких великих міст, як Київ, Харків, Львів, слід враховувати економічні, соціальні, психологічні і демографічні причини, що істотно впливають на вибір пасажиром способу переміщення і на тип транспортних засобів. Наприклад,

внутрішньодобова нерівномірність пасажиропотоку, пас/год, по ст. Харків-Пасажирський наведено на рис. 2. Її аналіз свідчить про необхідність організації роботи сервіс-центру таким чином, щоб у першу половину доби у своїй роботі він переважно орієнтувався на пасажирів, що прибувають, а у другу половину дня – на пасажирів, що відправляються.

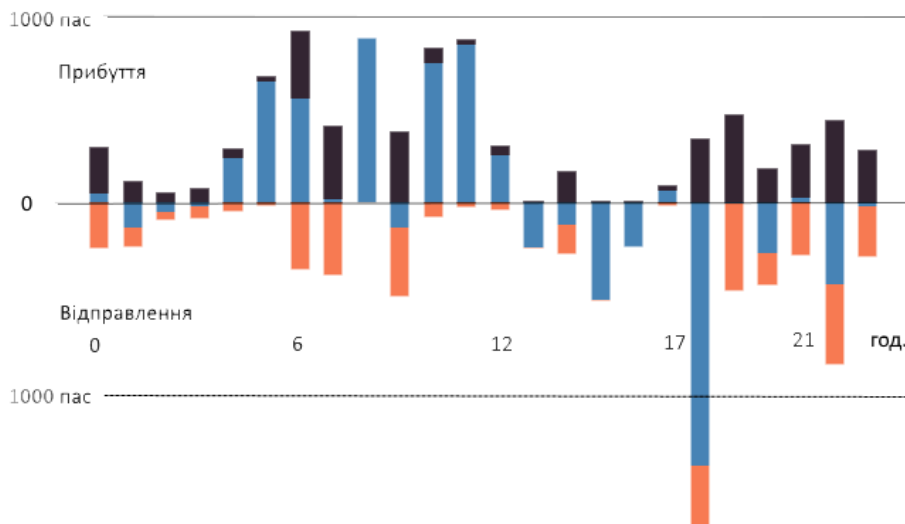


Рис. 2. Нерівномірність пасажиропотоку по ст. Харків-Пасажирський, пас/год (дані Укрзалізниці)

Організація високоякісного обслуговування в умовах сервіс-центрів з надання послуг також має враховувати специфіку внутрішньорічної нерівномірності пасажиропотоку. Так, дослідження нерівномірності обсягу наданих послуг з проживання в готелі в умовах Харківського залізничного вузла та безпосередньо на ТПВ Харків-Пасажирський (рис. 3) показують наявність характерних максимумів попиту в осінній і зимовий періоди, та мінімумів – у весняний (за винятком квітня) і літній періоди.

Подальший аналіз показав, що обсяги попиту на готельні послуги підкоряються експоненційному закону розподілу (рис. 4),

що було підтверджено за критерієм згоди χ^2 Пірсона:

$$P(N_{\text{міс}}^{\text{ВШМ}}) = 0.0027e^{-0.0027N_{\text{міс}}^{\text{ВШМ}}},$$

де $N_{\text{міс}}^{\text{ВШМ}}$ – обсяг наданих сервіс-послуг за місяць, од.

У подальшому прийнято, що потік замовлень на послугу є простішим, тобто в автоматизованій системі підтримки роботи сервіс-центру він моделюється без значних похибок як система масового обслуговування.

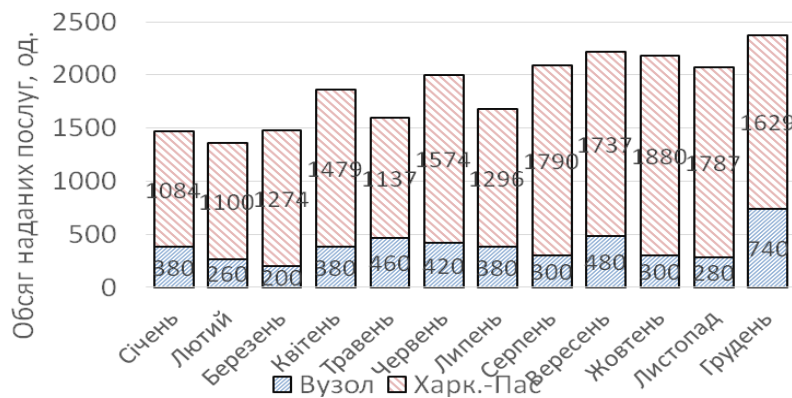


Рис. 3. Нерівномірність обсягу наданих готельних сервіс-послуг в умовах Харківського залізничного вузла і по ст. Харків-Пасажирський

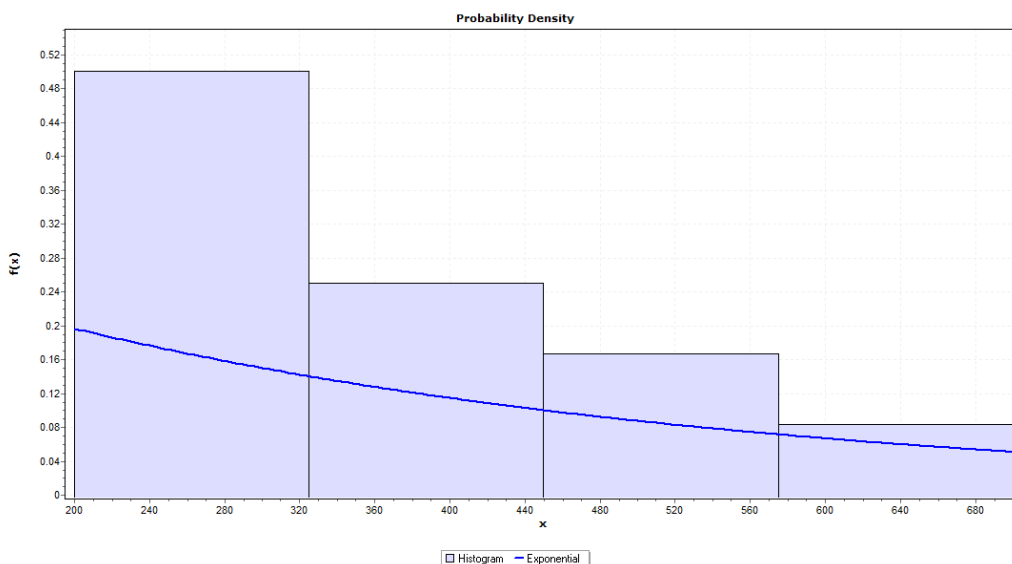


Рис. 4. Функція щільності імовірності обсягу наданих готельних сервіс-послуг в умовах Харківського залізничного вузла

Вирішення завдання підвищення рівня сервісного обслуговування на ВШМ може бути здійснено у напрямку вибору параметрів ТПВ. Це є складовою наукової задачі раціоналізації структури ТПВ на основі закономірностей формування пасажиропотоків та ефективного управління пасажирськими перевезеннями на основі критерію річного прибутку від введення та експлуатації ВШМ.

При виробленні підходів до тарифоутворення на транспортному ринку, оцінці рівня тарифів на послуги ВШМ

необхідно вивчення конкурентних позицій учасників ринку. На етапі розроблення і впровадження проводиться порівняльний аналіз передбачуваних характеристик нових транспортних та сервісних послуг, особливостей тарифної політики та стимулювання попиту на перевезення. Популярним є використання SWOT-аналізу конкурентів (strengths-weaknesses-opportunities-threats), який виявляє сильні та слабкі сторони. Він досить давно і ефективно застосовується при дослідженні діяльності залізничного транспорту.

Висновок з досліджень і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку. Рівень сервісного обслуговування в умовах ВШМ залежить від структури та технології роботи великих ТПВ. Таким чином, основними напрямками

стимулювання попиту на послуги залізничних ВШМ мають стати в першу чергу Інтернет-ресурси компанії і телереклама, підготовка спеціальних репортажів про ВШМ і його переваги в порівнянні з основними конкурентами.

Список використаних джерел

1. Артынов, А.П. Управление взаимодействием транспортных систем [Текст] / А. П. Артынов, Г.А. Кондратьев. – М.: Наука, 1986. – 198 с.
2. Ломотько, Д. В. Аналіз рівня сервісу в умовах транспортно-пересадочних вузлів на високошвидкісних залізничних магістралях [Текст] / Д. В. Ломотько, Г. Г. Даценко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 161. – С. 25-35.
3. High speed lines in the world / International Union of Railways [Electronic resource]. Access mode. – [http://uic.org/spip.php?article573].
4. Yixiang Yue, Shifeng Wang, Leishan Zhou, Lu Tong, M. Rapik Saat, Optimizing train stopping patterns and schedules for high-speed passenger rail corridors, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 63, February 2016, P. 126-146. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2015.12.007>.
5. Скалов, К. Ю. Методика технико-экономических расчетов при развитии транспортных узлов [Текст] / К. Ю. Скалов, Э. Е. Островский, Г. С. Молярчук. – М.: Транспорт, 1972. – 567 с.
6. Lomotko, D. Formation of fuzzy support system for decision-making on merchantability of rolling stock in its allocation / D. Lomotko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Т. 6. – № 3(78). – Р. 11-17. – <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.54496>.
7. Торопов, Б. И. Развитие пассажирских комплексов на основе закономерностей формирования пассажиропотоков [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.22.00 / Торопов Борис Иванович. – К.: КИИТ, 2000. – 154 с.
8. Евреенова, Н. Ю. Выбор параметров транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.22.08 / Н. Ю. Евреенова. – М.: МГУПС, 2014. – 255 с.
9. Резер, С. М. Логистика пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте [Текст] / С. М. Резер. – М.: ВИНТИ РАН, 2007. – 516 с.
10. Ломотько, Д. В. Формування транспортного процесу залізниць України на базі логістичних принципів [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Д. В. Ломотько. – [Укр. держ. акад. залізнич. трансп.]. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 39 с.

Ломотько Денис Вікторович, д-р техн. наук, професор, кафедра транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-55. E-mail: den@kart.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7624-2925>.

Листопад Максим Сергійович, магістрант кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-55.

Lomotko Denis, Doct. of techn. sciences, Professor, Department of Transport and Logistics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-55. E-mail: den@kart.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7624-2925>.
Listopad Maksim, master Department of Transport and Logistics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-55.

Стаття прийнята 10.03.2017 р.

УДК 656.212

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ СОРТУВАЛЬНОЇ ТА ПРИПОРТОВОЇ СТАНЦІЙ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ЕКСПОРТНИХ ВАГОНОПОТОКІВ

Асист. Г. І. Шелехань (УкрДУЗТ), М. В. Продащук (ХНУ ім. В. Н. Каразіна)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ И ПРИПОРТОВОЙ СТАНЦИЙ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ЭКСПОРТНЫХ ВАГОНОПОТОКОВ

Ассист. А. И. Шелехань (УкрГУЖТ), Н. В. Продащук (ХНУ им. В. Н. Каразина)

IMPROVEMENT OF THE INTERACTION PROCESS OF MARSHALLING YARDS AND PORTSIDE STATIONS AT THE SERVICE OF EXPORTING TRAFFIC VOLUMES

As. G. Shelekhan, M. Prodaschuk

Розглянуто основні проблеми у взаємодії сортувальної та припортової станцій при обслуговуванні експортних вагонів. Виявлено, що процес взаємодії сортувальної та припортової станцій при обслуговуванні експортних вагонопотоків вимагає налагодженої технології роботи обох станцій з узгодженням використання технічних засобів та потужностей сортувальної станції як такої, на яку у процесі удосконалення переходить додаткова переробка вагонів експортного прямування призначенням у порт. Було побудовано імітаційні моделі роботи сортувальної та припортової станцій за удосконаленою технологією.

Ключові слова: сортувальна станція, припортова станція, експортні вагонопотоки.

Рассмотрены основные проблемы взаимодействия сортировочной и припортовой станции при обслуживании экспортных вагонов. Выявлено, что процесс взаимодействия сортировочной и припортовой станций при обслуживании экспортных вагонопотоков требует отлаженной технологии работы обеих станций с согласованием использования технических средств и мощностей сортировочной станции как такой, на которую в процессе усовершенствования переходит дополнительная переработка вагонов экспортного следования назначением в порт. Были построены имитационные модели работы сортировочной и припортовой станции по усовершенствованной технологии.

Ключевые слова: сортировочная станция, припортовая станция, экспортные вагонопотоки.

The current state of international transportation through Ukraine is characterized by the predominance of the part of cargo transported by sea in combination with railways. The share of goods export in the total amount increases annually.

The basic problems in collaboration marshalling yards and portside stations in servicing export cars were considered. Found that the process of their interaction requires an established technology of both stations agreed use of technology and facilities such as the sorting station to which the process moves further improving processing export cars in port origin destination.

It was built simulation models of marshalling yard and portside stations working for advanced technology. Despite the more time that will spent on picking up carriages at the marshalling yard in total time continuance of staying in the system is reduced due to reduction of

the duration of their time staying in portside station caused the exception of the need to conduct there-sorting cars for seaports.

Keywords: *marshalling yards, portside station, exporting traffic volumes.*

Вступ. Для сучасного стану міжнародних перевезень територією України характерним є переважаюча частка вантажів, що транспортуються морським транспортом у комбінації із залізничним [1]. Такий спосіб перевезення має певну перевагу над іншими у вигляді відносно низької вартості перевезень, але, зважаючи на великі терміни доставки вантажів морем, є недостатньо конкурентоспроможним для тих випадків, коли великі обсяги перевезень вимагають якнайшвидшої доставки у пункт призначення. Такі випадки характерні для налагоджених торгових ліній між країнами, для транспортних маршрутів, основою яких є стабільно великий обсяг перевезень протягом тривалого часу, що є однією із суттєвих вимог для створення нових і доцільності існуючих міжнародних транспортних маршрутів та напрямків. Зазвичай на таких маршрутах транспортуються високотехнологічні товари та найбільш економічно затребувані вантажі, тому питання термінів доставки для них є актуальною складовою визначення найбільш вигідного варіанта транспортування для вантажовласників. Серед альтернативних морському способів перевезення міжнародних транспортних потоків доцільно розглянути залізничний транспорт, який має ряд значних переваг над морським, хоча значно програє йому у складовій вартості перевезення. Для зазначених вантажів різниця у вартості транспортування між морським і залізничним транспортом багаторазово компенсується набагато більш коротким терміном доставки і економією витрат на зберігання, що і є однією з тих переваг, яка визначає спосіб перевезення налагоджених великих потоків вантажів в умовах активного розвитку міжнародного торгового бізнесу.

На рис. 1, 2 наведено статистичні дані щодо обсягів перевалки вантажів у морських портах України за останні 4 роки та в Одеському морському торговому порту (ОМТП) зокрема. Як видно з рисунків, тенденція зростання загальних обсягів перевалки дещо порушилась у 2016 році, але дані рис. 3 свідчать про стійкий рівень переробки вантажів в ОМТП, в якій переважає частка експортних вантажопотоків з чіткою тенденцією до зростання. Частково така незмінність пояснюється високим рівнем контейнеризації вантажів та його зростанням минулого року на 25 % на Одеському контейнерному терміналі.

Аналіз досліджень і публікацій.

Питанням розвитку транспортного комплексу, а також портового потенціалу України були присвячені праці багатьох вітчизняних вчених, але вони не враховують сучасний стан та ринкові умови, що визначають вимоги як до технологічних впроваджень, так і до технічних потужностей інфраструктури. У розробленні завдання управління вагонопотоками значний внесок зробили вчені сучасності та минулого сторіччя, але, зважаючи на орієнтацію України на залучення міжнародних вантажопотоків та стрімку зміну напрямків міжнародного співтовариства країн-учасників перевізного процесу, виникає необхідність створення таких транспортних технологій, які б задовольняли вимоги ефективного здійснення транспортування міжнародних потоків.

Визначення мети та задачі дослідження.

Зростання обсягів експортних вагонопотоків, що із залізниць прямують морськими сполученнями, вимагає постановки мети розроблення і впровадження нових перспективних технологій функціонування об'єктів залізничного транспорту, приведення їх

технічного оснащення до рівня, що відповідає сучасним обсягам і характеру

вантажопотоків для ефективної взаємодії залізничного і морського видів транспорту.

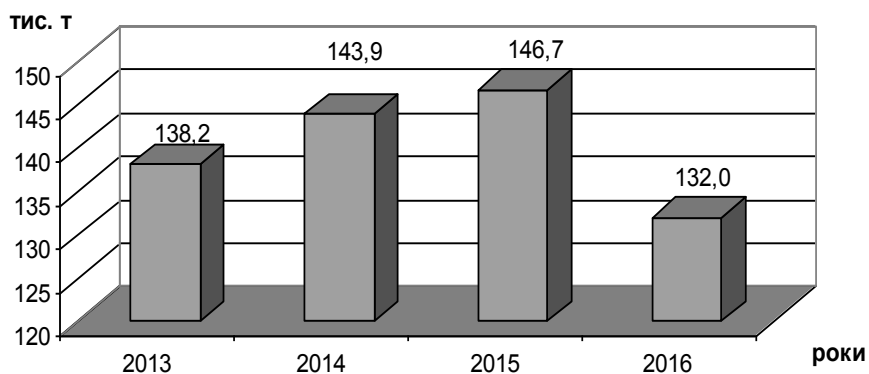


Рис. 1. Перевалка вантажів у морських портах України

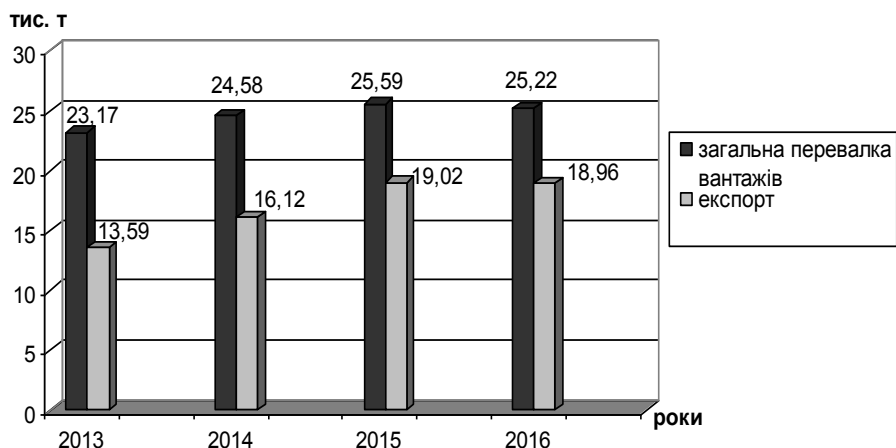


Рис. 2. Обсяги перевалки вантажів ОМТП

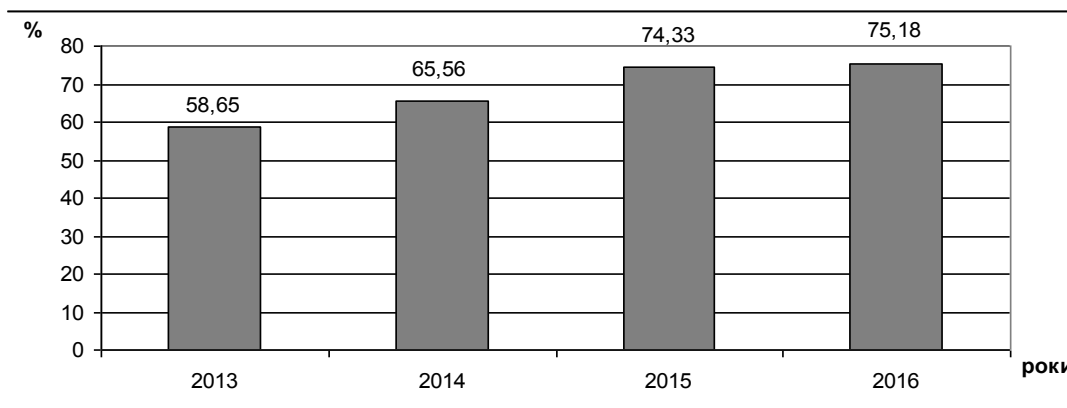


Рис. 3. Частка експортних вантажів у загальній переробці вантажів в ОМТП

Для реалізації поставленої мети необхідно розробити імітаційну модель роботи сортувальної та припортової станцій та визначити вхідні параметри, що формують умови функціонування зазначених станцій та дають можливість дослідити ефективність їх взаємодії у системі «сортувальна станція – припортова станція – районні парки порту».

Основна частина. При дослідженні процесів транспортування міжнародних вантажів на території України як морським і залізничним, так і тільки залізничним транспортом, слід особливу увагу приділити обробці експортних вантажів на залізничних станціях, оскільки їх частка у загальному вагонопотоці щорічно зростає, а політика залучення клієнтів до залізниць враховує якість та зручність обслуговування, що не завжди відповідає зручності роботи самої залізниці. Згідно з роботою [2] удосконалення технології роботи сортувальної станції у взаємодії із припортовою при обробці міжнародних вагонопотоків передбачає більш детальне підбирання вагонів на сортувальній гірці не тільки за призначенням на припортову станцію, а й за причалами та вантажними фронтами причалів з метою скорочення тривалості перебування вагонів міжнародного експортного призначення під маневровими операціями з розподілу вагонів на припортових станціях.

Тривале виконання таких операцій на припортових станціях через відсутність сортувальних пристроїв на них та значний вагонопотік, що прямує у порти, зумовлює значні простой вагонів та збільшення тривалості виконання технологічних процесів на станції [3, 4]. Задача визначення доцільності застосування таких заходів на сортувальних станціях зводиться до задачі визначення загальної тривалості перебування вагонів у системі «сортувальна станція – припортова станція – районні парки порту» за запропонованою технологією обробки, яка має бути меншою за тривалість перебування вагонів за

існуючою технологією. Це означає, що незважаючи на більший час, що буде витрачено на підбирання вагонів на сортувальній станції, сумарна тривалість перебування вагонів у системі зменшиться через скорочення тривалості їх перебування на припортовій станції, спричинене виключенням необхідності проводити повторне сортування вагонів для морських портів у загальній сукупності вагонів, які надходять та проходять переробку, а отже, скоротиться термін доставки вагонів до суден.

Для наочного розгляду зазначеної технології було досліджено роботу станцій в Одеському транспортному вузлі, у якому розташовані вісім морських портів, три річкових і три міжнародні поромні переправи і який за наявними та прогнозованими обсягами вантажопотоків, що ним проходять, є одним із найбільших серед транзитних коридорів прямування з південних морів до країн Балтії та Скандинавії. Інтенсивні темпи розвитку акваторії та інфраструктури порту, у тому числі для глибоководних суден, а також спеціалізація порту з обробки контейнерних потоків та наявність технічних потужностей для спеціалізованих та насипних вантажів підвищують значення вузла у міжнародній транзитній транспортній системі країни. Схему Одеського вузла наведено на рис. 4.

Як видно зі схеми підходів до Одеського вузла, до припортової вантажної станції Одеса-Порт, яка обслуговує найбільший позакатегорійний на чорноморському узбережжі Одеський міжнародний торговий порт, надходять вагонопотоки з двох сортувальних станцій – Одеса-Застава I та Одеса-Сортувальна. Враховуючи обсяги вагонопотоків з кожної станції, найбільший інтерес для застосування удосконаленої технології роботи сортувальної станції становить найбільша станція у вузлі – позакласна вузлова сортувальна станція Одеса-Застава I, яка формує найбільші обсяги

вагонів на станцію Одеса-Порт, де відбувається їх подальше направлення як безпосередньо до порту, так і на контейнерний термінал та судноремонтний завод. Саме через наявність різнопланової сортувальної роботи на цій станції, а також через відсутність сортувального пристрою на станції виникає необхідність скорочення кількості технологічних операцій і

тривалості їх виконання з вагонами міжнародного значення, які прямують у порт. Слід зазначити, що з 2003 року припортова станція і порт працюють узгоджено за Єдиним технологічним процесом роботи на основі взаємної інформації та єдиної системи оперативного планування, контролю і аналізу роботи.

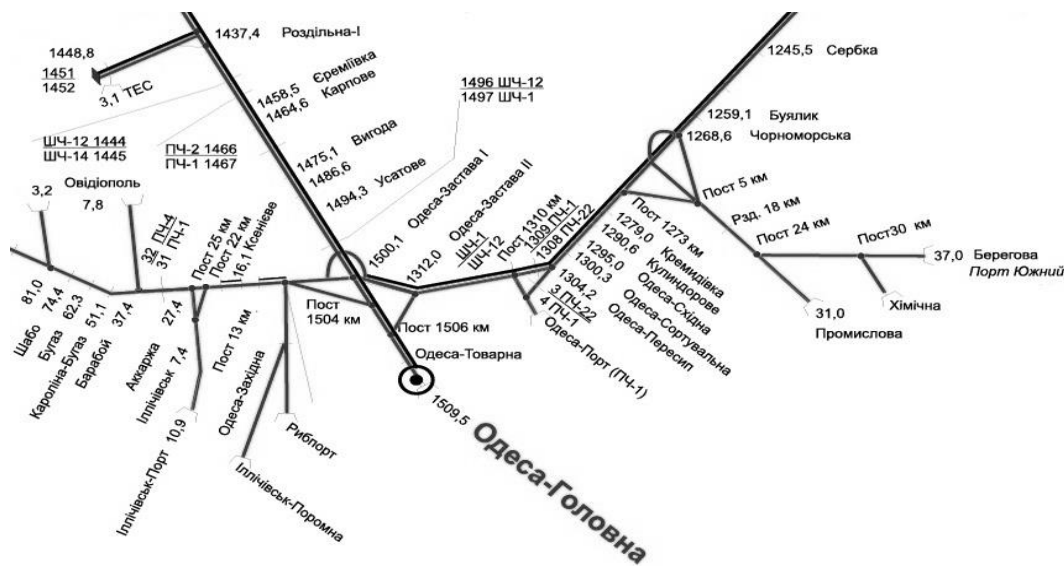


Рис. 4. Схема Одеського вузла

При будівництві припортових станцій їх технічне оснащення у першу чергу спеціалізувалось для переробки імпорتنних вантажів, кількість яких переважала у другій половині минулого сторіччя над експортними. Але сучасний характер роботи портів змінився із переробки імпорту на експорт. Особливо різко змінився характер роботи на основних портах країни — Південному, Одеському, Іллічівському і Миколаївському. Така різка зміна характеру роботи портів не могла не позначитися негативно на роботі станцій, що їх обслуговують. Окремі припортові вантажні станції наразі не справляються з переробкою необхідних обсягів вантажів. Значно розширилася номенклатура вантажів, що розвантажуються в морських портах. У результаті на залізниці різко

збільшилися обсяги сортувальної і маневрової роботи з підбору і розстановки вагонів на численних фронтах і дільницях портів.

Як показує аналіз [5], технічні потужності припортових станцій при середніх величинах затримок вагонів можуть забезпечити безперерійну роботу лише на 50-70 %, що спричиняє незадовільне забезпечення порту вагонами з урахуванням одночасної обробки суден при їх згущеному підході. У цьому випадку залізницею слід забезпечити достатню кількість вагонів з вантажами виходячи з умови, що судна не повинні простоювати. Ця умова виникає через високу вартість простою суден в очікуванні обробки у порівнянні з вартістю простою вагона приблизно у 10000 разів.

Сортувальна станція Одеса-Застава I має великий колійний розвиток, який складається з 4 приймально-відправних парків, сортувально-відправного парку, парку відстою та шлюзового парку. Місце розташування станції зумовлює характер її роботи – формування поїздів за напрямками Усатове, Одеса-Застава II, Одеса-Товарна, і далі по станціях вузла відбувається обслуговування великої кількості під'їзних колій. Розташування приймально-відправних парків відносно сортувально-відправного та їх спеціалізація щодо напрямків поїздів, що у них обслуговуються, дає змогу відокремити виконання сортувальної роботи з вагонами місцевого призначення від вагонів за іншими напрямками. Так, з 24 колій сортувально-відправного парку (з них 2 ходові та 1 несправна) 12 колій мають спеціалізацію, у тому числі напрямку Одеса-Порт, з яких 4 використовуються тільки для цього призначення, а решта – і на інші напрямки.

Процес функціонування сортувальної станції Одеса-Застава I, характер роботи якої дозволяє розглядати її як і будь-яку іншу сортувальну станцію, яка формує поїзди на припортову станцію, було покладено в основу створення імітаційної моделі у мережах Петрі з метою дослідження як технологічних процесів на станції, так і визначення тих технологічних параметрів, значення яких формують основу визначення доцільності впровадження удосконаленої технології обробки міжнародних вагонопотоків на цій станції. До таких параметрів належать ті, що кількісно залежать від проведення удосконаленої технології і за своїми значеннями відрізняються від аналогічних, визначених при існуючій технології: загальна тривалість перебування експортних вагонів у системі «сортувальна станція – припортова станція – районні парки порту» (зокрема тривалість перебування вагонів на сортувальній станції під сортуванням, $t_{\text{сорт}}^{\text{cc}}$; тривалість

обробки вагонів на вантажній припортовій станції, $t_{\text{обр}}^{\text{cc}}$), зайнятість колій сортувального парку сортувальної станції, z ; резерв переробної спроможності припортової станції, $N_{\text{рез}}$; кількість груп для подачі та величина кожної групи призначенням на причали та вантажні fronti порту, відповідно $n_{\text{нод}}, m_{\text{нод}}$). Визначення цих параметрів проводиться шляхом задання умов функціонування станції та дослідження їх змін, викликаних застосуванням тих умов, що формують процес застосування удосконаленої технології роботи станції.

Розглядаючи такий параметр, як тривалість руху вагонопотоків, як зовнішній некерований параметр для системи «сортувальна станція – припортова станція – районні парки порту» доцільним є управління таким параметром, як тривалість перебування вагонів у переробці на сортувальній станції. Тому ефективність роботи системи накладає допустимі межі значень цієї величини як на зовнішній керований параметр техніко-технологічних характеристик функціонування сортувальної станції.

Дослідження функціонування системи доцільно проводити у два етапи: спочатку проводити моделювання роботи сортувальної станції з аналізом отриманих значень, а потім окремо припортової. Такий спосіб зумовлений особливостями побудови моделей у мережах Петрі при необхідності отримання результатів моделювання на кожному його етапі, що має принципове значення. Так, деякі вихідні параметри при моделюванні роботи сортувальної станції є вхідними даними для проведення моделювання роботи припортової вантажної станції (зокрема, кількість та склад поїздів, сформованих на сортувальній станції призначенням на припортову).

Процес імітаційного моделювання передбачає наявність вихідних даних, що формують умови для проведення моделю-

вання. Серед сукупності технічних та технологічних показників роботи станцій для проведення моделювання роботи сортувальної станції вхідними параметрами є:

- 1) розмір вхідного поїздопотоку на станцію, N_{ex}^{cc} ;
- 2) частка експортних вагонів у цих поїздах призначенням у порти через припортову станцію, δ ;
- 3) кількість парків та колій у них для приймання поїздів, відповідно p^{cc} та n_p^{cc} ;
- 4) кількість маневрових локомотивів, які працюють на сортувальній станції, L_{cc} ;
- 5) кількість колій у сортувальному парку станції, на які можливий розпуск составів, n_c^{cc} .

Для проведення моделювання роботи припортової станції вхідними параметрами є:

- 1) розмір вхідного поїздопотоку на припортову станцію, N_{ex}^{ec} ;
- 2) частка експортних вагонів у цих поїздах призначенням у порти через припортову станцію, δ ;
- 3) кількість колій для приймання поїздів, та n_p^{ec} ;
- 4) кількість маневрових локомотивів, які працюють на припортовій станції, L_{ec} ;
- 5) кількість колій у сортувальному парку станції, на які можливий розпуск составів, n_c^{ec} .

Фрагменти імітаційних моделей наведено на рис. 5, а, б.

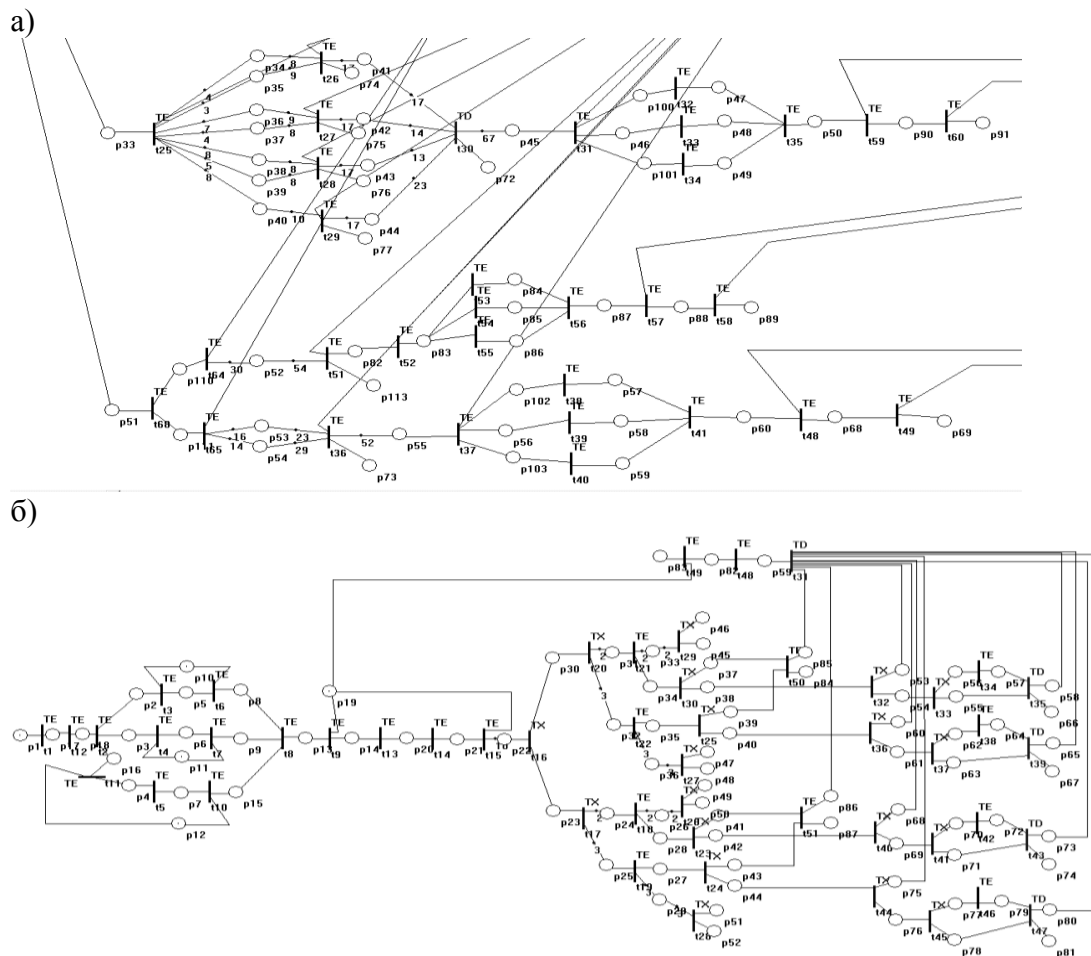


Рис. 5. Фрагменти імітаційної моделі роботи:
а – сортувальної станції, б – припортової станції

Існуюча технологія роботи припортової станції передбачає відокремлення сортувальної роботи з місцевими вагонами та вагонами призначенням у порт ще під час обслуговування состава поїзда у парку приймання, коли оператор СТЦ та диспетчер залізничної служби порту окремо один від одного проводять розмітку вагонів згідно з поїзними документами та натурним листом. Із загальних 109 хв обробки поїзда по прибутті, які відводяться технологічним процесом роботи припортової станції, операції з обробки документів на вагони призначенням у порт, що можна проводити тільки послідовно з іншими технологічними операціями, проводяться протягом 30-40 хв. Це означає, що підбір груп експортних вагонів для порту на сортувальній станції та подальше їх транспортування окремими передаточними поїздами не тільки прискорить процес переробки таких вагонів у системі «сортувальна станція – припортова станція – районні парки порту», а й значно скоротить простої місцевих вагонів на припортовій станції завдяки виключенню очікування та безпосередньо виконання операцій з обробки документів на експортні вагони. У свою чергу, збільшення подач на вантажні фронти порту збільшить розрахункову тривалість перебування вагонів на вантажному фронті у користуванні портом, але зменшить кількість таких подач, а отже, приведе до скорочення обсягів маневрової роботи на припортовій станції з моменту закінчення операцій по прибутті до моменту подавання груп вагонів на вантажні фронти порту та обсягів маневрової роботи у самому порту завдяки зменшенню кількості перестановок груп вагонів.

Геополітичне розташування Одеської залізниці та станцій на ній дає змогу гнучко змінювати технологію роботи сортувальних станцій на основі оптимального завантаження технічних пристроїв та розвитку інформаційної взаємодії з припортовими станціями і клієнтурою. В

основу інформаційної взаємодії сортувальної станції з припортовою слід покласти електронний документообіг натурного листа та електронної накладної, які на даний час є основою для сортування і розподілу вагонопотоків на обох станціях. Це дозволить під час сортування вагонів підбирати подачі з вагонів не тільки у порт, а й під окремий причал і навіть судно. В одному інформаційному просторі необхідно задіяти сортувальні та припортові станції. Це значно підвищить пропускну спроможність припортових станцій і збільшить обробку експортних вагонів у портах. Таким єдиним інформаційним середовищем для обох станцій можуть стати автоматизовані робочі місця маневрового диспетчера сортувальної станції та диспетчера залізничної служби порту припортової станції, створені на основі електронного документообігу між ними з базою, яка також поєднає у собі інформацію про стан обробки кожного експортного вагона у системі та інформацію про причал або вантажний фронт, на який прямує вагон. Згідно з Угодою про міжнародне вантажне сполучення при перевезенні експортних та імпорتنих вантажів, які прямують через морські порти або прикордонні передавальні станції залізниць України в непрямому міжнародному сполученні, у графі 4 накладної відправник має зробити, а працівник припортової станції, який оформляє перевізні документи, перенести у дорожню відомість і корінець дорожньої відомості у графу «Одержувач» одну з таких позначок:

- при перевезенні експортних вантажів через морські порти – «Для вивезення водним транспортом у ... (зазначається країна і порт призначення)»;

- при перевезенні імпорتنих вантажів через морські порти – «ввезено водним транспортом з ... (вказується країна, порт відправлення)».

Вантажовідправник має право робити у графі 4 інші, не встановлені відповідними

правилами перевезень вантажів на залізничному транспорті, позначки.

Тому для забезпечення якісного підбору груп вагонів за причалами та вантажними фронтами пропонується використання цієї графі для заповнення в єдиному інформаційному просторі.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Процес взаємодії сортувальної та припортової станції при обслуговуванні експортних вагонопотоків вимагає налагодженої технології роботи обох станцій з узгодженням використання

технічних засобів та потужностей сортувальної станції як такої, на яку у процесі удосконалення переходить додаткова переробка вагонів експортного походження призначенням у порт. Раціональне використання кількості та місткості колій сортувального парку, маневрових локомотивів, скорочення тривалості виконання технологічних операцій у системі «сортувальна станція – припортова станція – районні парки порту» визначають ефективність функціонування самої системи та залізниці в цілому.

Список використаних джерел

1. Стратегія розвитку морських портів України на період до 2038 року [Електронний ресурс]: розпорядження Кабінету Міністрів України 11.07.2013 р. № 548. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua>.
2. Шелехань, Г. І. Удосконалення підходу до розрахунку раціональних параметрів процесу обробки вагонопотоків у системі «Сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту» [Текст] / Г. І. Шелехань // Транспортные системы и технологии перевозок. – 2015. – № 9. – С. 72-78.
3. Lu Zhen. Modeling of yard congestion and optimization of yard template in container ports [Text] / Lu Zhen // Transportation Research Part B: Methodological, 2016. - Volume 90. – P. 83-104.
4. Óscar Álvarez-SanJaime, The impact on port competition of the integration of port and inland transport services [Text] / Óscar Álvarez-SanJaime, Pedro Cantos-Sánchez, Rafael Moner-Colonques, José J. Sempere-Monerris // Transportation Research Part B: Methodological, 2016. - Volume 80. – P. 291-302.
5. Болотный, В. Я. Совершенствование схем и технологии работы железнодорожных станций [Текст]: учеб. пособие для вузов / В. Я. Болотный. – М.: Транспорт, 1986. – 280 с.

Шелехань Ганна Ігорівна, асистент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066) 141-54-05. E-mail: shelekhan@email.ua.

Продашук Микола Вікторович, студент факультету математики і інформатики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Тел. (095) 449-71-18. E-mail: np2099@mail.ru.

Anna Shelekhan, Assistant of the Railway Stations and Junctions Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 066-141-05 E-mail: shelekhan@email.ua.

Mikola Prodaschuk, student of Faculty of Mathematics and Informatics in V.N. Karazin Kharkiv National University. Tel. (095) 449-71-18. E-mail: np2099@mail.ru.

Стаття прийнята 27.03.2017 р.

УДК 621.391:681.518

**ТЕХНОЛОГІЧНА ПРОБЛЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЧНОЇ
ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ**

Кандидати техн. наук О. Ю. Каменєв, І. М. Сіроклин, С. О. Змій, асп. О. В. Щєблїкіна

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА РЕГУЛИРОВКИ УСТРОЙСТВ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ МОТОРВАГОННОГО
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Кандидаты техн. наук А. Ю. Каменев, И. Н. Сироклин, С. А. Змий,
асп. Е. В. Щєблїкіна

**TECHNOLOGICAL PROBLEM OF ADJUSTMENT OF DEVICES OF AUTOMATIC
LOCOMOTIVE SIGNALING OF MOTOR-WAVE MOBILE COMPOSITION**

Ph.D. A. Kamenev, I. Siroklin, S. Zmij, grad. O. Shcheblykina

Досліджено особливості технологічного циклу перевірки дії та регулювання пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації моторвагонного рухомого складу на контрольному пункті. Виконано чисельну оцінку проблеми реалізації відповідної технології, пов'язаної з технічним обслуговуванням та ремонтом укорочених електропоїздів, що обумовлює вимушений простій основних виробничих ланок моторвагонного депо під час її виконання. Визначені основні заходи, спрямовані на раціоналізацію роботи контрольного пункту депо за рахунок реконструкції його обладнання.

Ключові слова: електропоїзд, секція, автоматична локомотивна сигналізація, контрольний пункт, випробувальний шлейф, технологія, виробнича ланка, простій, моторвагонне депо.

Исследованы особенности технологического цикла проверки действия и регулировки устройств автоматической локомотивной сигнализации моторвагонного подвижного состава на контрольном пункте. Выполнена численная оценка проблемы реализации соответствующей технологии, связанной с техническим обслуживанием и ремонтом укороченных электропоездов, что обуславливает вынужденный простой основных производственных звеньев моторвагонного депо во время работы. Определены основные мероприятия, направленные на рационализацию работы контрольного пункта депо за счет реконструкции его оборудования.

Ключевые слова: электропоезд, секция, автоматическая локомотивная сигнализация, контрольный пункт, испытательный шлейф, технология, производственное звено, простой, моторвагонное депо.

One of the most important elements of railway automation are the systems of signal auto-adjustment. The most common among them in Ukraine and CIS countries is the automatic locomotive signaling of continuous operation. From its reliable work directly depends on the carrying capacity and safety of the railway traffic. This system is of key importance in the sphere of suburban transport as one of the most socially important transport sector. At the same time, the specifics of maintenance, including the adjustment of automatic locomotive signaling systems in the motorized rolling stock that sells these carriages, are associated with the formation of forced downtime of the main production divisions of motorized depots. That is why the need for co-

correction of this technology becomes obvious, however, in order to justify these measures, a clear numerical calculation of the effect of the obsolete technology on production processes in the depot is needed. In this regard, the study developed a methodology for performing this calculation and determined the average delays in the work of the production units of the motor depot, due to the functioning of the control points of automatic locomotive signaling.

Keywords: *electric train, section, automatic locomotive signaling, control point, test train, technology, production link, simple, motorized depot.*

Вступ. Автоматична локомотивна сигналізація (АЛС) є одним із основних засобів сигнального авторегулювання на залізницях України та близького зарубіжжя. Найбільш поширеною серед таких систем є АЛС неперервної дії (АЛСН), пристроями якої обладнано більше 70 % тягового (ТРС), моторвагонного (МВРС) та спеціального самохідного (ССРС) рухомого складу ПАТ «Укрзалізниця» [1, 2]. Від безперебійного та безпомилкового її функціонування залежить як підтримання пропускнув спроможності залізниць, так і безпека руху поїздів, особливо – в пасажирському секторі перевезень. У свою чергу надійність роботи пристроїв АЛСН прямо пов'язана з якістю її технічного обслуговування (ТО) та ремонту, переважний обсяг яких виконується в умовах депо. У свою чергу вирішальна складова навантаження на виконання зазначеного ТО покладається на контрольні пункти (КП) АЛСН – виробничо-технологічні підрозділи дистанцій сигналізації та зв'язку, розташовані на базі депо (локомотивних, моторвагонних), які виконують комплекс робіт з ТО пристроїв АЛСН, встановлених на локомотивах, головних секціях МВРС або кабінах ССРС, без їх демонтажу та розбирання. Ключовою процедурою, що виконується під час даного ТО, є регулювання пристроїв АЛСН, яка включає перевірку їх дії при подачі різних кодів, виконання спеціальних вимірювань та ряду додаткових заходів [1-5, 7, 8].

На увагу заслуговують особливості обладнання КП АЛСН моторвагонних депо (РПЧ), особливо електропоїздів, де технологічний процес не дозволяє в багатьох випадках виконувати одночасне та

якісне ТО пристроїв АЛСН на двох головних секціях. Враховуючи, що приміські перевезення, реалізовані засобами МВРС, хоч і є збитковими, але залишаються соціально значущим фактором забезпечення життєдіяльності країни, завдання забезпечення їх безперебійного та безпечного функціонування, в тому числі через надійну роботу пристроїв АЛСН, досі є актуальним [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі підвищення надійності та безпечності функціонування систем АЛС та інших систем сигнального авторегулювання присвячено досить багато наукових досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених. Зокрема, в праці [9] запропоновано ряд рекомендацій щодо поліпшення показників роботи сигнального авторегулювання на залізницях Європи. В його основу закладено змінення принципів обробки сигналів – шляхом переходу від аналогового до цифрового методу, що суттєво підвищує завадостійкість використаних систем.

Серйозні науково-технічні заходи щодо удосконалення методів та засобів сприйняття та обробки сигнальної інформації системами АЛС розроблені та запропоновані в роботі [10]. В ній, зокрема, розроблено методи обробки інформації та побудовані математичні моделі каналу передачі вхідного сигнального струму локомотивного приймача, що дозволило урахувати вплив електромагнітних завад в процесі приймання числових кодів АЛСН.

Проблеми оновлення елементної бази АЛС та шляхи його виконання розглянуті та запропоновані, зокрема, в роботах [11-13]. Запропоновані в них заходи полягають

у переході від релейно-контактної до програмованої логіки функціонування пристроїв обробки інформації в системах сигнального авторегулювання, що дозволяє оптимізувати процеси сприйняття та дешифрування кодових сигналів та підвищити експлуатаційну надійність систем.

Проте практично відсутні дослідження, спрямовані на вдосконалення техніки і технології ТО та ремонту систем АЛС. Діюча технологія даного ТО представлена, здебільшого, навчальною літературою та нормативно-технічними документами, зокрема – працями [1, 2, 7, 11] та ін. Вона базується на теоретико-множинному підході та використанні теорії дискретних автоматів. Сформовані в її рамках алгоритми не забезпечують раціонального використання трудових і часових ресурсів виробничих підрозділів, що обумовлює необхідність певних заходів щодо її удосконалення.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є розроблення методики та виконання чисельної оцінки діючої технології регулювання пристроїв АЛСН на секціях МВРС у аспекті її впливу на роботу основних виробничих ланок моторвагонного депо. На його результатах у подальшому мають базуватися заходи, пов'язані із вдосконаленням технологічного процесу ТО і ремонту пристроїв АЛС та інших систем сигнального авторегулювання.

Основна частина дослідження. Технологічний процес перевірки пристроїв АЛСН на головних секціях моторвагонних електропоїздів та дизель-потягів вимагає проведення відповідних процедур на кожній окремій головній секції МВРС. При цьому технологічні канали, на яких МВРС проходить ТО та деповський ремонт, і повздовж яких прокладаються випробувальні шлейфи КП АЛСН, за своєю довжиною повністю вміщують електро- або дизель-поїзд певної максимальної або нормативної довжини. Лише в цьому випадку обидві головні секції

моторвагонних потягів дотягуються приймальними котушками АЛСН до випробувального шлейфа. Але, як свідчить статистика експлуатації МВРС, моторвагонні потяги нормативної довжини в депо експлуатуються лише в «дачний сезон» – коли власники дачних або фермерських господарств масово виїжджають виконувати дрібні сільськогосподарські роботи у свої володіння, тобто в літній час. А в інший час експлуатується переважно МВРС укороченої довжини, зокрема – не десятивагонні, а восьмивагонні та шестивагонні електропоїзди [1, 2, 7, 8]. В таких умовах стаціонарно випробувального шлейфу досягає лише одна кабіна головної секції МВРС, інша знаходиться на певній відстані від шлейфу на технологічній канаві. Відповідно до технологічних карт та інструкції ЦТ-ЦШ-0072 [7] в таких випадках необхідно по чергово регулювати пристрої АЛСН на кожній електросекції, після кожної перевірки переміщати електро- або дизель-поїзд іншою головною секцією до випробувального шлейфу. Такий підхід тягне за собою ряд технологічних негативних наслідків, в першу чергу пов'язаних із витрачанням додаткових часових ресурсів. Проте визначення доцільності подолання зазначених наслідків вимагає чіткого встановлення масштабів порушеної проблеми, виражених в чисельних показниках додатково затрачених ресурсів.

Відповідно до діючої нормативно-технічної документації, схема організації ви-пробувальних шлейфів на КП АЛСН у РПЧ відповідає схемі, зображеній на рис. 1 [7].

Відповідно до наведеної типової схеми прокладання шлейфів, технологічний алгоритм регулювання пристроїв АЛСН на укороченому МВРС у вербальній формі може виглядати приблизно так (на прикладі восьми- або шестивагонного електропоїзда за умови, що довжина технологічних канав розрахована на десятивагонний МВРС):

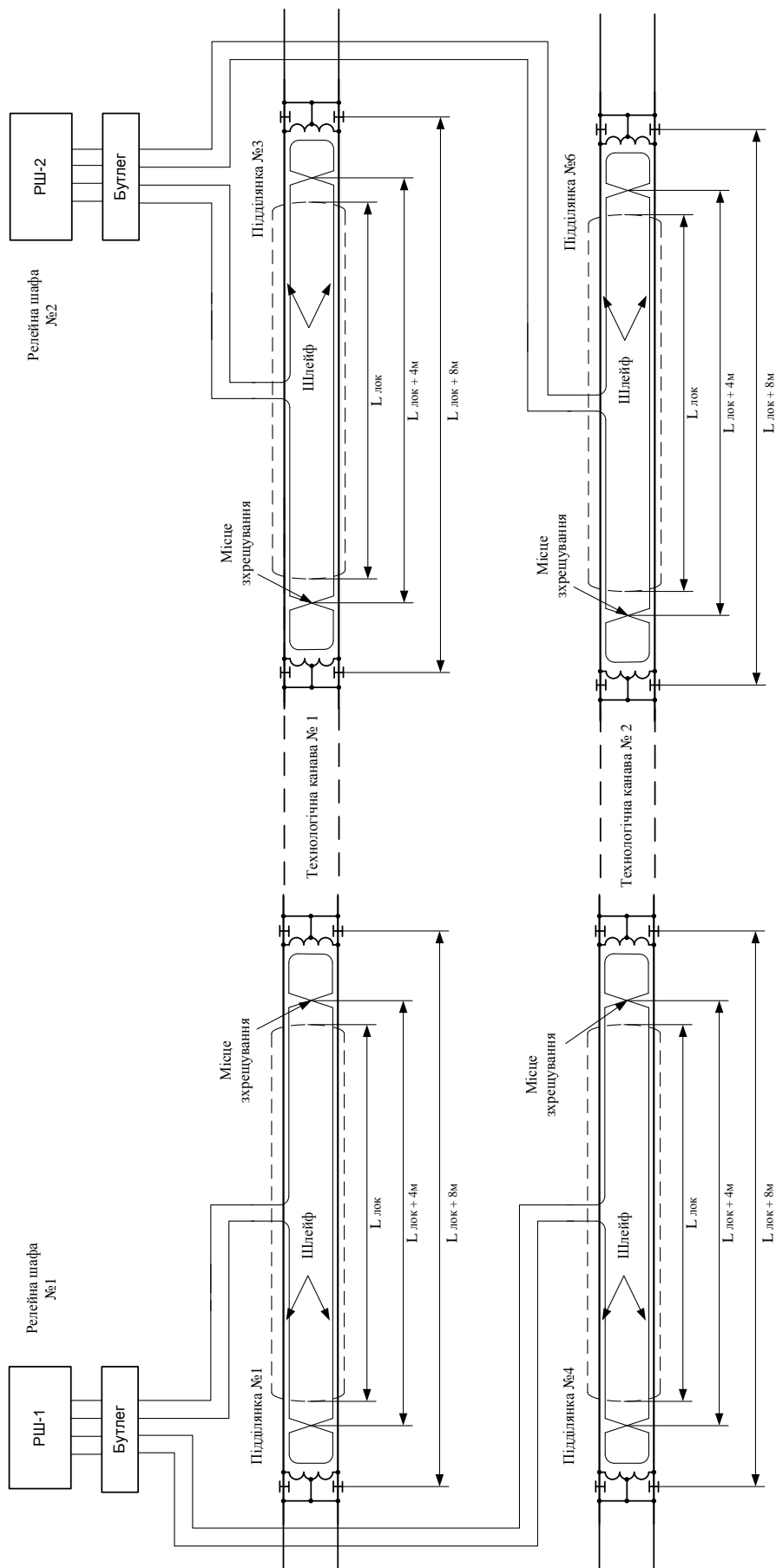


Рис. 1. Схема випробувальної ділянки КП АІСН моторвагонного депо

- заведення восьми- або шестивагонного електропотяга на технологічну канаву таким чином, щоб головна секція, що іде позаду відповідно до руху заходу потяга, зупинилася в зоні випробувального шлейфу релейної шафи РШ-1;

- виконання процедур регулювання пристроїв АЛСН та інших робіт із ТО з використанням випробувального шлейфу на вищезгаданій кабіні електросекції;

- протягання електропотяга впритул до іншого кінця технологічної канави – таким чином, щоб перша за рухом потяга кабіна електросекції знаходилася в зоні випробувального шлейфу релейної шафи РШ-2;

- виконання робіт із перевірки та ТО пристроїв АЛСН для другої електросекції моторвагонного електропотяга.

Схематично така процедура зображена на рис. 2. Всі етапи переміщення та стаціонарного стану МВРС можна розділити на чотири фази:

- фаза 1, для якої характерно початкове переміщення (заїзд) рухомого складу на технологічну канаву;

- фаза 2, що характеризується зупинкою електропотяга головною секцією 01 в зоні дії випробувального шлейфу, підключеного до РШ-1;

- фаза 3, при якій вже після виконання всіх технологічних робіт із секцією 01 відбувається переміщення рухомого складу впритул до іншого кінця канави – щоб секція 09 була в зоні дії шлейфу, підключеного до РШ-2;

- фаза 4 – зупинка електропотяга головною секцією 09 в зоні дії випробувального шлейфу, підключеного до РШ2 з послідуною перевіркою дії пристроїв АЛСН на цій секції.

Фактично забезпечення виконання описаних вище чотирьох технологічних фаз залежить від оперативного персоналу моторвагонного депо – саме вони мають організувати відповідне переміщення із зупинками МВРС до різних шлейфів,

узгоджуючи ці процеси із відповідальним електромеханіком КП АЛСН.

Згідно з інструкціями з охорони праці, при технічному обслуговуванні електрорухомого МВРС всі роботи з ТО і поточного ремонту (ПР) усього рухомого складу на технологічних канавах мають відбуватися [14]:

а) при відключеній високій постійній напрузі 3 кВ або змінній напрузі 25 кВ від контактних проводів над технологічними канавами та опущених струмоприймачах (пантографах) МВРС на канаві – для запобігання ураженню працівників депо, суміжних і підрядних організацій електричним струмом;

б) при розрядженій гальмівній магістралі МВРС – задля запобігання випадковому затисненню пальців рук працівників гальмівними колодками при спрацюванні гальм на технологічній канаві;

в) при проходженні певного часу (не менше 15 хв) після зупинки потяга на технологічній канаві.

Ще при цьому перед подачею високої напруги на контактний провід має бути тричі подане сповіщення по гучномовному зв'язку із відповідним попередженням – не менше ніж за 15 хв до подачі напруги, і ще стільки ж – до початку руху електропотяга. Після оголошення відповідних повідомлень про подачу високої напруги та/або рух електропотяга забороняється виконувати будь-які роботи на технологічних канавах, а продовження виконання робіт дозволяється тільки після гучномовного дозволу чергового по депо (РПЧД).

Таким чином, при виконанні вищенаведеної процедури фазованого переміщення рухомого складу для перевірки дії пристроїв АЛСН (рис. 2) час простою у виконанні робіт із ТО і ПР для кожного електропотяга, що заводиться на технологічній канаві, складатиме

$$T_{\text{пр}} = t_{\text{оч_рш-1}} + t_{\text{пер_рш1-2}} + t_{\text{оч_рш-2}}, \quad (1)$$

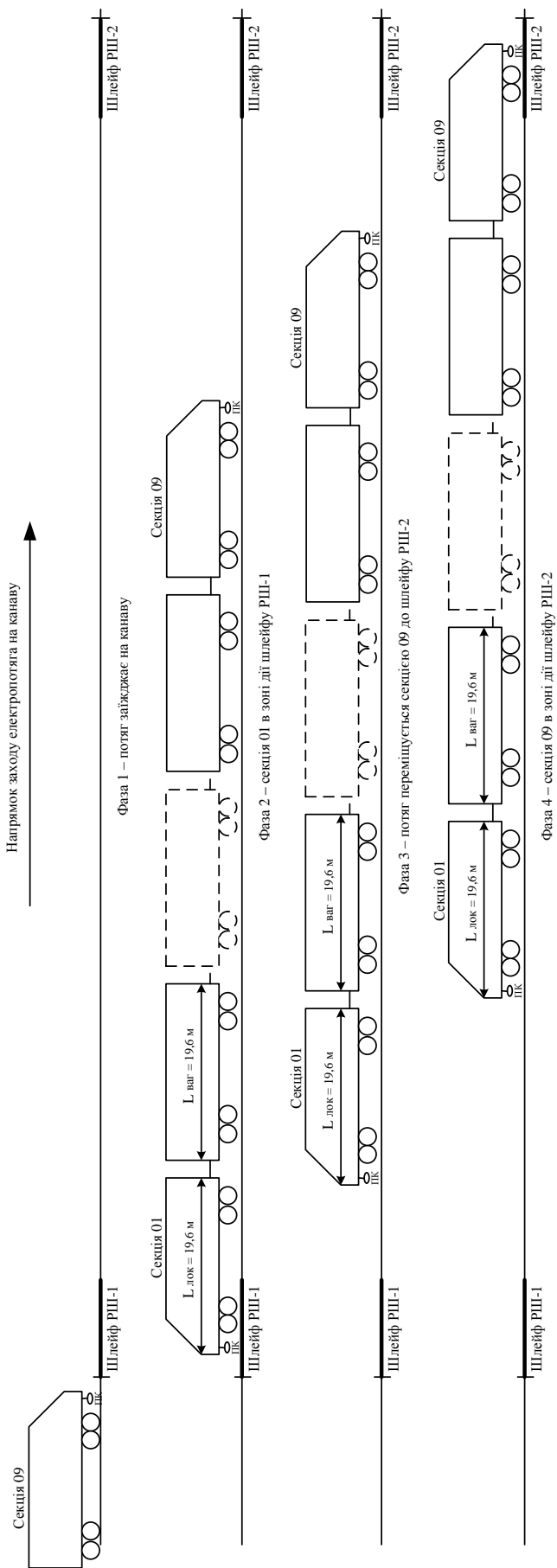


Рис. 2. Технологічні фази переміщення рухомого складу при перевірці пристроїв АЛСН на двох секціях

де $T_{пр}$ – сумарний час технологічного простою;

$t_{оч_рш-1}$ – час очікування після закінчення робіт з ТО АЛСН на випробувальному шлейфі біля РШ-1 (закінчення другої фази);

$t_{оч_рш-2}$ – час очікування дозволу на початок робіт після прибуття потяга секцією 09 на випробувальний шлейф РШ-2 (кінець третьої – початок четвертої фази);

$t_{пер_рш1-2}$ – час переміщення МВРС між шлейфами РШ-1 і РШ-2 (третя фаза).

При цьому в формулі (1) не врахований запобіжний час простою після заходу потяга на канаву перед дозволом на роботи (кінець першої – початок другої фази). Даний простій є невід’ємним етапом технологічного процесу роботи, незалежно від характеру технології обслуговування та ремонту пристроїв АЛСН на моторвагонних секціях РПЧ.

У свою чергу проміжний параметр $t_{пер_рш1-2}$ тривіально дорівнює часові руху електропотяга від початкової точки, що відповідає розміщенню секції 01 над шлейфом РШ-1, до кінцевої точки, що відповідає положенню секції 09 над шлейфом РШ-2, і визначається таким чином [15]:

$$t_{пер_рш1-2} = (L_k - L_{п}) / v_{п} = \Delta L_{кп} / v_{п}, \quad (2)$$

де $v_{п}$ – швидкість руху електропотяга при переміщенні від РШ-1 до РШ-2, м/с;

L_k – довжина технологічної канави, м;

$L_{п}$ – довжина електропотяга, м;

$\Delta L_{кп}$ – довжина шляху переміщення електропотяга від РШ-1 до РШ-2.

Максимальна швидкість електропотяга, відповідно до інструкції з охорони праці РПЧ, при переміщенні повздовж канави, при якій забезпечуватиметься виробнича безпека працівників РПЧ, суміжних та підрядних організацій, становить 5 км/год, тобто з урахуванням того, що в одному кілометрі міститься 1000 м, а в одній годині – 3600 с, або 60 хв,

$$v_{п} = 5000 \text{ м} / 3600 \text{ с} = 1,3888 \approx 1,4 \text{ м/с} = 84 \text{ м/хв.}$$

Довжина технологічної канави, що розрахована на вміщення десятивагонного електропотяга, становить 200 м:

$$L_k = 200 \text{ м.}$$

Довжина потяга визначається кількістю зчеплених у ньому головних, моторних та причіпних вагонів

$$L_{п} = 2 L_{лок} + n_{ваг} L_{ваг}, \quad (3)$$

де $L_{лок}$ – довжина головної секції електропотяга, м;

$L_{ваг}$ – довжина моторного або причіпного вагона електропотяга, м;

$n_{ваг}$ – кількість моторних та причіпних вагонів у електропотязі.

Довжини головних, моторних та причіпних вагонів, відповідно до табл. 1, на електропоїздах приписки РПЧ однакові і становлять 19,6 м [1, 7]:

$$L_{лок} = L_{ваг} = 19,6 \text{ м.}$$

Кількість причіпних вагонів у моторвагонному електропотязі поза дачним сезоном визначається його повною кількістю вагонів у чотири, шість або вісім штук, включаючи головні:

$$n_{ваг} = m_{п} - 2, \quad (4)$$

де $m_{п}$ – загальна кількість головних, моторних та причіпних вагонів у електропотязі поза дачним сезоном: $m_{п} = 8, 6$ або 4 .

Параметр $t_{оч_рш-1}$ залежить від способу переміщення моторвагонного рухомого складу повздовж канави після першої зупинки секції 01 над випробувальним шлейфом релейної шафи РШ-1. Таких способів є два:

- електропотяг переміщуватиметься повздовж канави за рахунок сили власних електродвигунів від енергії, наданої контактним проводом (своїм ходом);

- електропотяг переміщуватиметься повздовж канави за рахунок тяги або

товкання його окремим маневровим локомотивом, що задіяний для виконання маневрової роботи.

При цьому слід враховувати, що перший спосіб передбачає підключення високої напруги до контактної лінії після виконання першого етапу робіт на секції 01 (фаза 2) із необхідною витримкою часу після сповіщення персоналу по гучномовному зв'язку, а також організації

витримки часу перед рухом потяга вже після підключення високої напруги до контактної лінії. В той же час другий спосіб визначає необхідність тільки витримки часу перед початком руху потяга, оскільки напруга до контактної лінії при ньому не підключається. Відповідно параметр $t_{оч_рш-1}$ у загальному випадку визначається так:

$$t_{оч_рш-1} = t_{оч_рш1} = \begin{cases} t_{з_кп} + t_{з_п}, & \text{якщо МВРС рухається "своїм ходом",} \\ t_{з_п}, & \text{якщо МВРС тягне або підштовхує локомотив,} \end{cases} \quad (5)$$

де $t_{з_кп}$ – час затримки на виконання робіт після підключення високої напруги до контактної лінії над технологічною канавою;

$t_{з_п}$ – час затримки на початок руху потяга після попередження.

Як було вище зазначено, тривалість обох затримок (на підключення напруги та на початок руху), згідно з інструкцією з охорони праці, однакова і становить 15 хв:

$$t_{з_кп} = t_{з_п} = 15 \text{ хв} = 900 \text{ с.}$$

Час очікування виконання робіт вже після підходу потяга секцією 09 до шлейфу

РШ-2 $t_{оч_рш-2}$ не залежить від способу переміщення і становить 15 хв:

$$t_{оч_рш-2} = 15 \text{ хв} = 900 \text{ с.}$$

Це пояснюється тим, що відлік часу починається вже після прибуття поїзда до точки РШ-2, коли контактний провід, навіть якщо переміщення відбувалося за його допомогою, вже не задіяний.

Отже, поєднуючи формули (1) – (5), користуючись комутативним законом арифметики, визначається сумарний час вимушеного простою в виконанні робіт на технологічній канаві для кожного електропотяга, що туди зайшов:

$$T_{пр} = v_{п} \times \{L_{к} - [2 L_{лок} + (m_{п} - 2) L_{ваг}]\} + t_{оч_рш-2} + \begin{cases} t_{з_кп} + t_{з_п} \\ t_{з_п} \end{cases}. \quad (6)$$

На підставі здійснених за формулою (6) розрахунків, виконаних з урахуванням визначених вище проміжних значень її складових для різних випадків, формується табл. 1 значень вимушеного простою у виконанні робіт із ТО та ПР електропотягів на технологічних канавах при різних кількостях вагонів та різних способах переміщення повздовж канави.

Як видно із виконаних розрахунків, тривалість простою у виконанні робіт на кожній технологічній канаві для кожного електропотяга, що проходить ТО або ПР у РПЧ, через забезпечення штатного функціонування КП АЛСН залежно від кількості вагонів у електропотязі та способу його переміщення повздовж канави складає від 30,5 до 46,5 хв.

Таблиця 1

Розрахунок часу простою у виконанні робіт з ТО та ПР на технологічних канавах через забезпечення функціонування КП АЛСН

Довжина потяга $L_{п}$, м	$\Delta L_{кл}$, м	Кількість вагонів		Швидкість руху $V_{п}$, м/хв	Спосіб руху	Тривалість простою, хв			
		$n_{ваг}$	$m_{п}$			$t_{пер_рш1-2}$	$t_{оч_рш-1}$	$t_{оч_рш-2}$	$T_{пр}$
156,8	43,2	8	6	84	1	$\approx 0,5$	30	15	45,5
					2	$\approx 0,5$	15	15	30,5
117,6	82,4	6	4	84	1	$\approx 1,0$	30	15	46,0
					2	$\approx 1,0$	15	15	31,0
78,4	121,6	4	2	84	1	$\approx 1,5$	30	15	46,5
					2	$\approx 1,5$	15	15	31,5

При цьому в середньому за робочу зміну процедури ТО та ПР в середньому на двох технологічних канавах на прикладі моторвагонного депо «Харків» Південної залізниці (РПЧ-1) проходять три – п'ять електропотягів. Слід враховувати, що виходячи з типового штатного розкладу цеху КП АЛСН, розпаралелювання робіт із ТО або ПР пристроїв АЛСН навіть на двох канавах різних працівників цеху в більшості випадків неможливе [16]. Тому сумарний час простою слід враховувати як додавання часу простою в виконанні робіт

для кожного окремо взятого електропотяга, що проходить процедури ТО і ПР протягом робочої зміни. Таким чином, загальний сумарний час простою для випадків, коли ТО і ПР в депо проходять за зміну від трьох до п'яти електропотягів, визначається табл. 2.

Як видно із таблиці, сумарний час затримки в роботі виробничих ланок РПЧ через забезпечення нормального функціонування КП АЛСН для різних наборів електропотягів та способів їх переміщення повздовж канав складає від 136,5 до 232,5 хв (від приблизно 2,3 до 4 год).

Таблиця 2

Розрахунок сумарного та середнього сумарного часу простою в роботі виробничих ділянок РПЧ через забезпечення функціонування КП АЛСН

Кількість вагонів, $n_{ваг}$	Спосіб руху	Тривалість простою для одного потяга	Сумарна тривалість простою для кількості потягів, що проходять ТО і ПР протягом зміни РПЧ, хв			Середнє значення, хв
			3	4	5	
8	1	45,5	136,5	182	227,5	182
	2	30,5	91,5	122	152,5	122
6	1	46,0	138	184	230	184
	2	31,0	93	124	155	124
4	1	46,5	139,5	186	232,5	186
	2	31,5	94,5	126	157,5	126
Середнє значення простою для всіх наборів електропотягів для двох способів переміщення, хв						154

Середній час простою для всіх наборів електропотягів і всіх способів їх переміщення складає 154 хв, тобто більше двох з половиною годин (приблизно 2,6 год, тобто 2 год 40 хв). Підрахунок такого середнього значення для двох способів переміщення є коректним, оскільки технологічний цикл роботи депо не може забезпечити постійно однаковий спосіб переміщення – або своїм ходом, або за допомогою маневрового локомотива (ці способи перемежуються залежно від

виниклої конкретної технологічної ситуації). Узагальнено ці процеси демонструються ескізною часовою діаграмою на рис. 3.

Середній простій у роботі виробничих ланок РПЧ-1 при знаходженні секції 01 в зоні дії шлейфу РШ-1, секції 09 в зоні шлейфу РШ-2 та в процесі переміщення при двох способах його реалізації визначався згідно з даними, обрахованими у табл. 1.

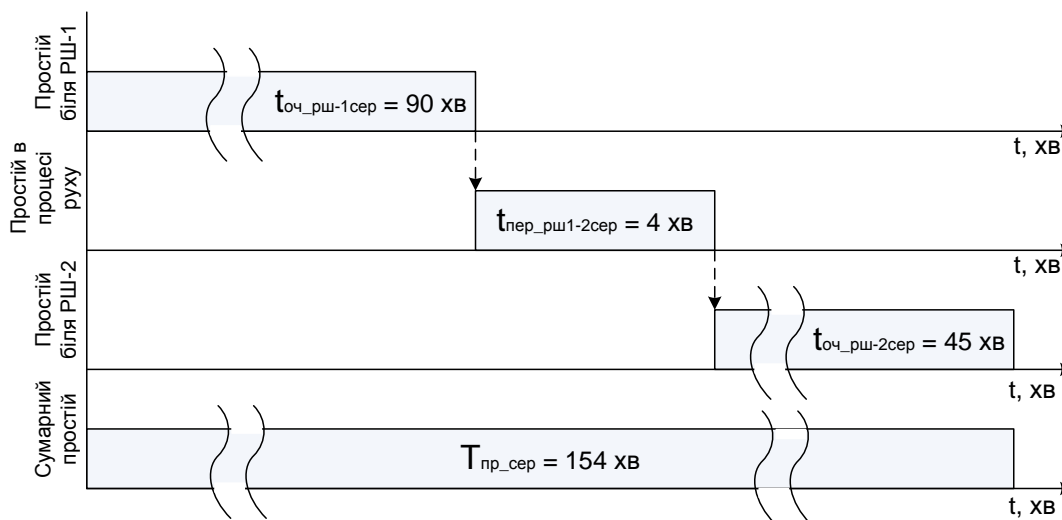


Рис. 3. Часова діаграма середнього простою виробничих ланок через забезпечення роботи КП АЛСН

логічно передбачити, що ні керівництво, ні оперативний, ні технічний персонал РПЧ не сприймають середній час у 2 год 40 хв й максимальний час простою в роботі свої ланок у 4 год як прийнятний. Це обумовлюється як об'єктивними, так і суб'єктивними причинами. До перших належить принципова складність виконати якісне ТО або ПР електропоїзда в умовах вимушених перерв у такий час (до чотирьох годин за зміну), до других – елементарне небажання виконувати «зайву» роботу працівниками моторвагонного депо.

Отже, такий надвеликий простій буде провокувати «формальний» підхід до

виконання ТО пристроїв АЛСН на секціях МВРС (нехтування окремими етапами регулювання для укорочених поїздів), що неодмінно відобразиться на якості ТО, а отже – надійності та безпечності функціонування систем АЛСН у галузі приміських перевезень. Гіпотетично саме цим фактором пояснюється одна з причин великої кількості відмов пристроїв АЛСН (у тому числі збоїв кодів) на залізницях України. Таким чином, необхідно вживати відповідних науково-технічних заходів, спрямованих на удосконалення технології регулювання пристроїв АЛСН на секціях МВРС.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Виконання технології регулювання пристроїв АЛСН на МВРС у повному обсязі є неодмінною умовою їх надійного та безпечного функціонування. Проте, як впливає з результатів дослідження, за таких умов середній простій у роботі основних ланок депо буде становити 2 год 40 хв, через що неодмінно спостерігатиметься порушення техноло-

гічного циклу із ТО пристроїв АЛСН на користь іншим компонентам МВРС. Таким чином, єдиним виходом із критичної ситуації, яка склалася, є корекція технології процесів ТО і ПР пристроїв АЛСН на КП АЛСН, яку можна реалізувати лише в умовах комплексної реорганізації обладнання КП АЛСН, що має бути подальшим напрямком дослідження в рамках порушеної проблеми.

Список використаних джерел

1. Леонов, А. А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации [Текст] / А. А. Леонов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
2. Ананьева, О. М. Вплив неоднорідностей рейкової лінії на приймання сигналів АЛСН [Текст] / О. М. Ананьева, В. О. Сотник // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 77-83.
3. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка [Текст] // А. М. Брылеев, О. Поупе, В. С. Дмитриев [и др.]. – М.: Транспорт, 1981. – 319 с.
4. Нормативні акти з безпеки руху поїздів [Текст] / Держ. адміністр. залізничного транспорту України. Головне управління безпеки руху та екології. – К.: Транспорт України, 2004. – 223 с.
5. Bruhwiler, A. Signal und Draht [Text] / A. Bruhwiler, H. Schluneger. – 2005. – № 3. – P. 12-16.
6. ПАТ «Укрзалізниця». Загальна інформація. Департамент приміських пасажирських перевезень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.uz.gov.ua/about/general_information/main_departments/department_of_suburban_passenger_transportation/ – Загол. з екрана. – (Дата звернення: 12.03.2017).
7. Інструкція з технічного обслуговування локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу (АЛС) і пристроїв контролю пильності машиніста на залізницях України. ЦТ-ЦШ-0072 [Текст] // Затв. Держ. адміністр. залізничного транспорту України № 279-Ц від 01.12.2003 р. – К., 2004. – 92 с.
8. Казаков, А. А. Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов [Текст] / А. А. Казаков, В. Д. Бубнов, Е. А. Казаков. – М.: Транспорт, 1995. – 320 с.
9. Emery, D. Enhanced ETCS L2/L3 control system [Text] / D. Emery // Advanced train control systems. – Southampton: WIT Press, 2010. – P. 113-122.
10. Сотник, В. О. Удосконалення методів та засобів дешифрування інформаційних сигналів систем автоматичної локомотивної сигналізації [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту / В.О. Сотник; [Українська державна академія залізничного транспорту]. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – 186 с.
11. Jansen, D.N. The impact of GSM-R on railway capacity [Text] / D.N. Jansen, S.G. Klages, E. Wendler // Advanced train control systems. – Southampton: WIT Press, 2010. – P. 143-153.

12. Гончаров, К. В. Синтез цифрового локомотивного приемника автоматической локомотивной сигнализации [Текст] / К. В. Гончаров // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 1. – С. 30-38.

13. Бабаєв, М. М. Аналіз існуючих вітчизняних і закордонних систем АЛС на залізничному транспорті [Текст] / М. М. Бабаєв, В. О. Сотник // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 116. – С. 120-127.

14. Правила безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України. ЦШ-0030 [Текст] // Затв. Держ. адміністр. залізничного транспорту України № 288-Ц від 17.11.2003 р. – К., 2004. – 155 с.

15. Эксплуатационные основы железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: учебник / Вл.В. Сапожников, И.М. Кокурин, В.А. Коновалов [и др.]; под общ. ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2006. – 248 с.

16. Типові норми часу на технічне обслуговування пристроїв СЦБ [Текст] // Затв. Держ. адміністр. залізничного транспорту України № 162-ЦЗ від 02.11.2010 р. – К., 2011. – 151 с.

Каменєв Олександр Юрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-32.

E-mail: alexstein@meta.ua.

Сіроклин Іван Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-32.

E-mail: seroklin.iv@gmail.com.

Змій Сергій Олексійович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-32.

E-mail: onilsergey@yandex.ua.

Щебликіна Олена Вікторівна, аспірант кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-32.

E-mail: elenka_12_90@mail.ru.

Kameniev Alexandr Jurjevich, Ph.D.(Eng.), associate professor of department of automatic and computer remote control of train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-32.

E-mail: alexstein@meta.ua.

Siroklin Ivan Mikolajovich, Ph.D.(Eng.), associate professor of department of automatic and computer remote control of train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-32. E-mail: seroklin.iv@gmail.com.

Zmij Sergij Olexijovich, Ph.D.(Eng.), associate professor of department of automatic and computer remote control of train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-32. E-mail: onilsergey@yandex.ua.

Shcheblykina Olena Viktorivna, graduate of department of automatic and computer remote control of train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-32. E-mail: elenka_12_90@mail.ru.

Стаття прийнята 27.03.2017 р.

УДК 629. 424. 3

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ДИЗЕЛІВ

Д-р техн. наук О. Б. Бабанін, асп. О. В. Буцький

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ

Д-р техн. наук А. Б. Бабанин, асп. А. В. Буцкий

ANALYSIS OF METHODS OF DIAGNOSING OF THE FUEL EQUIPMENT OF DIESEL ENGINES

Doct. of techn. sciences A. Babanin, asp. A. Butskiy

Наведено аналіз методів діагностики паливної апаратури тепловозних дизелів. Розглянуто принцип діагностики певними методами, параметри, за якими ведеться діагностика паливної апаратури, а також недоліки того чи іншого методу. Проаналізовано можливість діагностування загалом усієї паливної системи або певних її складових (форсунки, паливні насоси високого тиску та ін.) тим чи іншим методом. Показано застосування методів для діагностики конкретних вузлів паливної системи.

Ключові слова: форсунка, діагностика, методи, дефект, технічний стан, паливна апаратура.

Приведен анализ методов диагностики топливной аппаратуры тепловозных дизелей. Рассмотрен принцип диагностики определенными методами, параметры, по которым ведется диагностика топливной аппаратуры, а также недостатки того или иного метода. Проанализирована возможность диагностирования всей топливной системы или отдельных ее составляющих (форсунки, топливные насосы высокого давления и др.) тем или иным методом. Показано применение методов для диагностики конкретных узлов топливной системы.

Ключевые слова: форсунка, диагностика, методы, дефект, техническое состояние, топливная апаратура.

The analysis of methods of diagnostics of the fuel equipment of diesel engines. The principle of diagnosis of defined methods that have parameters which are diagnostics of the fuel equipment, as well as disadvantages of either of the methods. Analyzed the possibility of diagnosing even the whole fuel system or its individual components (nozzles, fuel pumps, etc.) by one method or another. The article shows the application of methods for diagnostics of specific components of the fuel system. Analyzed the possibility of using fractal analysis for the processing of the results of vibroacoustic diagnosis method to prevent the occurrence of defects of fuel equipment. Given the use of the Hurst exponent to assess the behavior of the resulting dataset in the vibroacoustic diagnostics diagnostic algorithms for vibroacoustic method, namely determining the current technical condition based on the comparison of the obtained data with the reference.

Keywords: injector, diagnostics, methods, defect, maintenance, fuel equipment.

Вступ. Найважливішим напрямком підвищення ефективності роботи тепловоза

є поліпшення техніко-економічних показників його дизеля. Одним зі шляхів

вирішення вищевказаної задачі є вдосконалення конструкції, ремонту і технічного обслуговування системи паливоподачі. Істотне погіршення потужнісних, паливно-економічних показників дизелів пояснюється в першу чергу зміною технічного стану елементів паливних систем, у тому числі і конкретно форсунок. На якість роботи паливної апаратури впливають різні експлуатаційні чинники: характер і обсяг виконуваних робіт, кліматичні умови роботи дизеля, експлуатаційні показники палив, прийнята система технічного обслуговування і ремонту, якість і наявність нормативно-технічної документації і технічних засобів обслуговування дизелів, якість виконання правил експлуатації і технічного обслуговування локомотивів. До теперішнього часу створені певні наукова і технічна основи оцінки якості роботи паливної апаратури і забезпечення її надійності в процесі експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Паливна система тепловозного дизеля є конструктивно складною системою, до якої ставляться високі вимоги надійності та яка працює в складних умовах. Від якості роботи паливної системи залежить робота дизеля та відповідність його техніко-економічних показників. Для забезпечення якісної роботи паливної апаратури необхідно своєчасно виявляти і навіть прогнозувати несправності, що виникають або можуть виникнути в подальшій експлуатації. Вирішення цієї задачі лягає на плечі діагностики паливної апаратури. Аналізуючи наукові роботи науковців, пов'язані з проблемою діагностики, не тільки українських видань, а й зарубіжних, можна побачити, що проблемі діагностики паливної апаратури приділяється певна увага.

Розроблені і введені в роботу певні методи діагностики та діагностична апаратура, створені технологічні процеси діагностики. Але усе це не дає змоги

забезпечити високий рівень діагностики паливних систем, а отже, й своєчасно виявити та спрогнозувати певні несправності з причин, наприклад, непрямих методів вимірювання діагностичних параметрів, недосконалості діагностичної апаратури та ін. Ураховуючи це, можна бачити, що проблема якісної діагностики існує, а також існує необхідність її аналізу та наукового вирішення.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою та завданням дослідження є аналіз існуючих методів діагностики форсунок тепловозних дизелів.

Основна частина дослідження. До методів контролю технічного стану паливної апаратури з позиції діагностування ставляться такі вимоги:

- забезпечення достатньої достовірності;
- встановлення узагальнених параметрів, кількість яких повинна бути менша від загальної кількості параметрів, які повністю характеризують стан об'єкта діагностування;
- визначення несправності за узагальненими параметрами;
- забезпечення високої оперативності та автоматизації процесу діагностування;
- простота і застосовність в умовах депо [5-7].

Різноманіття методів діагностування паливної апаратури обумовлено двома причинами: складністю структури діагностування, що визначається складністю ПНВТ, форсунок і нагнітального трубопроводу високого тиску як об'єктів діагностування, і різноманітністю завдань технічної діагностики у відповідності до вимог, що ставляться до системи технічного обслуговування і ремонту паливної апаратури [8].

Для оцінки технічного стану паливної апаратури застосовуються різні методи діагностування, наведені у таблиці.

Класифікація методів діагностування паливної апаратури

Класифікаційні ознаки	Методи діагностування
Задачі діагностування	Перевірка працездатності; перевірка правильності функціонування; пошук дефектів
Застосування діагностичних засобів	Органолептичні; інструментальні
Характер вимірювання параметрів	Прямий; непрямий
Періодичність діагностування	Регламентний; заявочний; безперервний
Умови проведення діагностування	Польові; станція ТО; безмоторні
За ступенем розбирання об'єкта діагностування	Розбірна; нерозбірна
Режим роботи об'єкта	При сталому режимі; при несталому режимі; при статодинамічному режимі
Діагностичні параметри	Параметри робочого процесу; параметри супутніх процесів; структурні параметри
Використовуваний фізичний процес	Віброакустичний; магнітоелектричний; спектрографічний; тепловий; гідравлічний; газоаналітичний; кінематичний; інші

При пошуці дефектів методи діагностування дають змогу виявити місце, вид і причину дефекту (знос плунжерних пар, розрегулювання тиску впорскування форсунки, циклової подачі, кута випередження впорскування і т.д.).

За ступенем розбирання об'єкта діагностування методи поділяються на розбірні і нерозбірні.

Розбірні методи застосовуються при оцінці рухомості плунжерної пари, голки розпилювача, вимірювання зносу різних деталей паливної апаратури.

Методи безрозбірної діагностики, як правило, основані на непрямих вимірах структурних параметрів при установленні датчиків або діагностичних пристроїв зовні об'єкта, що діагностується, без зняття його з дизеля.

Методи діагностування за параметрами супутніх процесів дають можливість побічно визначати ті ж параметри робочих процесів, а також структурні параметри деталей, якщо їх не можна або недоцільно вимірювати безпосередньо. У цьому випадку

вимірюють показники процесів, що генеруються робочими процесами. Це процеси вібрації і шуму, нагрівання або охолодження. Сюди ж можна віднести методи діагностування з аналізу забруднення палива продуктами зносу («метал у середовищі»), газового аналізу. Точність такого вимірювання параметрів стану нижча, ніж при діагностуванні за параметрами робочих процесів.

Методи діагностування за структурними параметрами дають змогу шляхом прямих вимірювань визначати знос деталей, зазори в їх сполученнях, значення регульовальних параметрів. В основі цих методів лежить вимірювання геометричних розмірів, взаємного переміщення деталей або геометричних розмірів деталі (сполучення).

За використовуваним фізичним процесом методи діагностування діляться на віброакустичний, спектрографічний, електромагнітний, тепловий, гідравлічний, газоаналітичний, кінематичний і деякі інші.

Кожен метод призначений для контролю певного фізичного процесу і

оснований на застосуванні певного фізичного явища. Класифікація методів за використаним фізичним процесом дає змогу найбільш повно виявити можливості і технічну характеристику відповідного методу діагностування.

Фізичний процес характеризується зміною фізичної величини в часі. В основі гідравлічного – тиск; теплового – температура; віброакустичного – амплітуда коливань на певних частотах і т. д.

Вібродіагностика форсунок – апробований метод оцінки технічного стану [9-11]. Те ж можна віднести до паливних насосів високого тиску.

Досить повну інформацію про динаміку голки форсунки в процесі впорскування палива мають максимальні віброприскорення форсунки, що виникають при підйомі і посадці голки розпилювача. Так, швидкість підйому і посадки голки розпилювача складає 1,6 ... 2,2 м / с [9]. Переміщення голки з такою швидкістю, ударний характер її підйому і посадки викликають інтенсивне зіткнення і формування вібраційних імпульсів, що реєструються вібродатчиком, який установлюють на торець форсунки.

Магнітоелектричний метод діагностування за параметрами переміщень рухомих деталей. Метод оснований на реєстрації зміни магнітного потоку в попередньо намагнічених деталях діагностичного механізму. ЕРС, яка індукується в магніточутливому елементі датчика, пропорційна швидкості руху намагніченої деталі. Метод дає змогу реєструвати переміщення, фазові параметри деталей агрегатів, визначати відхилення цих параметрів від номінальних значень. При діагностуванні цим методом можуть виникнути складності у зв'язку з нестабільністю магнітних властивостей діагностичного елемента [9]. Визначення параметрів руху елементів форсунки (голки, штанги), за яким можна більш точно визначити характеристики паливоподачі, викликає серйозні труднощі.

У зв'язку з цим можна припустити, що при цьому методі можна отримати обмежену інформацію про стан паливної апаратури.

Кожен з розглянутих методів діагностування дає змогу дати оцінку технічному стану паливної апаратури тільки на момент діагностування та не дає можливості спрогнозувати появу дефектів або несправностей у майбутньому. Прогнозування розвитку дефектів паливної апаратури у майбутньому дає змогу застосувати певні заходи до елементів паливної апаратури для попередження їх раптової відмови.

Спрогнозувати розвиток дефекту в паливній апаратурі дає змогу подальший аналіз результатів віброакустичної діагностики за допомогою фрактального аналізу.

Фрактали – це структури, які, незважаючи на свою крайню нерегулярність на різних масштабах, виглядають приблизно однаково і які широко розповсюджені. Окремою, важливою галуззю застосування фракталів є аналіз часових рядів: послідовностей вимірювання фізичних величин, упорядкованих за часом. Як правило, інформація про поведінку складних систем виходить у вигляді саме таких експериментальних даних. Часовий ряд є послідовністю значень досліджуваної величини, зафіксованих через рівні проміжки часу. Виходячи з того, що отриманий віброакустичний сигнал є упорядкований за часом, його можна вважати часовим рядом і застосовувати до нього фрактальний аналіз.

Задовго до появи фракталів процеси, що мають властивість

$$((x(0)-x(t))^2) \sim t^{2H}, \quad (1)$$

Херст виявив при вивченні річних варіацій стоків річок. Він установив, що для різних річок показник H однаковий і дорівнює 0,73. Показник H прийнято називати показником Херста.

Локальна розмірність графіка процесу
(1) $D=2-H$, а фрактальна розмірність траєкторії руху в просторі розмірності N є

$$D = \min\left(N, \frac{1}{H}\right). \quad (2)$$

У залежності від величини H внесок в узагальнений процес віддалених за часом ділянок вихідного процесу або збільшено, або зменшено. У припущенні $x_H(0) = 0$ з (1) випливає, що для довготривалої кореляції процесу

$$\frac{(-x_H(-t)x_H(t))}{x_H^2(t)} = 2^{2H-1} - 1 \quad (3)$$

видно, що при $H = 1/2$ (вінерівський процес) кореляції немає, при $H > 1/2$ позитивна кореляція, а при $H < 1/2$ кореляція негативна. Таким чином, суть узагальнення у відмові від припущення про незалежність приростів на непересічних інтервалах, процес має пам'ять. При $H > 1/2$

процес персистентний (зберігає тенденцію) при $H < 1/2$ – антиперсистентний.

Алгоритм віброакустичного діагностування може бути поданий у вигляді функціональної схеми (рисунок) [14].

Як і будь-який алгоритм або схема розпізнавання образів, схема віброакустичного діагностування технічного об'єкта складається з власне об'єкта діагностування з набором технічних станів, що підлягають розпізнаванню, набору діагностичних ознак, вирішальних правил і правил прийняття рішення.

Вимірювання забезпечує вихідною інформацією про стан об'єкта, що міститься у вимірювальних сигналах.

Формування діагностичних ознак технічного стану об'єкта та окремих його елементів дає змогу виділити такі характеристики вимірюваних сигналів, які мають необхідні виборчі властивості до заданого класу дефектів, що підлягають розпізнаванню.

Для кожного класу технічних станів формуються еталони (усереднені для даного класу значення діагностичних ознак).

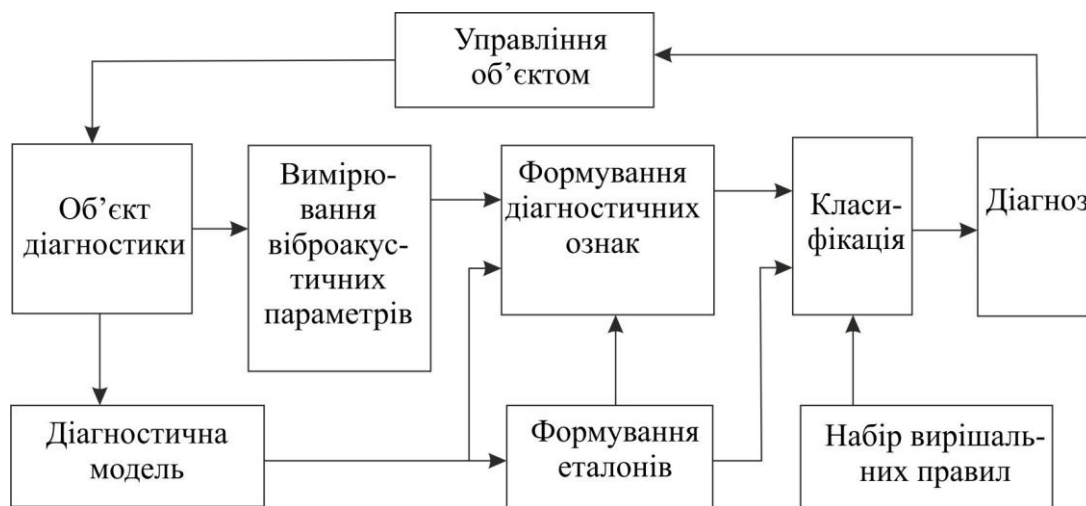


Рис. Функціональна схема системи віброакустичної діагностики

Для формування системи діагностичних ознак і еталонів використовують діагностичну модель об'єкта, яка в ряді випадків полегшує

процес пошуку інформативних компонент у досліджуваному сигналі.

Класифікація – набір класифікуючих функцій, з допомогою яких проводиться

розпізнавання параметрів віброакустичного сигналу.

Функція прийняття рішень – визначення фактичного стану (постановка діагнозу) об'єкта діагностування і його елементів за поточними значеннями діагностичних ознак. Характеристики зміни останніх у часі є вихідними для реалізації алгоритмів упередження (прогнозу) потенційних відмов.

Функція управління об'єктом у відповідності до прийнятого рішення про його фактичний стан забезпечує: аварійне відключення, переведення на щадний режим, вмикання резервів і т. д.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведений аналіз показав широкий спектр методів технічної діагностики паливної апаратури, переваги та недоліки кожного з методів. У зв'язку з різними механізмами контролю, параметрами, що контролюються, при проведенні технічної діагностики паливної

апаратури необхідно раціонально підходити до вибору методу діагностики для отримання найбільш точної інформації про технічний стан вузла паливної апаратури, що діагностується.

Одним із методів, який дає змогу вирішувати вказані вище задачі та є найбільш вдалим для застосування в умовах локомотивних депо, є віброакустичний метод діагностики. Віброакустичний метод у порівнянні з іншими методами діагностики має вищий ступінь точності, не вимагає при діагностуванні розбирати вузол, що діагностується, а також не потребує додаткових маніпуляцій з діагностованим вузлом, наприклад таких, як намагнічення елементів при діагностуванні магніто-електричним методом. Окрім цього, подальша обробка результатів віброакустичного методу за допомогою фрактального аналізу дає змогу спрогнозувати появу дефектів діагностованого вузла.

Список використаних джерел

1. The CPMPS Diesel Engine Management Support System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080401911500266>.
2. Tribological failure detection and condition monitoring for diesel engines [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043164889902329>.
3. The Laser Doppler Vibrometry in mechatronics diagnostics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1644966515000448>.
4. Research on an on-line wear condition monitoring system for marine diesel engine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X00001286>.
5. Разработка технических средств контроля и технологии формирования комплектов топливной аппаратуры дизелей с учетом гидравлических характеристик элементов [Текст] : отчет о НИР № 749 (заключительный) / Омский институт инженеров железнодорожного транспорта ; рук. работы А. И. Володин. – Омск : ОмИИТ, 1990. – 36 с.
6. Технические средства диагностирования [Текст] : справочник / ред. В. В. Клюев. — М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.
7. Бервинов, В. И. Техническое диагностирование локомотивов [Текст] : учеб. пособие / В. И. Бервинов. – М. : УМК МПС РФ, 1999. – 188 с.
8. Блинов, П. Н. Совершенствование технического обслуживания и ремонта топливной аппаратуры тепловозных дизелей [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / П. Н. Блинов; Омский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Омск : ОмИИТ, 1986. – 178 с.

9. Аллилуев, В. А. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка [Текст] / В. А. Аллилуев, А. Д. Ананьин, В. М. Михлин. – М.: Агропромиздат, 1991. – 367 с.
10. Лиханов, В. А. Снижение токсичности автотракторных дизелей [Текст] / В. А. Лиханов, А. М. Сайкин. – М.: Агропромиздат, 1994. – 224 с.
11. Лышевский, А. С. Системы питания дизелей [Текст] / А. С. Лышевский. – М.: Машиностроение, 1981. – 216 с.
12. Руководство по испытанию и регулировке топливной аппаратуры тракторных, комбайновых и автомобильных дизелей [Текст]. – М.: ГОСНТИТИ, 1990. – 186 с.
13. Pounder's Marine Diesel Engines (Eighth Edition) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750658461500092>.
14. Основы виброакустической диагностики машинного оборудования [Текст]: учеб. пособие / В. Н. Костюков, А. П. Науменко, С. Н. Бойченко [и др.]. – Омск: НПЦ «Динамика», 2007. – 286 с.

Бабанін Олександр Борисович, д-р техн. наук, професор, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (093) 151-73-15.

Буцький Олександр В'ячеславович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (066) 439-22-73.

Babanin, Aleksander Borisovich, doct. of techn. sciences, professor, Ukrainian state university of railway transport. Tel: (093) 151-73-15.

Butskiy Alexander Vyacheslavovich, graduate student of Maintenance and repair of rolling stock. Tel: (066) 439-22-73.

Стаття прийнята 15.03.2017 р.

УДК 621.833: 629.423.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ВІДГУКУ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ ТЯГОВИХ ЗУБЧАТИХ ПЕРЕДАЧ З РІЗНИМИ СТУПЕНЯМИ ЗНОСУ ПРОФІЛІВ ЗУБЦІВ

Асп. В. І. Громов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТКЛИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ТЯГОВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С РАЗНЫМИ СТЕПЕНЯМИ ИЗНОСА ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ

Асп. В. И. Громов

RESEARCH OF SURFACES OF RESPONSE OF INDEXES OF DURABILITY OF THE HAULING GEARING WITH THE DIFFERENT DEGREES OF WEAR OF PROFILES OF POINTS

Postgraduate V. Gromov

Показано, що дослідження поверхонь відгуку показників міцності тягових зубчатих передач має важливе значення для обґрунтованого вибору пар «шестірня-колесо» при здійсненні їх деповських ремонтів. Запропоновано проводити визначення виду поверхонь відгуку та їх дослідження на основі канонічних перетворень узагальнених математичних моделей відповідних показників. В статті наведено результати аналізу поверхонь відгуку

згинних напружень зубців шестерень і контактних напружень зубців тягових зубчатих передач електропоїздів серії ER2P.

Ключові слова: тягові зубчаті передачі залізничного рухомого складу, показники міцності, поверхні відгуку.

Показано, что исследование поверхностей отклика показателей прочности тяговых зубчатых передач имеет важное значение для обоснованного выбора пар «шестерня-колесо» при осуществлении их деповских ремонтов. Предложено проводить определение вида поверхностей отклика и их исследование на основе канонических преобразований обобщенных математических моделей соответствующих показателей. В статье приведены результаты анализа поверхностей отклика изгибных напряжений зубьев шестерен и контактных напряжений зубьев тяговых зубчатых передач электропоездов серии ЭР2Р.

Ключевые слова: тяговые зубчатые передачи железнодорожного подвижного состава, показатели прочности, поверхности отклика.

The urgency of developments aimed at further improvement of repair technologies for traction gears of railway rolling stock is substantiated. As one of the promising areas of such works, studies have been made of the characteristics of gear engagement with the established wear profiles of gear teeth and wheels using generalized mathematical models of the corresponding indicators. Such dependencies, in addition to calculations and evaluation of the considered variants of completing the repair gears, make it possible to obtain the response surfaces of the corresponding indicators of traction gears. The study of such surfaces, the determination of their appearance, and the construction and analysis of binary sections is important for the justified choice of "pinion-wheel" pairs in the repair of traction gears. It is proposed to determine the form of the response surfaces and study them on the basis of canonical transformations of generalized mathematical models of the corresponding indicators. The article presents the results of analysis of the surfaces of the response of flexural stresses of gear teeth and contact stresses of teeth of traction gears of electric trains of ER2R series. It is concluded that in order to obtain a comprehensive picture of the effect of the degree of wear of the tooth and gear tooth profiles on the strength indices, it is necessary to analyze their response surfaces.

Keywords: traction gears of railway rolling stock, strength indicators, response surfaces.

Вступ. На цей час значний обсяг приміських перевезень на мережах залізниць України здійснюється електропоїздами (ЕП), більша частина з яких працює у наднормативний термін. З урахуванням стану оновлення залізничного рухомого складу значна увага приділяється науково-дослідним та дослідно-конструкторським роботам, спрямованим на обґрунтоване подовження встановлених заводами-виробниками термінів експлуатації наявних ЕП [1]. Серед комплексу таких робіт слід виділити розробки, спрямовані на забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності основних конструктивних

модулів секцій ЕП, до яких відноситься екіпажна частина, тяговий привід і, зокрема, тягова зубчата передача (ТЗП) [2]. В цьому плані серед інших актуальних досліджень розглядається подальше удосконалення технологій ремонту ТЗП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досвід деповських ремонтів ТЗП показав, що в експлуатації ЕП інтенсивність зношення профілів зубців парних шестерень і коліс суттєво відрізняється, що ускладнює вирішення завдання обґрунтованого комплектування пар «шестірня-колесо» за умов отримання якісних показників зацеплення та міцності ТЗП.

Тому подальше дослідження впливу ступенів зносу зубців шестірни та колеса на вказані показники відіграє важливу роль у вирішенні такого науково-практичного завдання [3].

При проведенні в УкрДУЗТ комплексних експериментально-розрахункових досліджень ТЗП електропоїздів серії ЕР2Р [4,5] отримані поліноміальні узагальнені математичні моделі (УММ), які описують вплив ступенів зносу на основні показники зачеплення та міцності. Такі залежності використовувались з метою розрахунків і оцінювання варіантів ремонтних ТЗП, що розглядаються. Разом з тим вони додатково дозволяють отримати відповідні поверхні відгуку відповідних показників ТЗП [6].

Дослідження таких поверхонь, визначення їх виду, а також побудова і аналіз бінарних перерізів (ліній рівного виходу відповідних показників в залежності від обраних змінних [7]) має важливе значення для обґрунтованого вибору пар «шестірня-колесо» при здійсненні ремонтів ТЗП.

Визначення мети і задачі дослідження: отримати та дослідити поверхні відгуку показників зачеплення та міцності ТЗП з різними ступенями зносу зубців шестерень та коліс.

Основна частина дослідження. Для розв'язання поставленої задачі використовувались отримані раніше [4,5] УММ вигляду

$$\sigma_{F1} = f(\bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2);$$

$$\sigma_H = f(\bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2),$$

$$\sigma_{F1} = 223,581 + 436,114 \cdot \bar{\Delta}_1 - 455,791 \cdot \bar{\Delta}_2 - 477,417 \cdot \bar{\Delta}_1^2 + 1400,36 \cdot \bar{\Delta}_2^2 - 205,229 \cdot \bar{\Delta}_1 \cdot \bar{\Delta}_2; \quad (1)$$

$$\sigma_H = 638,249 + 492,59 \cdot \bar{\Delta}_1 + 309,257 \cdot \bar{\Delta}_2 - 162,23 \cdot \bar{\Delta}_1^2 + 498,881 \cdot \bar{\Delta}_2^2 - 829,412 \cdot \bar{\Delta}_1 \cdot \bar{\Delta}_2. \quad (2)$$

де σ_{F1} – найбільші згинні напруження зубців шестірни, МПа;

σ_H – максимальні контактні напруження зубців ТЗП, МПа;

$\bar{\Delta}_{1,2}$ – відносний знос профілів зубців шестірни (колеса) за хордою ділильного кола

$$\bar{\Delta}_{1,2} = \frac{\Delta_{1,2}}{\Delta_{1,2 \max}},$$

$\Delta_{1,2} = s_{1,2} - [s_{1,2}]$ – величина зносу зубця шестірни (колеса) за хордою ділильного кола;

$s_{1,2}$ – товщина зубця ремонтної шестірни (колеса) за хордою ділильного кола (визначена експериментально за технологією ремонту);

$[s_{1,2}]$ – допустима за правилами технічного обслуговування, поточного і капітального ремонтів електропоїздів і електросекцій товщина зубця ремонтної шестірни (колеса) за хордою ділильного кола;

$\Delta_{1,2 \max} = s_{H1,2} - [s_{1,2}]$ – величина максимального допустимого зносу зубця шестірни (колеса) за хордою ділильного кола;

$s_{H1,2}$ – товщина зубця нової шестірни (колеса) за хордою ділильного кола.

В дослідженні розглянуті змінні варіювались в інтервалах $\bar{\Delta}_{1,2} = 0..0,6$. Моделі подано у вигляді поліномів другого порядку

За результатами перевірки адекватності УММ (1), (2) (за величиною дисперсії середньоквадратичного відхилення [8]) встановлено, що їх область адекватності відповідає обраному інтервалу варіювання змінних $\bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2$. Це визначило границі розрахункового дослідження з отримання

поверхонь відгуку показників σ_{F1} і σ_H .

Для визначення виду поверхонь відгуку зміни показників σ_{F1}, σ_H необхідно провести канонічні перетворення [9] залежностей (1), (2).

В загальному вигляді вони можуть бути подані у вигляді полінома другого порядку з двома змінними

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (3)$$

y – відповідний до формул (1), (2) показник;

x_1, x_2 – змінні ($\bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2$);

$b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ – коефіцієнти полінома.

Для здійснення канонічних перетворень УММ вигляду (3) необхідною

умовою визначення екстремальної точки C (її координат x_{1C}, x_{2C} , екстремального значення y_C) і відповідного переносу початку координат є рівність нулю частинних похідних показника y за змінними x_1 і x_2 – розв'язання системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = b_1 + 2b_{11} \cdot x_1 + b_{12} \cdot x_2 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = b_2 + 2b_{22} \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Для заміни старих координат x_1, x_2 новими z_1, z_2 , які повернуті на деякий кут відносно старих осей, та встановлення зв'язку між цими координатами розв'язується канонічне рівняння

$$y - y_C = \theta_1 \cdot z_1^2 + \theta_2 \cdot z_2^2, \quad (5)$$

де θ_1, θ_2 – корні характеристичного рівняння

$$\theta^2 + \alpha \cdot \theta + \beta = 0, \quad (6)$$

α, β – відповідні коефіцієнти характеристичного рівняння (7), що визначаються через коефіцієнти полінома (4) за наведеними нижче формулами

$$\alpha = -(b_{11} + b_{22}); \quad \beta = b_{11} \cdot b_{22} - 0,25b_{12}^2; \quad (7)$$

$$z_1 = l_1(x_1 - x_{1C}) + m_1(x_2 - x_{2C}); \quad z_2 = l_2(x_1 - x_{1C}) + m_2(x_2 - x_{2C}), \quad (8)$$

де $l_{1,2}, m_{1,2}$ – косинуси кутів повороту нових осей відносно старих

$$\frac{m_{1,2}}{l_{1,2}} = \frac{2(\theta_{1,2} - b_{11})}{b_{12}}; \quad l_{1,2} = \frac{1}{\sqrt{1 + (m_{1,2}/l_{1,2})}}. \quad (9)$$

Видно, що заміна старих координатних осей на нові передбачає розв'язання характеристичного рівняння (6) і визначення косинусів $l_{1,2}$, $m_{1,2}$ з

використанням залежностей (9). Старі координати x_1 , x_2 зв'язані з новими z_1 , z_2 поданими нижче рівняннями

$$x_1 = l_1 \cdot z_1 + l_2 \cdot z_2 + x_{1C}; \quad x_2 = m_1 \cdot z_1 + m_2 \cdot z_2 + x_{2C}. \quad (10)$$

Результати канонічних перетворень дають можливість визначити екстремальну точку C і класифікувати поверхню відгуку. При цьому задаючи показнику y в рівнянні (3) відповідні фіксовані значення (при встановлених значеннях y_C), будуються бінарні перерізи відповідних поверхонь відгуку (контурні криві рівного виходу), які можуть відповідати наведеним нижче видам [9]:

1. Гіперболічний параболоїд. Отримується у випадку, коли коефіцієнти канонічного рівняння θ_1 , θ_2 мають різні знаки. Центр фігури називається мінімаксом. Контурні криві рівного виходу являють собою гіперболи. Якщо коефіцієнт $\theta_1 > 0$, то вихід $y - y_C$ збільшується при переміщенні вздовж осі z_1 в обидві сторони від центру фігури, а по осі z_2 – зменшується.

2. Еліптичний параболоїд. Коефіцієнти канонічного рівняння θ_1 , θ_2 мають однакові знаки. Центр фігури (екстремальна точка C) є максимумом, якщо такі коефіцієнти від'ємні, або мінімумом, якщо додатні. Криві рівного виходу являють собою еліпси.

3. Стаціонарна височина. Відповідає випадку, коли один з коефіцієнтів, наприклад θ_2 , дорівнює нулю, y_C – вихід в будь-якій точці на осі z_1 . Криві рівного виходу являють собою паралельні прямі.

4. Зростаюча височина (гребінь). Можливі випадки, коли коефіцієнти

полінома (4), наприклад b_{12} , b_{22} , дорівнюють нулю. Тоді рівняння (6) набуває вигляду $y = y_C = \theta_1 \cdot z_1^2 + b_2 \cdot z_2$. Центр фігури лежить на осі z_1 , але віднесений на безмежність по осі z_2 . Криві рівного виходу являють собою параболи.

Результати канонічних перетворень УММ (1), (2) для визначення виду відповідних поверхонь відгуку подано нижче в табл. 1, 2.

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити такі висновки:

1. Для всіх досліджуваних УММ коефіцієнти канонічного рівняння θ_1 , θ_2 мають різні знаки. Тобто поверхнями відгуку контрольованих показників є гіперболічні параболоїди. Контурні криві рівних виходів описуються гіперболами. Для прикладу на рис. 1 показана поверхня відгуку показника σ_{F1} .

2. За результатами досліджень поверхні відгуку показника σ_{F1} та її бінарного перерізу (рис. 2, а) встановлено: координатами екстремальної точки C , в якій функція досягає значення $y_C = \sigma_{F1} = 268 \text{ МПа}$, є $\bar{\Delta}_{1C} = 0,416$ і $\bar{\Delta}_{2C} = 0,193$. Кути повороту нових осей z_1 , z_2 відносно старих $\bar{\Delta}_1$, $\bar{\Delta}_2$ складають $86,9^\circ$. З урахуванням того, що коефіцієнт $\theta_1 = 1406,2 > 0$, вихід $y - y_C$ буде збільшуватися при переміщенні вздовж осі

z_1 в обидві сторони від центру фігури, а по осі z_2 – зменшуватися.

3. За результатами досліджень поверхні відгуку показника σ_H та її бінарного перерізу (рис. 2, б) встановлено, що екстремальна точка C знаходиться за межами області розглядання ($\bar{\Delta}_{1C} = 0,74, \bar{\Delta}_{2C} = 0,305$;

$y_C = \sigma_H = 868$ МПа; кути повороту нових осей z_1, z_2 відносно старих $\bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2$ складають $64,3^\circ$; вихід $y - y_C$ буде збільшуватися при переміщенні вздовж осі z_1 в обидві сторони від центру фігури, а по осі z_2 – зменшуватися).

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів рівняння (3) для дослідження УММ (1), (2)

Показник	b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}
σ_{F1}	223,581	436,114	-455,791	-477,417	1400,36	-205,229
σ_H	638,249	492,59	309,257	-162,23	498,881	-829,412

Таблиця 2

Результати розрахунків за формулами (4)...(9) для канонічних перетворень УММ (1), (2)

Показник	θ_1	θ_2	$\bar{\Delta}_{1C}$	$\bar{\Delta}_{2C}$	y_C	m_1	l_1	m_2	l_2
σ_{F1}	1406,2	-483,3	0,416	0,193	268	-0,998	0,054	0,055	0,999
σ_H	698,6	-362	0,74	0,305	867	-0,903	0,434	0,434	0,901

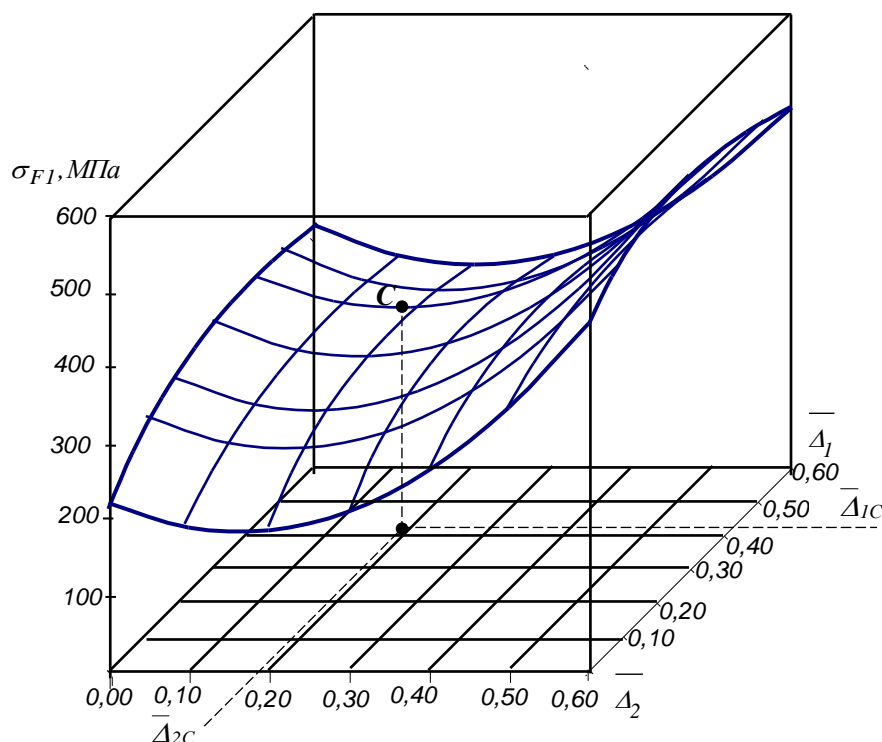


Рис. 1. Поверхня відгуку показника міцності σ_{F1} ТЗП електропоїзда EP2P, яка відповідає УММ (1)

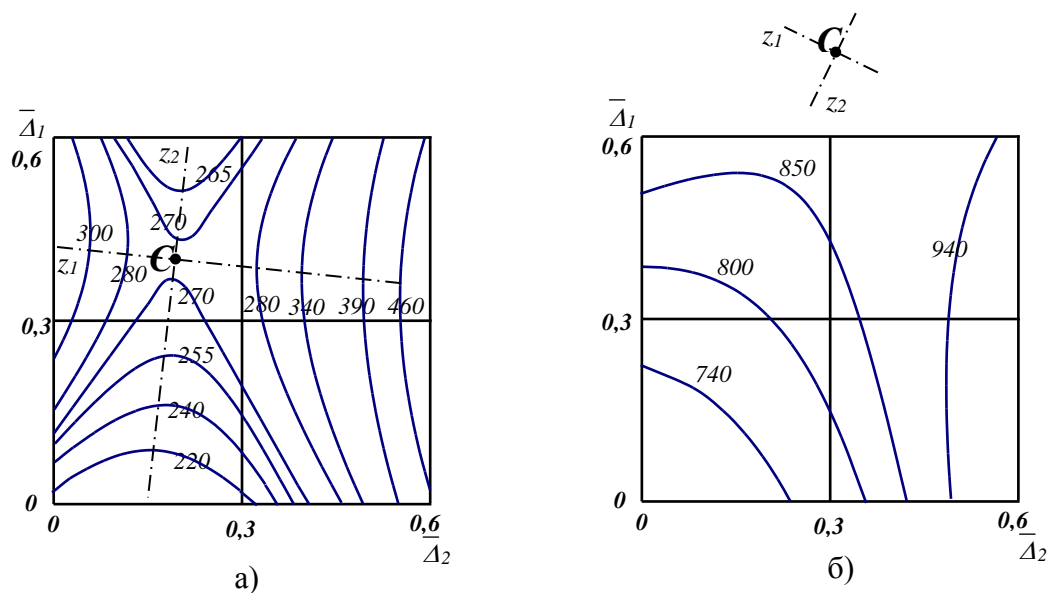


Рис. 2. Графіки контурних кривих рівного виходу для прийнятих фіксованих значень контрольованих показників: а – σ_{F1} ; б – σ_H

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Для отримання комплексної картини впливу ступеня зносу профілів зубців шестірні та колеса на показники

міцності ТЗП потрібно проводити аналіз їх поверхонь відгуку. При цьому доцільно використовувати описаний вище підхід, який передбачає проведення канонічних перетворень відповідних УММ.

Список використаних джерел

1. Карпов, В. М. Стан, проблеми та перспективи оновлення рухомого складу України [Текст] / В. М. Карпов, О. І. Никифорок // Збірник наукових праць науково-дослідного економічного інституту «Формування ринкових відносин в Україні». – К.: НДЕІ, 2012. – Вип. 6 (133)/2012. – С. 160-166.
2. Боднар, Б. Є. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підруч. для ВНЗ залізнич. трансп. / Б. Є. Боднар, Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобир; під ред. д.т.н., проф. Б. Є. Боднара. – Дніпропетровськ: Ліра ЛТД, 2010. – 358 с.
3. Мороз, В. І. Обґрунтування перспективних напрямків підвищення експлуатаційної надійності тягових передач електропоїздів серії ЕР-2 [Текст] / В. І. Мороз, О. В. Братченко, С. В. Бобрицький // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С.176-182.
4. Мороз, В. І. Нова методика визначення експлуатаційних зносів профілів зубців та підбору парних коліс тягових зубчатих передач [Текст] / В. І. Мороз, О. В. Братченко, С. В. Бобрицький // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 117. – С.12-16.
5. Бобрицький, С. В. Особливості оцінювання надійності тягових зубчатих передач з різним ступенем зносу зубчатих коліс [Текст] / С. В. Бобрицький // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 151. – Т.1. – С. 12-16.
6. Wang T. Fault diagnosis for wing turbine planetary ring gear via a mashing resonance based filtering algorithm [Text] / T.Wang, F.Chu', Q.Han // ISA Transaction. – 2017. – Vol. 67. – P. 173-182.

7. Мороз, В. І. Основи конструювання і САПР технічних засобів залізничного транспорту [Текст]: навч. посібник / В. І. Мороз, О. В. Братченко, К. В. Астахова. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 136 с.

8. Мороз, В. І. Основи конструювання і САПР [Текст] / В. І. Мороз, О. В. Братченко, В. В. Лінков. – Харків: Нове слово, 2003. – 194 с.

9. Винарский, М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях [Текст] / М. С. Винарский, М. В. Лурье. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.

Громов Володимир Ігорович аспірант Українського державного університету залізничного транспорту.
Тел.(057) 730-10-53.

Gromov Volodimir Igorovich, postgraduate of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53.

Стаття прийнята 27.03.2017 р.

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 666. 983

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ БИНГАМОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ПО ТРУБОПРОВОДАМ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Кандидаты техн. наук А. А. Задорожный, А. П. Ковревский (ХНУСА)

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ РУХУ БІНГАМІВСКИХ РІДИН ПО ТРУБОПРОВОДАХ КРУГЛОГО ПЕРЕРІЗУ

Кандидати техн. наук А. О. Задорожний, А. П. Ковревський (ХНУБА)

ANALYSIS OF THE MOVEMENT PROCESS OF BINGAM LIQUIDS ON ROUND PIPE RIBBONS

PhD, Associate Professor, A. A. Zadorozhnyi, A. P. Kovrevski

Описан процесс движения бингамовских жидкостей (бетонные смеси) по трубопроводам круглого сечения с использованием формулы Букингема. Для определения расхода и скорости получены зависимости, позволяющие установить связь между напряжением сдвига слоев внутренней стенки трубопровода $\tau_{w.cm}$ и ядром бетонной смеси τ_y .

Приведены зависимости скорости и производительности от безразмерного параметра $\tau_{\delta_0} = \frac{\tau_{w.cm}}{\tau_y}$, учитывающие параметры бетонной смеси и диаметра трубопровода.

Ключевые слова: производительность (расход) бетонной смеси, пластическая вязкость, трубопровод, безразмерный параметр, предел упругости жидкости, касательное напряжение.

Описано процес руху бінгамівських рідин (бетонні суміші) по трубопроводах круглого перерізу з використанням формули Букінгема. Для визначення витрати і швидкості отримано залежності, що дають змогу встановити зв'язок між напругою зсуву шарів внутрішньої стінки трубопроводу $\tau_{w.cm}$ і ядром бетонної суміші τ_y .

Наведено залежності швидкості і продуктивності від безрозмірного параметра $\tau_{\sigma_0} = \frac{\tau_{w.cm}}{\tau_y}$, що враховують параметри бетонної суміші і діаметр трубопроводу.

Ключові слова: продуктивність (витрата) бетонної суміші, пластична в'язкість, трубопровід, безрозмірний параметр, межа пружності рідини, дотичне напруження.

A description of the process of movement of Bingham liquids (concrete mixes) through pipelines of circular cross-section, using the Buckingham formula for determining the flow rate and speed, obtained dependences, which allow establishing a relationship between the shear stress of layers of the inner wall of the pipeline $\tau_{w.cm}$ and the core of the concrete mixture τ_y .

It is induced in the slidiness and productivity of the free parameter $\tau_{\sigma_0} = \frac{\tau_{w.cm}}{\tau_y}$, which determines the parameters of the concrete sum and the diameter of the pipeline.

Keywords: productivity (consumption) of concrete mix, plastic viscosity, pipeline, dimensionless parameter, elastic limit of liquid, tangential stress.

Введение. Исследование течения бингамовских сред при подаче бетононасосами и растворобетононасосами к месту проведения работ на сегодняшний день является актуальным.

При установившемся течении вязкопластичных сред в трубопроводе принудительное изменение начального (касательного) напряжения сдвига $\tau_{w.cm}$, возникающего между внутренней поверхностью трубы радиусом $R_{тр}$ и бетонной смесью, определяется разностью давлений на рассматриваемом участке трубопровода, создаваемой рабочим поршнем бетононасоса или растворобетононасоса. Процесс перемещения таких бетонных смесей в трубопроводе характерен своей спецификой, которую необходимо учитывать при исследовании процессов течения и построении рабочих моделей для бетонных смесей.

Обзор последних исследований и публикаций. При исследовании процессов, протекающих в неньютоновских жидкостях, бетонные смеси рассматриваются как среда Шведова - Бингама. Бетонная смесь является многокомпонентной средой, подчиняющейся реологическим законам течения бингамовских жидкостей [1-3].

Детальным изучением процессов и моделей течения бингамовских жидкостей занимались такие авторы, как У.Л. Уилкинсон, А.В. Гноевой, В. Прагер, Б.М. Смольский, З.П. Шульман, В.В. Гориславец, С.С. Кутателадзе и др. Предложенные модели получили широкое распространение для жестковязкопластичных сред, одними из которых являются бетонные смеси и обобщили большинство классических уравнений реологического состояния текучих сред [4-7,11-13].

Определение цели и задачи исследований. Цель – выявление особенностей течения бетонных смесей во взаимосвязи с внутренним трением, возникающим в трубах круглого сечения в процессе подачи их бетононасосами и растворобетононасосами.

Задачей данной работы является определение производительности (расхода)

$$\frac{Q_{б.см}}{\pi R_{тр}^3} = \frac{\tau_{w.см}}{\mu_{б.см}} \cdot \left[\frac{1}{4} - \frac{1}{3} \cdot \frac{\tau_y}{\tau_{w.см}} + \frac{1}{12} \left(\frac{\tau_y}{\tau_{w.см}} \right)^4 \right], \quad (1)$$

где $\tau_{w.см}$ – касательное напряжение на стенке трубы;

τ_y – предел упругости жидкости;

$\mu_{б.см}$ – пластическая вязкость бетонной смеси;

$R_{тр}$ – радиус трубы;

$Q_{б.см}$ – производительность (расход) бетонной смеси.

Введем безразмерный параметр τ_{δ_0} в виде соотношения напряжения сдвига слоев бетонной смеси $\tau_{w.см}$, τ_y , получим

$$\tau_{\delta_0} = \frac{\tau_{w.см}}{\tau_y}.$$

Предел упругости жидкости τ_y выражается через радиус ядра потока r и радиус трубопровода $R_{тр}$. Используя касательное напряжение на стенке трубы $\tau_{w.см}$, получим $\tau_y = \tau_{w.см} \cdot \frac{r}{R_{тр}}$, тогда

$$\tau_y < \tau_{w.см}, \text{ а } \tau_{\delta_0} > 1.$$

Расход бетонной смеси $Q_{б.см}$ через среднюю скорость течения $\mathcal{G}_{ср.б.см.}$ и радиус трубопровода $R_{тр}$ выражается как $Q_{б.см} = \mathcal{G}_{ср.б.см.} \cdot \pi R_{тр}^2$.

Тогда зависимость (1) примет вид

в зависимости от параметров бетонной смеси и диаметра трубопровода.

Основная часть исследования. Для достижения поставленной задачи исследований воспользуемся известной зависимостью Букингема производительности (расхода) $Q_{б.см}$ для бингамовских несжимаемых жидкостей [8]:

$$\frac{\mathcal{G}_{ср.б.см.}}{R_{тр}} = \frac{\tau_{\delta_0} \cdot \tau_y}{\mu_{б.см}} \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{3 \cdot \tau_{\delta_0}} + \frac{1}{12 \cdot \tau_{\delta_0}^4} \right). \quad (2)$$

Введем безразмерный параметр скорости $V_{б.п.}$, равный $V_{б.п.} = \frac{\mathcal{G}_{ср.б.см.} \cdot \mu_{б.см}}{R_{тр} \cdot \tau_y}$.

Тогда зависимость (2) в безразмерной форме будет иметь вид

$$V_{б.п.} = \left(\frac{\tau_{\delta_0}}{4} - \frac{1}{3} + \frac{1}{12 \cdot \tau_{\delta_0}^3} \right). \quad (3)$$

Построим график зависимости $V_{б.п.}$ от τ_{δ_0} в безразмерных координатах (рисунок), используя формулу скорости (3).

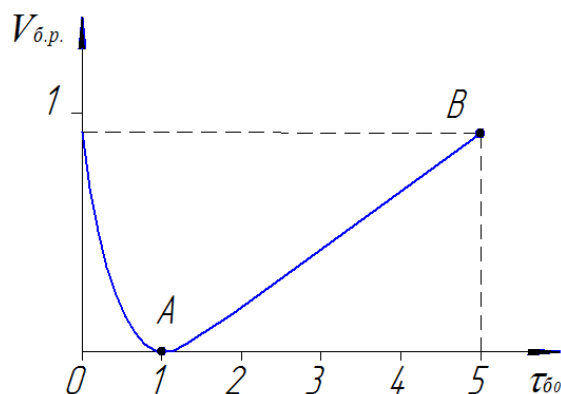


Рис. График зависимости $V_{б.п.}$ от τ_{δ_0} в безразмерных координатах

Из рисунка видно, что при $\tau_{\delta_0} > 1$ график зависимости $V_{\delta.p.}$ от τ_{δ_0} – практически прямая линия. При $\tau_{\delta_0} = 1$, $V_{\delta.p.} = 0$

В дальнейших исследованиях при $\tau_{\delta_0} > 1$ рассмотрим соответствующий участок графика АВ (рисунок).

Соответственно уравнение прямой АВ, проходящей через точки А (0,1) и В (5,092), будет иметь вид

$$\tau_{\delta_0} = 4,362 \cdot V_{\delta.p.} + 1, \quad (4)$$

$$\text{или } \tau_w = (4,362 \cdot V_{\delta.p.} + 1) + \tau_y. \quad (5)$$

Если же участок АВ графика аппроксимировать прямой, проходящей через точки (5; 0,917) и (1,1; 0,0035), то уравнение прямой имеет вид

$$\tau_{\delta_0} = 4,270 \cdot V_{\delta.p.} + 1,085. \quad (6)$$

Как будет показано ниже, такое изменение коэффициентов не сказывается на профиле распределения скоростей по радиусу трубы.

В дальнейшем будет использоваться формула (5).

Касательное напряжение на стенках τ_w [9,10] связано с разностью давлений на участке длиной L соотношением

$$\tau_w = \frac{\Delta P \cdot R}{2 \cdot L}. \quad (7)$$

Учитывая, что секундный расход (иногда его называют секундной скоростью) $Q_{\delta.cm} = g_{\delta.cm} \cdot \pi R_{mp}^2$, из (4) или (5) найдем

$$a \cdot Q_{\delta.cm} = \tau_{\delta_0} - 1, \quad (8)$$

где $\tau_{\delta_0} = \frac{\tau_{w.cm}}{\tau_y}$ – безразмерный параметр;

a – характеристика наклона прямой участка АВ

$$a = \frac{4,362 \cdot \mu_{\delta.c.}}{\pi R_{mp}^3 \cdot \tau_y}. \quad (9)$$

Следовательно,

$$Q_{\delta.cm} = \frac{(\tau_{\delta_0} - 1)}{a}. \quad (10)$$

Без линейной аппроксимации формула расхода $Q_{\delta.cm}$ имеет вид (1). Запишем ее в следующей форме (через параметр τ_{δ_0}):

$$Q_{\delta.cm} = \frac{\pi R_{mp}^3}{\mu_{\delta.cm}} \cdot \tau_y \cdot \left(\frac{\tau_{\delta_0}}{4} - \frac{1}{3} + \frac{1}{12\tau_{\delta_0}^3} \right). \quad (11)$$

Приравнявая правые части выражений (10) и (11), получим

$$\frac{\tau_{\delta_0} - 1}{a} = \frac{\pi R_{mp}^3 \cdot \tau_y}{\mu_{\delta.cm}} \cdot \left(\frac{\tau_{\delta_0}}{4} - \frac{1}{3} + \frac{1}{12\tau_{\delta_0}^3} \right). \quad (12)$$

Учитывая, что параметр $a = \frac{4,362 \cdot \mu_{\delta.c.}}{\pi R_{mp}^3 \cdot \tau_y}$, из (12) получим

$$\frac{\tau_{\delta_0} - 1}{4,362} = \frac{\tau_{\delta_0}}{4} - \frac{1}{3} + \frac{1}{12\tau_{\delta_0}^3}. \quad (13)$$

Отсюда можно найти значение τ_{δ_0} , при котором возможна линейная аппроксимация зависимости $g_{\delta.p.}$. Уравнение (13) теперь можно записать в виде

$$0,104 - 0,0207\tau_{\delta_0} - 0,0833\tau_{\delta_0}^{-3} = 0. \quad (14)$$

1-й корень уравнения очевидный: $\tau_{\delta_0}^{(1)} = 1$. Это означает, что $\tau_{w.cm} = \tau_y$, что практически невозможно.

2-й корень найдем численно, используя метод Ньютона для уточнения корней уравнения (14):

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}.$$

Если обозначить левую часть уравнения (14) как $f(\tau_{\delta_0})$, то производная по τ_{δ_0} будет равна $f'(\tau_{\delta_0}) = -0,0207 + 0,250\tau_{\delta_0}^{-4}$.

Задаем нулевое приближение корня $\tau_{\delta_0}^{(0)} = 5$.

Первое приближение дает $\tau_{\delta_0}^{(1)} = 5,204$.

Второе приближение равно $\tau_{\delta_0}^{(2)} = 4,992$.

Третье приближение снова равно $\tau_{\delta_0}^{(3)} = 4,992$.

Принимаем для второго корня уравнения (12) решение $\tau_{\delta_0} = 4,992$.

Следовательно, при движении бингамовской жидкости должно выполняться соотношение $\tau_{w.cm} \approx 5\tau_y$.

Теперь связь секундного расхода $Q_{\delta.cm}$ с остальными параметрами (при линеаризации зависимости $V_{\delta.p.}$) устанавливается по формуле (10) $a \cdot Q_{\delta.cm} = 4,992 - 1$, или

$$Q_{\delta.cm} = \frac{3,992}{a} = \frac{3,992 \cdot \pi R_{mp}^3 \cdot \tau_y}{4,362 \cdot \mu_{\delta.cm}} = 0,915 \cdot \frac{\pi R_{mp}^3 \cdot \tau_y}{\mu_{\delta.cm}} = 2,875 \cdot \frac{R_{mp}^3 \cdot \tau_y}{\mu_{\delta.cm}}. \quad (15)$$

Если $\tau_{\delta_0} = 4,963$, тогда

$$Q_{\delta.cm} = \frac{3,963}{a} = 0,908 \cdot \frac{\pi R_{mp}^3 \cdot \tau_y}{\mu_{\delta.cm}} = 0,915 \cdot \frac{\pi R_{mp}^3 \cdot \tau_y}{\mu_{\delta.cm}} = \frac{2,875 \cdot R_{mp}^3 \cdot \tau_y}{\mu_{\delta.cm}}. \quad (16)$$

Очевидно, что подставляя $\tau_{\delta_0} = 4,992$ в формулу (14), получаем тот же самый результат.

Как видно, расход пропорционален кубу радиуса трубы, поэтому даже небольшое уменьшение радиуса вследствие разного рода отложений на стенках заметно сказывается на пропускной способности трубопровода и потерях энергии.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Для трубопроводов с движущимися в них бетонными смесями получены зависимости между напряжением

сдвига слоев τ_{δ_0} и $\tau_{w.cm}$, ($\tau_{w.cm} = 5\tau_{\delta_0}$). Эта связь позволяет установить характеристику τ_y по известной $\tau_{w.cm}$. Последнюю можно получить, измеряя давление на участке трубы длиной L. При изменении сечения на различных участках трубопровода соотношение $\frac{\tau_{w.cm}}{\tau_y} \approx 5$ будет сохраняться, что в свою очередь позволяет определить производительность бетононасосов и растворобетононасосов исходя из зависимости (16).

Список использованных источников

1. Уилкинсон, У. Л. Неньютоновские жидкости [Текст] / У. Л. Уилкинсон. – М.: Мир, 1964. – 216 с.

2. Гноевой, А. В. Основы теории течений бингамовских сред [Текст] / Д. М. Климов, В. М. Чесноков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 272 с.
3. Прагер, В. Введение в механику сплошных сред [Текст] / В Прагер. – М.: Изд-во иностр. л-ры, 1963. – 406 с.
4. Смольский, Б. М. Реодинамика и теплообмен нелинейно-вязкопластичных материалов [Текст] / Б. М. Смольский, З. П. Шульман, В. М. Гориславец. – Минск: Наука и техника, 1970. – 240 с.
5. Гориславец, В. В. Конвективный теплообмен при ламинарном течении композитных материалов в круглой трубе [Текст] / В. В. Гориславец, Б. М. Смольский, З. П. Шульман. – В кн.: Тепло- и массоперенос. – Минск: Наука и техника, 1968. – Т. 3.
6. Яхно, О. М. Дестабилизация потока в канале с изменяющимся по длине расходом [Текст] / О. М. Яхно, Н. В. Семинская, С. В. Стась // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 3/7(69). – С. 45-49. ISSN 1729-3774.
7. Носко, С. В. Исследования гидро-динамических русловых входов в каналах технологического оборудования [Текст] / С. В. Носко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №3/7 (69). – С. 49-54. ISSN 1729-3774.
8. Емельянова, И. А. Предпосылки для исследования процесса транспортирования бетонных смесей с помощью двухпоршневых гидравлических бетононасосов [Текст] / И. А. Емельянова, А. А. Задорожный, Н. А. Меленцов // Зб. наук. праць. Сер. Галузеве машинобудування будівництво. – Полтава: ПНТУ, 2011. – Вип. №2(30). – С. 23-24.
9. Емельянова, И. А. К вопросу построения математической модели, процесса движения бетонной смеси по трубопроводам различных направлений [Текст] / И. А. Емельянова, А. А. Задорожный, Н. А. Меленцов // Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. “Новые материалы и технологии в машиностроении”. – Брянск: БГИТА, 2013. – Вип. 17. – С. 105-109.
10. Емельянова, И. А. Определение производительности гидравлических бетононасосов, исходя из анализа реологических моделей движения бетонных смесей по трубопроводам [Текст] / И. А. Емельянова, А. А. Задорожный, Н. А. Меленцов // Инновации в науке – инновации в образовании: материалы междунар. науч.-техн. конф. «Интерстроймех-2013» 1-2 октября 2013. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2013. – С. 89-94.
11. Емельянова, И. А. Влияние технологических параметров процесса транспортирования бетонных смесей по трубопроводам на производительность растворобетононасосов (бетононасосов) [Текст] / И. А. Емельянова, А. А. Задорожный, Н. А. Меленцов // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво); ПНТУ ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2014. – Вип. 1 (40). – С. 3-7.
12. Lipscomb, G.G. Flow of Bingham fluids ill complex geometries [Text] / G.G. Lipscomb, M.M. Denn // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics.— 1984.— V. 14. – P. 337-346.
13. Weipert, D. Rheology der Lebensmittel [Text] / D. Weipert // H.-D.-Tscheuschner, E.-Windhab.-Hamburg: Behrs, 1993. – 620 s.

Задорожний Андрій Олексійович, канд. техн. наук, доцент кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (066) 931-28-78. E-mail: zsnj1971@ukr.net.

Ковревський Артур Петрович, канд. техн. наук, професор кафедри теоретичної механіки Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (066) 644-43-93. E-mail: marine63@inbox.ru.

Zadorozhnyi Andrii Alexeyevich, PhD, Associate Professor Department of mechanization of construction processes, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (066) 931-28-78. E-mail: zsnj1971@ukr.net.
Kovrevski Artur, PhD, Professor Department of theoretical mechanics, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (066) 644-43-93. E-mail: marine63@inbox.ru.

Стаття прийнята 22.03.2017 р.

УДК 533.24.083

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ТЕПЛОВОЛОГІСНИХ ПРОЦЕСІВ БУДІВЛІ

Л. П. Шумська (ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка)

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЗДАНИЯ

Л. П. Шумская (ПолтНТУ имени Юрия Кондратюка)

FEATURES OF TRANSITION THERMAL AND HUMIDITY PROCESSES OF BUILDING

L. P. Shumska

У статті розглядаються особливості тепловологісних процесів, що досліджувались експериментально в лабораторних умовах та в діючих будівлях. Для більш детального вивчення зазначених процесів створено математичну модель. На основі отриманих даних аналізувалися методи утеплення огорожувальних конструкцій, перебіг теплових і вологісних процесів, що відбуваються в огорожувальних конструкціях будівель. Отриману інформацію закладено в основу методики розрахунку параметрів мікроклімату у приміщеннях.

Ключові слова: теплоізоляційні вироби, математичне моделювання, огорожувальна конструкція, теплопровідність, тепловологісні процеси, енергоефективність.

В статье рассматриваются особенности тепловых и влажностных процессов, которые исследовались экспериментально в лабораторных условиях и в действующих зданиях. Для более детального изучения указанных процессов создана математическая модель. На основе полученных данных анализировались методы утепления ограждающих конструкций, протекание тепловых и влажностных процессов, происходящих в ограждающих конструкциях зданий. Полученную информацию заложено в основу методики расчета параметров микроклимата в помещениях.

Ключевые слова: теплоизоляционные изделия, математическое моделирование, ограждающая конструкция, теплопроводность, тепловлажностные процессы, энергоэффективность.

Nowadays, the problem of creating new porous insulation materials and production technologies are extremely important.

Also, one of the today current requirements is increasing of the buildings energy efficiency that primarily is implemented by increasing their thermal protection. Thermal protection increasing effect directly on improving thermal comfort rooms in the cold season. In addition, reducing the heat load for heating at enhancing thermal protection can reduce the temperature of the coolant. This leads to improved thermal comfort and air quality in premises.

The results of studies, which are carried out experimentally in the laboratory and in existing buildings, are considered. The features of transition thermal and humidity processes of building are described. Based on the results of studies, methods of covering constructions insulation, the flow of heat and humidity processes occurring in the protective structures of buildings are analyzed. Obtained information is incorporated in the basic method for microclimate parameters calculating in the premises.

Keywords: heat-insulation materials, mathematical modeling covering construction, thermal conductivity, heat-and-mass transfer, energy efficiency.

Вступ. Однією з актуальних вимог сучасності є підвищення енергетичної ефективності будівель, що реалізується, насамперед, за рахунок посилення їх теплового захисту. Посилення теплозахисту прямо позначається на поліпшенні теплового комфорту приміщень у холодну пору року. Крім того, зменшення теплового навантаження на опалення при посиленні теплозахисту дає змогу знизити температуру теплоносія. Це сприяє поліпшенню теплового комфорту і якості повітря у приміщенні.

У результаті впливу на приміщення зовнішнього середовища, системи опалення, вентиляції, тепло- та вологовиділень у приміщеннях формуються параметри мікроклімату будівлі.

Зовнішнє середовище впливає на теплові параметри мікроклімату через огорожувальні конструкції (тут спостерігаються такі процеси, як передача тепла і вологи, інфільтрація та ексфільтрація) та внутрішні енергетичні зв'язки між приміщеннями. Тому тепловий захист будівлі є пасивним чинником формування теплового мікроклімату. Система опалення активно формує внутрішній мікроклімат, нейтралізуючи негативний вплив зовнішнього середовища. Ефективність цих процесів залежить від ефективності теплозахисних властивостей теплоізоляції. У даній роботі вивчається можливість використання як теплоізоляції розробленого нами нового пористого матеріалу на основі розчинних гідросилікатів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі міститься багато інформації щодо різних схем утеплювальних конструкцій [2-6], теплофізичних властивостей нових теплоізоляційних матеріалів [4-9] та способів їх виробництва [6-12].

Наприклад, у роботах [2, 3] подано детальний аналіз структури матеріалів, залежності теплофізичних характеристик від структурних показників та

закономірності перебігу теплообмінних процесів, але немає інформації щодо впливу на ці процеси вологості.

У роботах [6-9], крім того, теоретично аналізуються процеси перенесення тепла в пористому середовищі, але не враховуються вологовміст та форма пор. Звісно, це призводить до зниженої оцінки теплопровідності.

Роботи [10-12] присвячено розробленню методів формування пористої структури. Але вологісні параметри не досліджувалися. Врахування впливу вологи на інтенсивність теплообмінних процесів у теоретичних моделях – задача складна і, ймовірно, не може бути повною мірою вирішена. Тому тільки експериментальні дані можуть дати реальні результати щодо зазначеного впливу вологості і їх, звичайно, слід використовувати в теоретичних моделях.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою досліджень було вивчення закономірностей формування теплових та вологісних параметрів у приміщеннях різного призначення з використанням нового пористого теплоізоляційного матеріалу.

Задача досліджень – створення математичної моделі переносу тепла і вологи через огорожувальні конструкції будівель, аналіз впливу матеріалу теплоізоляції на зазначені процеси.

Основна частина дослідження. Для розроблення математичної моделі теплових та вологісних процесів, що відбуваються в огорожувальних конструкціях в умовах динамічного мікроклімату, було створено фізичну модель будівлі (рис. 1).

Розглядалась будівля, яка складається з таких елементів:

- зовнішні теплоємні огорожувальні конструкції з нового матеріалу (стіни, надпідвальні перекриття, горища);
- зовнішні малотеплоємні конструкції (вікна, балконні двері тощо);

- внутрішні теплоємні огорожувальні конструкції з нового матеріалу (внутрішні перегородки та стіни);

- водотрубна система опалення;
- внутрішнє середовище приміщень (повітря, меблі тощо).

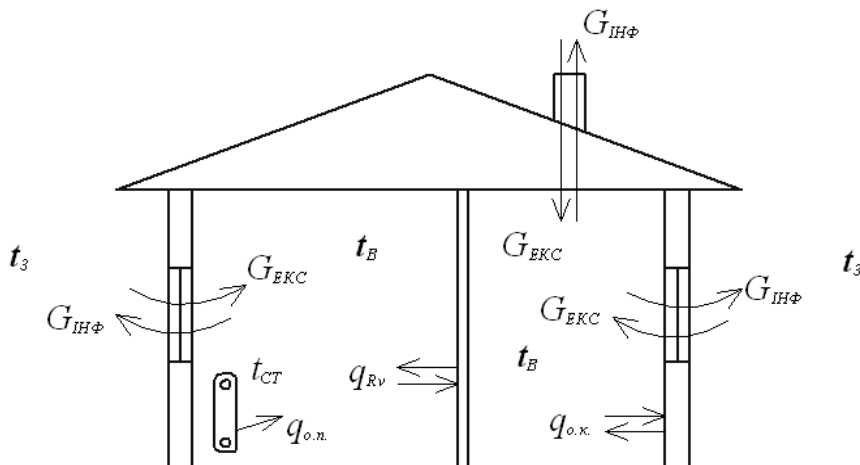


Рис. 1. Схема розподілення теплових потоків адміністративної будівлі:

t_3 — температура зовнішнього повітря; t_B — температура внутрішнього повітря будівлі; t_{CT} — температура поверхні системи опалення; $q_{o.n.}$ — тепловий потік, який надходить у будівлю від системи опалення; $q_{o.k.}$ — тепловий потік, який надходить у приміщення і відходить з нього через зовнішні огорожувальні конструкції будівлі; q_{Rv} — тепловий потік, який проходить через внутрішні огорожувальні конструкції будівлі; $G_{ИФ}$ — об'єм інфільтраційного повітря; G_{EKC} — об'єм ексфільтраційного повітря

Рівняння теплового балансу повітряного середовища приміщень для такої будівлі буде мати вигляд:

$$-c_B m_B \frac{dt_{B(z)}}{dz} = \sum q_{3H}^K F_{3H}^K + \sum q_{BH}^K F_{BH}^K + q_{C.O.}^K F_{C.O.}^K \pm \sum_{i=1}^n q_{M.K.}^K F_{M.K.}^K + Q_{ИФ} + Q_{П}^K \quad (1)$$

де c_B — питома теплоємність повітря; m_B — маса внутрішнього повітря опалювальних приміщень; q_{3H}^K , q_{BH}^K , $q_{O.P.}^K$, $q_{M.K.}^K$ — конвективні теплові потоки відповідно до зовнішніх теплоємних та внутрішніх огорожувальних конструкцій, опалювального приладу і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $F_{3H}^K, F_{BH}^K, F_{O.P.}^K, F_{M.K.}^K$ — площі теплообмінних поверхонь відповідно до конвективних теплових потоків зовнішніх теплоємних та внутрішніх огорожувальних конструкцій,

опалювального приладу і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $Q_{ИФ}$ — інфільтраційні тепловиділення; $Q_{П}^K$ — конвективні побутові (технологічні) тепловиділення.

$$c_B m_B = \sum c_i m_i, \quad (2)$$

де c_i — питома теплоємність повітряного середовища приміщень; m_i — маса елементів повітряного середовища приміщень.

Рівняння теплового балансу променевих теплових потоків повітряного

середовища приміщень будівлі матиме вигляд:

$$\sum q_{ЗН}^{II} F_{ЗН}^{II} + \sum q_{ВН}^{II} F_{ВН}^{II} + q_{С.О.}^{II} F_{С.О.}^{II} \pm \sum q_{М.К.}^{II} F_{М.К.}^{II} + Q_{ПБ}^{II} = 0, \quad (3)$$

де $q_{ЗН}^{II}$, $q_{ВН}^{II}$, $q_{О.П.}^{II}$, $q_{М.К.}^{II}$ – променеві теплові потоки відповідно зовнішніх теплоємних та внутрішніх огорожувальних конструкцій, опалювального приладу і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $F_{ЗН}^{II}$, $F_{ВН}^{II}$, $F_{О.П.}^{II}$, $F_{М.К.}^{II}$ – площі теплообмінних поверхонь відповідно до променевих теплових потоків зовнішніх теплоємних та внутрішніх огорожувальних конструкцій, опалювального приладу і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $Q_{ПБ}^{II}$ – променеві побутові (технологічні) тепловиділення.

Для оцінки кількісного ефекту утеплення будівлі була створена математична модель перехідних теплових процесів цієї будівлі.

Основними елементами, що розглядаються, є зовнішні та внутрішні огорожувальні конструкції, система опалення будівлі та внутрішній мікроклімат приміщення.

При постановці даної задачі були використані такі спрощувальні умови: реальна система опалення замінена еквівалентним за тепловіддачею опалювальним приладом; розглядаються багат шарові зовнішні огорожувальні конструкції з ідеальним тепловим контактом між шарами; температурне поле в них одномірне; питомі теплоємності в робочому діапазоні температур постійні; теплоакумульвальна ємність малотеплоємних огорожувальних конструкцій (вікна, двері) дорівнює нулю; нерівномірністю розподілу температури повітря у приміщенні нехтуємо.

Як початковий розподіл температур можна задати умову стаціонарного режиму. Як збурювальна дія використовується

графік температур теплоносія в умовах «якісного» програмного регулювання.

Робота автоматичного регулятора в режимі програмного регулювання описується рівнянням, у якому є декілька невідомих. Автоматичний регулятор дає змогу регулювати температуру теплоносія в системі опалення залежно від температури зовнішнього та внутрішнього повітря будівлі. Розрахункова температура теплоносія в системі опалення описується рівнянням:

$$\tau_{10} = t_B + (t_{О.П.}^{CP} - t_B) \cdot Q^{0,8} + (\tau_1 - t_{О.П.}^{CP}) \cdot Q, \quad (4)$$

де t_B – температура внутрішнього повітря будівлі (наприклад, 18 °С); $t_{О.П.}^{CP}$ – середня температура опалювального приладу (наприклад, 82,5 °С); τ_1 – температура теплоносія в подавальному трубопроводі системи опалення, що приймається за опалювальним графіком (наприклад, з параметрами 95/70 °С); Q – відносна кількість теплоти, необхідної для системи опалення, яка залежить від температури зовнішнього повітря та визначається за формулою:

$$Q = \frac{t_B - t_3}{t_B + t_{ЗР}}, \quad (5)$$

де t_3 – діюча температура зовнішнього повітря навколо будівлі.

Необхідна температура теплоносія в системі опалення описується рівнянням:

$$\tau_{10}^{НЕОБХД} = t_{10} + K_t \cdot 0,1 \cdot (t_B^{НЕОБХД} - t_B^{ФАКТИЧ}), \quad (6)$$

де K_t – коефіцієнт впливу температури внутрішнього повітря будівлі, який приймається у межах 1 - 99.

Робота клапана регулятора описується рівнянням:

$$\text{Re } g = \frac{1}{X_p} \left[(\tau_{10}^{\text{НЕОБХД}} - \tau_{10}) + \frac{1}{z} \int (\tau_{10}^{\text{НЕОБХД}} - \tau_{10}) dz \right], \quad (7)$$

де X_p – зона пропорційності регулятора (для даного регулятора приймається у межах 1 - 250);

τ_{10} – температура теплоносія в системі опалення, °С.

Робота автоматичного регулятора пропорційно-інтегрального типу в режимі програмного регулювання описується рівнянням:

$$\tau_{10}^{\text{НЕОБХД}} = t_{10} + K_t \cdot 0,1 \cdot (t_B^{\text{НЕОБХД}} - t_B^{\text{ФАКТИЧ}}), \quad (8)$$

Система рівнянь теплового балансу еквівалентного опалювального приладу водотрубної системи опалення має вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} \tau_{2(\infty)} &= t_{CT} + (\tau_1 - t_{CT}) e^{-\frac{a_1 F_1}{cG}} \\ c_1 m_1 \frac{d\tau_{2(z)}}{dz} &= (c_1 G + a_1 F_1) (\tau_{2(\infty)} - \tau_{2(z)}) \\ c_1 m_1 \frac{d\tau_{CP(z)}}{dz} &= c_1 G (\tau_1 - \tau_{2(z)}) - a_1 F_1 (\tau_{CP(z)} - t_{CT(z)}) \\ c_{CT} m_{CT} \frac{dt_{CT(z)}}{dz} &= a_1 F_1 (\tau_{CP(z)} - t_{CT(z)}) - [a_2^K F_2^K (t_{CT(z)} - t_B) + a_2^{\Pi} F_2^{\Pi} (t_{CT(z)} - t_R)] \end{aligned} \right. \quad (9)$$

де c_1, m_1 – питома теплоємність і вага теплоносія системи опалення; z – час; G – витрата теплоносія у квартальній тепловій мережі (до елеватора); τ_1 – температура теплоносія в подавальному трубопроводі квартальної теплової мережі; τ_{CP} – середня температура теплоносія в системі опалення; a_1 – коефіцієнт теплообміну на внутрішній поверхні стінки еквівалентного опалювального приладу; $\alpha_2^{\Pi}, \alpha_2^K$ – відповідно коефіцієнт променевого та конвективного теплообміну на зовнішній поверхні стінки еквівалентного

опалювального приладу; F_1 – площа внутрішньої поверхні опалювального приладу; F_2^{Π}, F_2^K – відповідно площа зовнішньої поверхні опалювального приладу конвективної та променевої складової; c_{CT}, m_{CT}, t_{CT} – відповідно питома теплоємність, вага і температура стінки еквівалентного опалювального приладу; t_B – температура внутрішнього повітря приміщення; t_R – середня радіаційна температура внутрішнього повітря приміщення.

Рівняння теплового балансу внутрішнього повітря будівлі має вигляд:

$$\begin{aligned}
 c_B m_B \frac{dt_{B(z)}}{dz} = & a_2^K F_2(t_{CT(z)} - t_{B(z)}) - a_2^{\Pi} F_2(t_{CT(z)} - t_{R(z)}) - \\
 & - a_B F_{3K}(t_{B(z)} - t_{HK(0,z)}) - a_B F_{BK} \times (t_{B(z)} - t_{BK(\delta/2,z)}) - c_{\Pi} G_{\Pi H}(t_{B(z)} - t_{H(z)}) - \\
 & \Sigma a_B^K F_{MK}(t_{B(z)} - t_{MK(z)}) - \Sigma a_B^{\Pi} F_{MK}(t_{R(z)} - t_{MK(z)})
 \end{aligned} \quad (10)$$

де c_B – питома теплоємність повітря; m_B – вага внутрішнього повітря опалювальних приміщень; a_B – коефіцієнт теплообміну на внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій; F_{3K} , F_{BK} , F_{MK} – площі відповідно зовнішніх, внутрішніх огорож і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $t_{3K(0,z)}$, $t_{BK(\delta/2,z)}$, $t_{MK(z)}$ – температури відповідно на внутрішніх поверхнях зовнішніх, внутрішніх і малотеплоємних огорожувальних конструкцій; $G_{\Pi H}$ – витрата інфільтраційного повітря.

Наступним елементом математичної моделі тепловологісних процесів є система диференціальних рівнянь, що описує нестационарний тепловий режим теплоємних огорожувальних конструкцій і дозволяє знайти температуру на поверхні та в перерізі зовнішніх багат шарових теплоємних огорожувальних конструкцій (рис. 2).

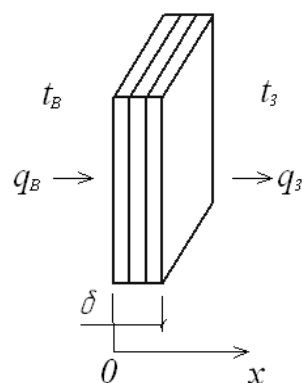


Рис. 2. Багат шарова зовнішня огорожувальна конструкція

Ця система складається з диференціального рівняння теплопровідності Фур'є для кожного i -го шару конструкції:

$$\frac{\partial t_{3K(x,z)}}{\partial z} = \frac{\lambda_i}{c_i \rho_i} \cdot \frac{\partial^2 t_{3K(x,z)}}{\partial x^2}, \quad (11)$$

при граничних умовах біля зовнішньої поверхні ($x = \delta$):

$$-\lambda_{3K} \frac{\partial t_{3K}}{\partial x}(\delta, z) = \alpha_3^{K+\Pi} (t_{3K(\delta,z)} - t_{3(z)}) \quad (12)$$

і біля внутрішньої поверхні ($x = 0$):

$$-\lambda_{3K} \frac{\partial t_{3K}}{\partial x}(0, z) = \alpha_B^K (t_{B(z)} - t_{3K(0,z)}) + \alpha_B^{\Pi} (t_{R(z)} - t_{3K(0,z)}) \quad (13)$$

Між шарами конструкції застосовуються граничні умови четвертого роду.

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial x_1}(\delta, z) = \lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial x_2}(0, z), \quad (14)$$

де $t_{3K(X,Z)}$ — температура у товщі зовнішньої стіни, яка залежить від координати x і часу z , °C;

λ_i — теплопровідність i -го шару конструкції, Вт/м•°C;

λ_{3K} — теплопровідність зовнішньої стіни, Вт/м•°C;

δ_i — товщина i -го шару зовнішньої стіни, м;

α_3^{K+II} — коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні огорож, Вт/м²•°C;

$\alpha_B^K, \alpha_B^{II}$ — коефіцієнти відповідно конвективного та променевого теплообміну біля внутрішньої поверхні огорож, Вт/м²•°C.

Початкові умови задаються стаціонарним розподілом температур у кожному шарі:

$$t(x_i, \infty) = t(0, \infty) - x_i(t(0, \infty) - t(\delta_i, \infty)) / \delta_i, \quad (15)$$

де δ_i — товщина i -го шару;

x_i — просторова координата;

t — температура i -го шару.

Температуру на поверхні внутрішніх огорожувальних конструкцій (перегородки, міжповерхові перекриття) можна знайти, розв'язуючи систему рівнянь теплового балансу цих конструкцій.

Теплові процеси в теплоємних внутрішніх огорожувальних конструкціях описуються системою рівнянь, яка

складається з диференціального рівняння теплопровідності (рис. 3):

$$\frac{\partial t_{BK(X,Z)}}{\partial z} = \frac{\lambda_i}{c_i \rho_i} \cdot \frac{\partial^2 t_{BK(X,Z)}}{\partial x^2}; \quad (16)$$

при граничних умовах у центрі стіни:

$$-\lambda_{BK} \frac{\partial t_{BK}}{\partial x}(0, z) = 0$$

і на її зовнішній поверхні:

$$-\lambda_{BK} \frac{\partial t_{BK}}{\partial x}(\delta_i, z) = \alpha_B^K (t_{BK(\delta_i, Z)} - t_{B(Z)}) + \alpha_B^{II} (t_{BK(\delta_i, Z)} - t_{R(Z)}) \quad (18)$$

та граничні умови 4-го роду на межі матеріалів:

$$\lambda_i \frac{\partial t_i}{\partial x_i}(\delta, z) = \lambda_{i+1} \frac{\partial t_{i+1}}{\partial x_{i+1}}(0, z). \quad (19)$$

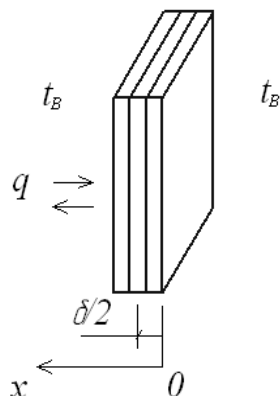


Рис. 3. Багатошарова внутрішня огорожувальна конструкція

Температуру на внутрішній поверхні малотеплоємних зовнішніх огорож можна знайти, скориставшись рівністю теплових

потоків на внутрішній і на зовнішній поверхнях цих конструкцій:

$$\begin{cases} q_{MK} = \alpha_3 (t_{MK(\delta)} - t_H) \\ q_{MK} = \frac{\lambda_{MK}}{\delta_{MK}} (t_{MK(0)} - t_{MK(\delta)}) \\ q_{MK} = \alpha_B^K (t_B - t_{MK(0)}) + \alpha_B^H (t_H - t_{MK(0)}) \end{cases} \quad (20)$$

де q_{MK} – тепловий потік через малотеплоємні зовнішні конструкції; $t_{MK(\delta)}, t_{MK(0)}$ – температура на зовнішній і на внутрішній поверхні цієї огорожувальної конструкції.

В основі визначення вологості матеріалів конструкції лежить диференціальне рівняння дифузії водяної пари в сорбційному середовищі:

$$\xi_i \rho_i \frac{\partial e}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_i \frac{\partial e}{\partial x} \right), \quad (21)$$

де ξ_i – відносна пароемність і-го шару матеріалу, г/кг; ρ_i – густина і-го шару матеріалу, кг/м³; e – парціальний тиск, Па; z – час переміщення водяної пари, с; μ_i – коефіцієнт паропроникності і-го шару

матеріалу, г/(м·с·Па); x – просторова координата, м.

Для розрахунку вологісних процесів огорожувальних конструкцій будівель рівняння (21) необхідно доповнити граничними умовами 3-го роду. Ці граничні умови біля внутрішньої та зовнішньої поверхонь зовнішньої стіни можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} \mu_1 \frac{\partial e_{1,z}}{\partial x} = \beta_B (e_B - e_{1,z}) \\ \mu_n \frac{\partial e_{n,z}}{\partial x} = -\beta_3 (e_{n,z} - e_3) \end{cases} \quad (22)$$

де μ_1, μ_n – коефіцієнт паропроникності відповідно внутрішнього та зовнішнього шару конструкції, г/(м·с·Па); β_B, β_3 – коефіцієнт вологообміну біля внутрішньої та зовнішньої поверхонь,

$g/(m^2 \cdot c \cdot Pa)$; e_B, e_3 – парціальний тиск водяної пари в повітрі відповідно з внутрішнього та зовнішнього боку стіни, Па; e_1, e_n – парціальний тиск водяної пари відповідно на внутрішній та зовнішній поверхнях конструкції, Па.

Відносну паросмість матеріалу можна визначити за формулою, g/kg ,

$$\xi_i = 1000 \frac{d\omega_i}{d\phi_i}, \quad (23)$$

де ω_i – масова вологість i -го шару матеріалу, %; ϕ_i – відносна вологість повітря, %.

Коефіцієнт вологообміну β_B залежить від температури, вологості, рухливості повітря біля поверхні. В умовах природної конвекції його можна розрахувати за формулою, $g/(m^2 \cdot c \cdot Pa)$,

$$\beta_B = 1,192 \cdot 10^{-8} \Delta t^{\frac{1}{3}} \Delta e^{\frac{2}{5}}, \quad (24)$$

де Δt – різниця температур між повітрям та поверхнею огорожувальної конструкції, $^{\circ}C$; Δe – різниця парціальних тисків у повітрі і на поверхні стінки, Па.

$$\Delta e = e_B - e_{1,z}, \quad (25)$$

$$\Delta Q = \frac{R_{П}}{R_{СТ}} = \frac{\frac{\delta_2}{\lambda_2}}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_3}} = \frac{\frac{0.1}{0.21}}{\frac{1}{8.7} + \frac{0.72}{0.64} + \frac{0.1}{0.21} + \frac{1}{23}} = 0.27, \quad (28)$$

тобто на 27%. Проте для даної будівлі тепловтрати через зовнішні стіни складають лише 39%. Інші втрати теплоти відбуваються через засклення, за рахунок підігріву інфільтраційного повітря, через горище та підлогу 1-го поверху. З

$$\Delta t = t_B - t_{1,z}. \quad (26)$$

Парціальний тиск насиченої водяної пари, Па, яка міститься в повітрі в інтервалі температур $-30 \div +20$ $^{\circ}C$, може апроксимуватися залежністю:

$$E = 479 + (11,52 + 1,62t)^2. \quad (27)$$

Головним завданням дослідження був пошук шляхів підвищення економії теплової енергії при утепленні зовнішніх стін будівлі пінобетоном.

Розглядався температурний режим приміщення адміністративної будівлі міста Полтави. Для розрахунку приймалось приміщення з такими параметрами:

- будівля цегляна;
- товщина зовнішніх стін – 0,72 м;

Початкові умови: коефіцієнт теплообміну біля зовнішньої поверхні стіни – 23 $Вт/м^2 \cdot ^{\circ}C$; коефіцієнт теплообміну біля внутрішньої поверхні стіни – 8,7 $Вт/м^2 \cdot ^{\circ}C$; температура внутрішнього повітря – 18 $^{\circ}C$.

Для визначення економії енергоресурсів на прикладі такої будівлі було виконано розрахунки для утеплювання зовнішніх стін пінобетоном товщиною 100 мм.

Тепловтрати через зовнішні стіни зменшуються на

урахуванням цих тепловтрат, економія енергоресурсів для будівлі в цілому (при $+5$ $^{\circ}C$) складатиме $27 \cdot 0,39 = 10,6$ %. У холодний період зниження температури зовнішнього повітря призводить до збільшення витрат інфільтраційного

повітря в будівлях з гравітаційними системами вентиляції. Ці витрати можна

розрахувати за формулою:

$$L_t = L_{+5} \sqrt{\frac{\Delta P_t}{\Delta P_{+5}}} = L_{+5} \sqrt{\frac{\rho_{t_3} - \rho_B}{\rho_{+5} - \rho_B}}, \quad (29)$$

де ρ_{t_3} – густина зовнішнього повітря, кг/м³; ρ_B – густина внутрішнього повітря, кг/м³; ρ_{+5} – густина зовнішнього повітря при розрахунковій зовнішній температурі (+5 °C), кг/м³.

При будь-якій температурі густину повітря визначаємо за формулою, кг/м³

$$\rho_t = \frac{353}{273+t}. \quad (30)$$

Результати розрахунку для різних температур зовнішнього повітря зображені на рис. 4.

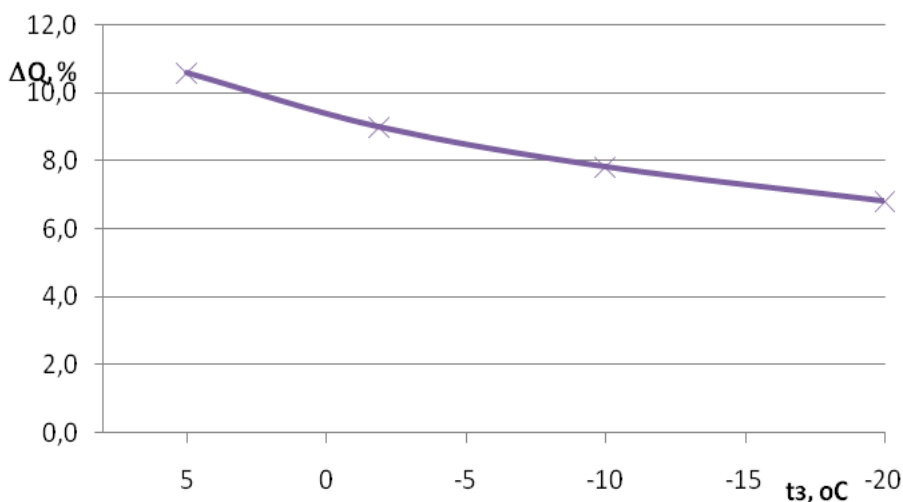


Рис. 4. Економія теплоти при утепленні зовнішніх стін будівлі при різних температурах зовнішнього повітря

Утеплення існуючих зовнішніх стін цегляної будівлі дає відчутний енергозберігаючий ефект (для м. Полтава у розмірі 9,1 %), проте цей захід потребує додаткових капітальних витрат.

Розрахунки перехідних режимів було виконано на основі математичної моделі, яка дозволяє визначити температуру та вологість огорож в будь-якій її точці в

довільний момент часу для різних типів матеріалів. Результатами розрахунку є графіки розподілу вологості матеріалів зовнішньої стіни. Розподіл вологи товщі стіни показано на рис. 5, 6.

З графіка (рис. 5) видно, що річна вологість, накопичена в зовнішній стінці приміщення, значно менша за допустиму вологість (4 %).

1. Утеплення зовнішньої стіни ззовні:

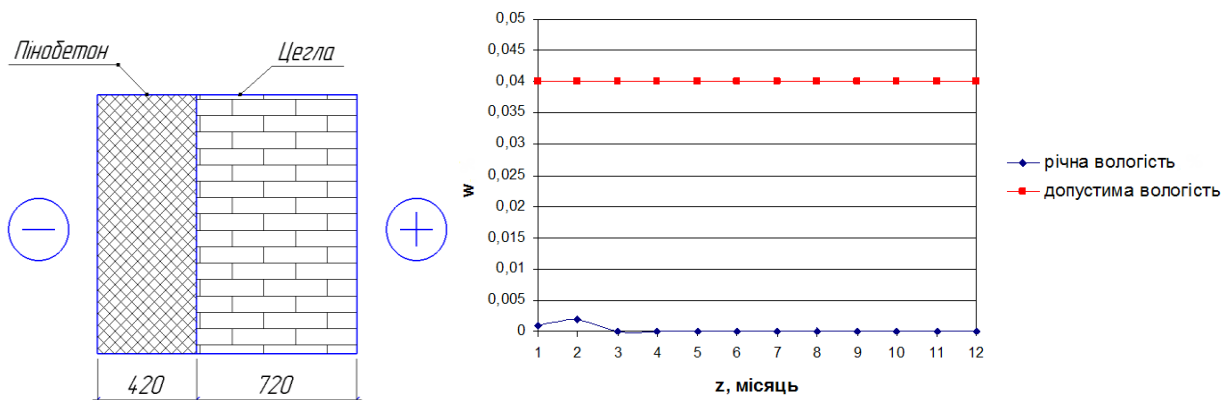


Рис. 5. Річний розподіл вологи всередині утепленої ззовні огорожувальної конструкції

2. Утеплення зовнішньої стіни всередині приміщення:

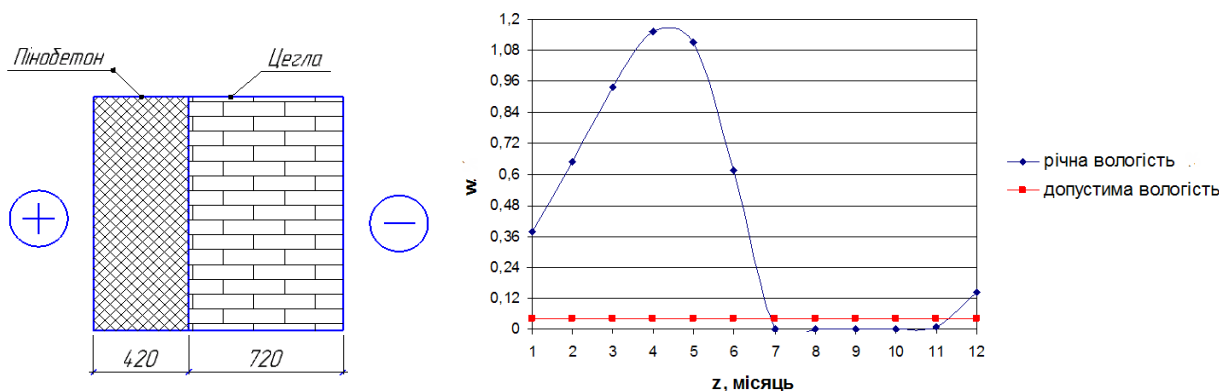


Рис. 6. Річний розподіл вологи всередині утепленої зсередини приміщення огорожувальної конструкції

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розрахунки показують, що у разі внутрішнього утеплення річна вологість, накопичена в зовнішній стіні приміщення, приблизно в 30 разів перевищує допустиме значення вологості матеріалу. Тому можна зробити остаточний висновок про недоцільність внутрішнього утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій пінобетоном у разі стабілізації

внутрішнього мікроклімату опалюваних приміщень.

Для створення динамічного мікроклімату можуть застосовуватися огорожувальні конструкції, утеплені з обох боків. Для таких конструкцій виникає необхідність у з'ясуванні теплофізичних характеристик, при яких вологість конструкції не перевищує максимального нормативного рівня. Особливо важливою є максимальна товщина внутрішнього теплоізоляційного шару.

Список використаних джерел

1. Pavlenko, A. M. Determination of energy parameters of technology of thermal pore formation [Text] / A.M. Pavlenko, L.P. Shumska // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – № 11. – P. 99-104.
2. Пористі теплоізоляційні матеріали [Текст]: монографія / Е. Г. Братуга, А. В. Кошлак, А. М. Павленко, О. В. Кругляков. – Харків: ТОВ «ЕДЕНА», 2010. – 107 с.
3. Боднарева, Л. Поведение легкого керамзита, бетона, подверженных воздействию высоких температур [Текст] / Л. Боднарёва, Р. Гела, М. Губертова, И. Новакова // Международный журнал гражданского, экологического, структурного строительства и архитектурного проектирования. – 2014. – № 8. – С. 1205-1208.
4. Nimmo, J.R., 2004, Porosity and Pore Size Distribution, in Hillel, D., ed. Encyclopedia of Soils in the Environment: [Text] London, Elsevier, v. 3. – P. 295-303.
5. Pavlenko, A. Analys is of thermal peculiarities of alloy in gwith special properties [Text] / A. Pavlenko, B. Usenko, H. Koshlak // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №2. – P. 50-55.
6. Lopez-Pamies, O. Effects of internal pore pressure on closed-cellelastomericfoams [Electronic resource] / O. Lopez-Pamies, P. Ponte Castañeda, M. Idiart // International Journal of Solids and Structures. – 2012. – № 49. – from [http: 10.1016/j.ijsol-str.2012.02.024](http://10.1016/j.ijsol-str.2012.02.024).
7. Aboudi, J. Micromechanics of Composite Materials: A Generalized Multiscale Analysis Approach [Text] / J. Aboudi, S. Arnold, B. Bednarczyk. – Elsevier, 2012. – 1006 p.
8. Pavlenko, A. Design of processes of thermal bloating of silicates [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №1. – P. 123-127.
9. Pavlenko, A. Production of porous material with projected ther mophysical characteristics [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak // Metallurgical and Mining Industry. – 2015.– №1. – P. 50-55.
10. Pavlenko, A. M. Peculiarities control the forming of the porous structure [Text] / A. M. Pavlenko, H. V. Koshlak, B. O. Usenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – Issue 6. – P. 50-55.
11. Pavlenko, A. Thermal conductivity of the gas in small spase [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak, B. Usenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №2. – P. 20-24.
12. Pavlenko, A. Study of theformation of gas-vapor in the liquid mixture [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak, A. Cheilytko, M. Nosov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – №5(82). – P.58-65.

Шумська Любов Петрівна, директор Полтавського коледжу нафти і газу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, здобувач кафедри теплопостачання, вентиляції та теплоенергетики Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.
Тел.: 050-9137315. E-mail: schumska@gmail.com.

Shumska Lyubov, Director of Poltava Oil and Gas College of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, aspirant of Department of heat and gas supply, ventilation and heat power engineering of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: 050-9137315. E-mail: schumska@gmail.com.

Стаття прийнята 24.03.2017 р.

УДК 626/627

ІМОВІРНІСНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ ГЕС ЗА КРИТЕРІЄМ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ ПРОТИ ЗСУВУ НА ПРИКЛАДІ ГІДРОВУЗЛІВ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ

Канд. техн. наук А. О. Мозговий (ХНУБА)

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ ГЕС ПО КРИТЕРИЮ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТИВ СДВИГА НА ПРИМЕРЕ ГИДРОУЗЛОВ ДНЕПРОВСКОГО КАСКАДА

Канд. техн. наук А. А. Мозговой (ХНУСА)

PROBABILISTIC RELIABILITY ASSESSMENT OF POWERHOUSES BY THE CRITERION OF STABILITY LOSS AGAINST DISPLACEMENT ON THE EXAMPLE OF HYDRO SCHEMES OF THE DNIEPER CASCADE

Cand. of techn. sciences A. Mozgovyy

Отримав подальший розвиток метод оцінювання надійності будівель ГЕС за критеріями втрати стійкості проти зсуву по плоских і нахилених поверхнях при поступальному та косому зсувах. При цьому враховано випадковий характер зовнішніх навантажень і впливів, які під час експлуатації сприймають будівлі ГЕС, а також кореляційні залежності між ними. Також узято до уваги випадковий характер механічних властивостей ґрунтів основи й кореляційні залежності між ними. Доведено, що запропонований метод може застосовуватися при ймовірнісних розрахунках надійності каскадів гідровузлів з урахуванням кореляційних залежностей між природними факторами: гідрологічними характеристиками, льодовими, вітровими і температурними навантаженнями і впливами.

Ключові слова: будівля гідроелектростанції, природні фактори, імовірнісна оцінка надійності, каскад гідровузлів.

Получил дальнейшее развитие метод оценки надежности зданий ГЕС по критериям потери стойкости против сдвига по плоским и наклонным поверхностям при поступательном и косом сдвигах. При этом учтен случайный характер внешних нагрузок и воздействий, которые во время эксплуатации воспринимают здания ГЕС, а также корреляционные зависимости между ними. Также учтен случайный характер механических свойств грунтов основания и корреляционные зависимости между ними. Доказано, что предложенный метод может применяться при вероятностных оценках надежности каскадов гидроузлов с учетом корреляционных зависимостей между природными факторами: гидрологическими характеристиками, ледовыми, ветровыми и температурными нагрузками и воздействиями.

Ключевые слова: здание гидроэлектростанции, природные факторы, вероятностная оценка надежности, каскад гидроузлов.

This work further develops the method for assessing reliability of powerhouses by the criteria of stability loss against forward and slanting displacement along flat and inclined surfaces. It also considers the random nature of mechanical properties of the soil in the foundation and correlations

between mechanical properties of the soil. In the future, the proposed method of probabilistic risk assessment of stability loss of powerhouses could be used in probabilistic reliability analyses of hydraulic structures and cascades of hydro schemes, taking into account the correlations between natural factors: hydrological characteristics, ice, and wind, as well as temperature loads and impacts.

Keywords: powerhouses, natural factors, probabilistic assessment, a cascade of hydro schemes.

Вступ. Проектування і розрахунків гідротехнічних споруд потребують оцінки їх надійності й безпеки на основі ймовірнісних методів [1, 2]. Одним із найбільш поширених типів споруд гідровузлів енергетичного призначення є будівлі гідроелектростанцій. Їх надійність впливає на надійність гідровузла і каскаду гідровузлів у цілому. Робота спрямована на вдосконалення методу оцінювання надійності будівель ГЕС, які входять до складу споруд водопідпільного фронту на прикладі гідровузлів Дніпровського каскаду.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Оцінювання надійності гідротехнічних споруд і каскадів гідровузлів з урахуванням кореляційних залежностей між природними факторами, методи аналізу їх стану з урахуванням натурних даних розглянуто у роботах О. І. Вайнберга [3], А. О. Мозгового [4-9], А. Gaspar [10], F. Lopez-Caballero [10], A. Modaressi-Farahmand-Razavi [10], O. Morales-Nápoles [11], D. J. Delgado-Hernández [11], D. De-León-Escobedo [11], Y. Li [12], Y. Sun [12], B. Li [12], M. Calamak [13], A. M. Yanmaz [13], M. Alembagheri [14], M. Seyedkazemi [14] та ін.

Не розв'язаною раніше частиною проблеми є те, що існуючі методи оцінювання надійності гідротехнічних споруд, зокрема будівель гідроелектростанцій, не враховують певні кореляційні залежності [4], які існують між природними факторами, котрі є визначальними при оцінюванні надійності каскадів гідровузлів [15, 16].

Мета дослідження. З урахуванням вітчизняного і закордонного досвіду оцінювання надійності об'єктів гідротехнічного будівництва актуальним постає завдання подальшого вдосконалення існуючих методів оцінювання надійності гідротехнічних споруд каскадів гідровузлів.

Основний матеріал і результати. Будівля ГЕС Кременчуцького гідровузла розташована між правобережною земляною і бетонною водозливними греблями. Будівля ГЕС без машинної зали. На ГЕС встановлено 12 вертикальних гідроагрегатів. Турбіни – поворотно-лопатеві потужністю 53 МВт. Будівля станції розділена температурно-осадочними швами на шість секцій. Розміри секцій у плані 50,0×63,80 м. Основою будівлі ГЕС служать граніти. Клас наслідків споруд гідровузла СС3.

За нормативним детерміністичним методом перевірка стійкості будівлі ГЕС проти зсуву виконується для основного й особливого сполучення навантажень. Відповідно до [17] стійкість будівлі ГЕС забезпечена при виконанні умови

$$\gamma_n \times \gamma_{lc} \times F \leq \gamma_c \times R, \quad (1)$$

де F – розрахункове значення узагальненого силового впливу з урахуванням коефіцієнта надійності за навантаженням γ_f ;

R – узагальнена несуча здатність споруди чи основи;

γ_c – коефіцієнт сполучення навантажень; для основного сполучення навантажень приймається $\gamma_c = 1,0$; для особливого

сполучення навантажень $\gamma_c = 0,9$; для сполучення навантажень у період будівництва $\gamma_c = 0,95$;

γ_c – коефіцієнт умов роботи (за нормами [18] при розрахунках стійкості будівель ГЕС на скельній основі приймається: для поверхонь зсуву, які проходять по тріщинах у масиві основи, $\gamma_c = 1$; для поверхонь зсуву, які проходять по контакту «бетон – скеля», $\gamma_c = 0,9$);

γ_n – коефіцієнт надійності, приймається згідно з [1].

Для оцінювання ризику втрати стійкості будівель ГЕС за методом граничних станів формулу (1) доцільно навести у вигляді

$$k = \frac{R}{F} \geq k_n = \frac{\gamma_n \times \gamma_c}{\gamma_{lc}}, \quad (2)$$

де k – розрахункове значення коефіцієнта запасу стійкості;

k_n – нормативне значення коефіцієнта запасу стійкості.

У результаті оцінювання надійності будівель ГЕС за нормативною детерміністичною методикою [19] отримано такі значення розрахункових і нормативних коефіцієнтів запасу стійкості при різних розрахункових випадках:

– будівля ГЕС (5-та секція) Київського гідровузла за даними роботи [3]: для основного сполучення навантажень $k_n = 1,20$; для особливого сполучення навантажень $k_n = 1,08$; 1-й розрахунковий випадок (р. в.): $k = 1,263$; 2-й р. в.: $k = 1,352$; 3-й р. в.: $k = 1,222$;

– будівля ГЕС (крайня секція) Канівського гідровузла: 1-й р. в.: $k = 1,47$; $k_n = 1,20$; 2-й р. в.: $k = 1,67$; $k_n = 1,20$; 3-й р. в.: $k = 2,78$; $k_n = 1,20$; 4-й р. в., особливе сполучення навантажень: $k = 2,38$; $k_n = 1,08$;

– будівля ГЕС (крайня секція) Кременчуцького гідровузла: 1-й р. в.:

$k = 2,91$; $k_n = 1,25$; 2-й р. в.: $k = 1,25$; $k_n = 3,04$; 3-й р. в.: $k = 3,33$; $k_n = 1,25$; 4-й р. в. (ремонтний): $k = 2,68$; $k_n = 1,19$; 5-й р. в., особливе сполучення навантажень: $k = 2,904$; $k_n = 1,125$;

– будівля ГЕС (крайня секція) Дніпродзержинського гідровузла: 1-й р. в.: $k = 2,973$; $k_n = 1,2$;

– будівля ГЕС (крайня секція) Каховського гідровузла: 1-й р. в.: $k = 2,42$; $k_n = 1,25$; 2-й р. в.: $k = 2,54$; $k_n = 1,25$; 3-й р. в., особливе сполучення навантажень: $k = 1,13$; $k_n = 2,15$.

Таким чином, надійність будівель ГЕС гідровузлів Дніпровського каскаду за умовою стійкості проти зсуву за детерміністичною методикою забезпечена.

Імовірнісна методика визначення ризику втрати стійкості будівлі ГЕС детально розглянута в роботі [3]. Розв'язання передбачає побудову рівняння зв'язку між вхідними і вихідними параметрами, визначення їх імовірнісних характеристик, а також імовірності ризику втрати стійкості будівлі ГЕС.

При розгляді схеми плоского поступального зсуву по горизонтальній чи нахиленій поверхнях рівняння зв'язку має вигляд

$$k = \frac{(V - W) \operatorname{tg} \varphi + c \cdot A_n}{F}, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт стійкості;

V – підсумок вертикальних сил, спрямованих униз;

W – підсумок вертикальних сил, спрямованих догори;

A_n – площа підшви споруди;

F – узагальнена сила зсуву.

У випадку піщаних ґрунтів доданком $c \cdot A_n$ можна знехтувати.

Вхідними параметрами є геометричні характеристики будівлі ГЕС, характеристики активних сил зсуву, а також пасивних сил, що опираються зсуву. Вихідним параметром є результат розрахунку – коефіцієнт стійкості.

Відповідно до ймовірнісної методики розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій необхідне знання розподілів випадкових величин, які відповідають призначеному терміну експлуатації споруди. Для будівлі ГЕС Кременчуцького гідровузла класу відповідальності ССЗ призначений термін експлуатації становить $T = 100$ років. Ординати функції розподілу максимальної швидкості вітру V , м/с, за призначений термін експлуатації T у географічному місці розташування Кременчуцького гідровузла отримані піднесенням до степеня T ординат розподілів щорічної швидкості вітру V_r , м/с.

Задається випадкова, розподілена від 0 до 1, імовірність pZ позначки рівня води Z , м, перед будівлею ГЕС. Статичний рівень води обумовлений максимальними паводковими витратами з урахуванням кореляційних залежностей між паводковими витратами по гідровузлах Дніпровського каскаду. Статистичні дані щодо забезпеченості максимальних витрат р. Дніпро по гідровузлах Дніпровського каскаду наведено у роботах [3, 4]. За значенням pZ визначається квантиль – позначка рівня води Z , м, перед будівлею ГЕС.

Між максимальними паводковими витратами р. Дніпро у створах гідровузлів каскаду згідно з [4] існує функціональна залежність. При виконанні кожного статистичного випробовування випадкова величина ймовірності pZ для будівель ГЕС гідровузлів Дніпровського каскаду задається однаковою.

Визначаються випадкові величини: середнє значення глибини води у водосховищі H , м; глибина води у водосховищі H_c , м, перед будівлею ГЕС; довжина розгону хвилі L , м; висота вітрового нагону dh , м; середня висота хвилі h_{cp} , м; середній період хвилі T_{cp} , с; середня довжина хвилі λ_{cp} , м; висота хвилі 1 % забезпеченості у системі хвиль $h_{1\%}$, м; максимальне значення горизонтального хвильового навантаження; підвищення вільної поверхні хвилі біля вертикальної

стілки будівлі ГЕС $\eta_{1\%}$, м; горизонтальне хвильове навантаження W_e , кН, на будівлю ГЕС.

Будується залежність між рівнем верхнього Z , м, і нижнього б'єфів $Z_{НБ}$, м.

Випадкова величина ймовірності фільтраційного протитиску в основі будівлі ГЕС pA_f [18] задається в інтервалі від 0 до 1, а за її значенням обчислюється квантиль – величина інтенсивності фільтраційного протитиску A_f , кПа, а також сила вертикального протитиску W_f , кН.

Випадкові величини: сила гідростатичного тиску з боку верхнього б'єфа $W_{ВБ}$, кН, сила гідростатичного тиску з боку нижнього б'єфа $W_{НБ}$, кН, сила зважувального протитиску G_w , МН, сила вертикального тиску ваги води у проточному тракті $G_w = 315,28$ МН – обчислено залежно від рівнів верхнього Z , м, і нижнього б'єфів $Z_{НБ}$, м.

Навантаження на будівлю ГЕС від ваги затворів $G_z = 15$ МН, ваги механізмів $G_M = 2$ МН, ваги мосту $G_{MT} = 2,85$ МН, корисне навантаження $G_K = 4$ МН прийнято детерміністичними.

На території України землетруси відбуваються внаслідок сейсмічної активності у зонах осередків землетрусів Карпатських гір, району Вранча, Криму. Для гідровузлів Дніпровського каскаду вони є статистично незалежними осередками землетрусів. Статистичні дані про їх сейсмічну активність опрацьовано у роботі [22]. За інтенсивністю землетрусу в його осередку визначено його інтенсивність у районі розташування гідровузла за аналітичними виразами [23].

Під час виконання кожного статистичного випробовування, урахуваючи статистичну незалежність осередків землетрусів, задаються випадкові щорічні ймовірності сейсмічних впливів pJ_g , розподілені від 0 до 1 у зонах осередків землетрусів Карпатських гір, району Вранча, Криму. За значенням pJ_g визначаються квантилі – бальність землетрусів J_g , бали. Здійснюється перерахунок бальності

землетрусів для району розташування й обирається найбільше значення для цього гідровузла. Виконується уточнення бальності землетрусу з урахуванням мікрорайонування місця розташування будівлі ГЕС за рекомендаціями [24]. Виконується перерахунок ординат кривої розподілу щорічного максимального сейсмічного впливу J_r у криву розподілу максимального сейсмічного впливу J за розрахунковий термін експлуатації. Будується ймовірнісна крива розподілу розрахункової амплітуди прискорення основи α_0 . Визначаються інерційні сили, розподілені по об'єму споруди, сейсмічний гідродинамічний тиск води на поверхню споруди, гідродинамічний тиск від сейсмічних хвиль, які виникають на поверхні водосховища при землетрусах. Інерційні сейсмічні навантаження відповідно до норм [25, 26] визначено за статичною теорією сейсмостійкості, згідно з якою споруда вважається такою, що не деформується, а під час землетрусу коливається з тими ж параметрами, що й ґрунти основи. Коефіцієнт динамічності прийнято 1,5. Будується ймовірнісна крива розподілу горизонтального інерційного сейсмічного навантаження S , кН.

Ймовірнісна крива розподілу горизонтальної проекції сейсмічної гідродинамічної сили тиску води E_{psg} , кН, будується залежно від розрахункової амплітуди прискорення основи α_0 (у частках g) будівлі ГЕС Кременчуцького гідровузла і визначається сейсмічний гідродинамічний тиск води.

Задається випадкова рівномірно розподілена від 0 до 1 ймовірність щільності ґрунту $p_{\rho g}$ греблі, що примикає до будівлі ГЕС, за якою розраховується квантиль – значення щільності ґрунту ρ_g .

Задається випадкова рівномірно розподілена від 0 до 1 ймовірність коефіцієнта внутрішнього тертя $p_{tg\phi g}$, за якою обчислюється квантиль – значення коефіцієнта внутрішнього тертя $tg\phi_g$.

За значеннями ρ_g та $tg\phi_g$ визначається сила бічного тиску ґрунту земляної греблі на будівлю ГЕС.

Обчислюються рівнодіючі вертикальних сил V і W та горизонтальних сил F , що діють на секцію будівлі ГЕС. При цьому враховуються як випадкові, так і детерміністичні навантаження.

Характеристики ґрунтів основи задані випадковими величинами відповідно до норм проектування основ гідротехнічних споруд [17, 27]. Коефіцієнт внутрішнього тертя $tg\phi$ і питоме зчеплення c задані за нормальним законом як випадкові корельовані величини. Такі величини підпорядковуються нормальному закону, який визначається п'ятьма параметрами, визначеними нижче: математичні очікування $m_{tg\phi} = 0,7$; $m_c = 100$ кПа; середньоквадратичні відхилення $\sigma_{tg\phi} = 0,0854$; $\sigma_c = 12,2$; коефіцієнт кореляції $r_{tg\phi c} = 0,937$. Визначається кореляційний момент $K_{tg\phi c} = 0,975$. Коефіцієнт варіації прийнято $C_v = 0,122$.

Задається випадкова ймовірність величини коефіцієнта внутрішнього тертя $ptg\phi$, розподілена від 0 до 1. За нормальним законом розподілу з наведеними вище параметрами $m_{tg\phi}$, $\sigma_{tg\phi}$ обчислюється квантиль – значення коефіцієнта внутрішнього тертя $tg\phi$. Визначаються параметри умовного закону розподілу $m_{tg\phi c}$, $\sigma_{tg\phi c}$. За відомою ймовірністю величини питомого зчеплення pc із використанням умовного закону розподілу обчислюється квантиль – значення величини питомого зчеплення c , кПа.

Розглядається схема плоского поступального зсуву по нахилений поверхні. Обчислюється значення коефіцієнта стійкості за формулою (3).

Розрахунок виконується методом статистичних випробовувань N разів. Кількість випробовувань, при яких $k < 1$, віднесена до їх загальної кількості N і визначає величину ризику втрати стійкості будівлі ГЕС за призначений термін експлуатації.

Ризик втрати стійкості будівлі ГЕС за
призначений термін експлуатації

перераховується у щорічну ймовірність
ризиків втрати стійкості (див. таблицю).

Таблиця

Результати розрахунків ризику втрати стійкості будівель ГЕС гідровузлів
Дніпровського каскаду

Клас споруди	Кількість статистичних випробувань	Розрахункове значення ризику втрати стійкості, рік ⁻¹	Довірчий інтервал, рік ⁻¹	Допустиме значення ризику втрати стійкості, рік ⁻¹
Будівля ГЕС Київського гідровузла (за даними роботи [3])				
СС2-1	$1,0 \times 10^7$	$2,1 \times 10^{-6}$	–	5×10^{-4}
Будівля ГЕС Канівського гідровузла				
СС2-1	1×10^6	$1,7 \times 10^{-5}$	$1,57 \times 10^{-5} - 1,74 \times 10^{-5}$	5×10^{-4}
Будівля ГЕС Кременчуцького гідровузла				
СС3	$1,1 \times 10^8$	$1,2 \times 10^{-7}$	$1,16 \times 10^{-7} - 1,3 \times 10^{-7}$	5×10^{-5}
Будівля ГЕС Дніпродзержинського гідровузла				
СС2-1	$7,7 \times 10^7$	$1,4 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-7} - 1,47 \times 10^{-7}$	5×10^{-4}
Будівля ГЕС Каховського гідровузла				
СС3	6×10^5	$2,76 \times 10^{-5}$	$2,67 \times 10^{-5} - 2,95 \times 10^{-5}$	5×10^{-5}

Висновки з досліджень і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку. Удосконалено методику оцінювання надійності будівель ГЕС за критерієм втрати стійкості проти зсуву з урахуванням імовірнісного характеру

навантажень, впливів, механічних властивостей основи і кореляційних залежностей між ними. Результати можуть застосовуватися при ймовірнісних розрахунках надійності гідротехнічних споруд і каскадів гідровузлів.

Список використаних джерел

1. Гідротехнічні споруди. Основні положення [Текст]: ДБН В.2.4–3:2010. — К. : Мінрегіонбуд України, ДП “Укрархбудінформ”, 2010. — 37 с.
2. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]: ДБН В.1.2 – 14:2009. — К. : Мінрегіонбуд України; ДП “Укрархбудінформ”, 2009. — 37 с.
3. Вайнберг, А. И. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений [Текст] / А. И. Вайнберг. – Харьков : Тяжпромавтоматика, 2008. – 304 с.
4. Мозговий, А. О. Дослідження кореляційної залежності максимальних витрат р. Дніпро за статистичними даними спостережень у створах гідровузлів Дніпровського каскаду [Текст] / А. О. Мозговий // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2011. – Вип. 65. – С. 364-370.
5. Мозговий, А. О. Імовірнісна оцінка ризику втрати стійкості проти зсуву бетонних гребель гідровузлів Дніпровського каскаду [Текст] / А. О. Мозговий // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць. Технічні науки. – Рівне: Вид-во НУВГП, 2013. – Вип. 2(62). – С. 154-165.

6. Мозговий, А. О. Оцінка надійності гребель із ґрунтових матеріалів за критерієм переливу води через гребінь греблі [Текст] / А. О. Мозговий // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Вид-во ОДАБА, 2013. – Вип. 49. – Ч. 2. – С. 178-184.
7. Мозговий, А. О. Імовірнісна оцінка надійності монтажних майданчиків будівель гідроелектростанцій за критеріями втрати стійкості проти зсуву і спливання на прикладі гідровузлів Дніпровського каскаду [Текст] / А. О. Мозговий // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 161. – С. 90-101.
8. Мозговий, А. О. Імовірнісна оцінка надійності шлюзів на нескельовій основі за критеріями міцності і стійкості проти зсуву камер шлюзів на прикладі гідровузлів Дніпровського каскаду [Текст] / А. О. Мозговий // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 165. – С. 99-109.
9. Мозговий, А. О. Імовірнісна оцінка надійності греблі із ґрунтових матеріалів гідровузла ГЕС Тхакмо у В'єтнамі за критерієм переливу води через гребінь греблі [Текст] / А. О. Мозговий // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2016. Т. 86, № 4. – С. 122-127.
10. Methodology for a probabilistic analysis of an RCC gravity dam construction. Modelling of temperature, hydration degree and ageing degree fields [Text] / A. Gaspar, F. Lopez-Caballero, A. Modaressi-Farahmand-Razavi [and others] // Engineering Structures. – 2014. – Vol. 65. – P. 99-110.
11. A continuous Bayesian network for earth dams' risk assessment: methodology and quantification [Text] / O. Morales-Nápoles, D. J. Delgado-Hernández, D. De-León-Escobedo [and others] // Structure and Infrastructure Engineering. – 2014. – Vol. 10. – Issue 5. – P. 589-603.
12. Penalty function-based method for obtaining a reliability indicator of gravity dam stability [Text] / Y. Li, Y. Sun, B. Li [and others] // Computers and Geotechnics. – 2016. – Vol. 81. – P. 19-25.
13. Calamak, M. Probabilistic assessment of slope stability for earth-fill dams having random soil parameters [Text] / M. Calamak, A.M. Yanmaz // 11th National Conference on Hydraulics in Civil Engineering & 5th International Symposium on Hydraulic Structures: Hydraulic Structures and Society-Engineering Challenges and Extremes. — Engineers Australia: 2014. — P. 34.
14. Alembagheri? M. Seismic performance sensitivity and uncertainty analysis of gravity dams [Text] / M. Alembagheri, M. Seyedkazemi // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. — 2015. — Vol. 44. — Issue 1. — P. 41—58.
15. Мозговий, А. О. Основні передумови оцінки безпечності і надійності каскадів гідровузлів [Текст] / А. О. Мозговий // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА, 2009. – Вип. 54. – С.272-277.
16. Мозговий, А. О. Загальні підходи щодо керування ризиком втрати надійності каскаду гідровузлів під час проходження катастрофічного паводку [Текст] / А. О. Мозговий // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХНУБА, 2013. – Вип. 73. – С. 531-536.
17. Основания гидротехнических сооружений [Текст]: СНиП 2.02.02-85. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. — 48 с.
18. Плотины бетонные и железобетонные [Текст]: СНиП 2.06.06-85. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 40 с.
19. Проектирование зданий ГЭС и ГАЭС. Расчеты и конструирование [Текст]: пособие к СНиП 2.06.01-86. П-884-91. – М.: ВНИИО «ГИДРОПРОЕКТ» им. С. Я. Жука, 1991. – 146 с.
20. Вайнберг, А. И. Особенности применения метода статистических испытаний при оценке надежности и безопасности гидротехнических сооружений в рамках системной теории надежности [Текст] / А. И. Вайнберг // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2008. – Вип. 48. – С. 269-277.
21. Мозговий, А. О. Аналіз статистичних даних вітрових впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду. Вибір параметрів функції розподілу вітрових впливів за

статистичними даними [Текст] / А. О. Мозговий // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127, ч. 1. – С. 171-175.

22. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) [Текст]: СНиП 2.06.04–82*. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 71 с.

23. Мозговий, А. О. Аналіз статистичних даних сейсмічної активності на території України. Вибір параметрів функції розподілу інтенсивності землетрусів за статистичними даними [Текст] / А. О. Мозговий // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА, 2010. – Вип. 58. – С. 264-270.

24. Idriss, I. M. Evaluating Seismic Risk In Engineering Practice [Text] / I. M. Idriss // Proc. Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. – San Fransisco, 1985. – Vol. 1. – P. 255-320.

25. Будівництво у сейсмічних районах України [Текст]: ДБН В.1.1-12 : 2014. – К. : Мінрегіон України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2014. – 110 с.

26. Учет сейсмических воздействий при проектировании гидротехнических сооружений [Текст]: пособие к СНиП II-7-81. Разд. 5. Гидротехнические сооружения. П 17-85. – Л. : Типография ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1986. – 310 с.

27. Проектирование оснований гидротехнических сооружений [Текст]: пособие к СНиП II-16-76. П 13-83. – Л. : Типография ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1984. – 402 с.

Мозговий Андрій Олександрович канд. техн. наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057)706-18-99. E-mail: mozgovoyandrey@i.ua.

Andriy O. Mozgovuy Ph.D, Associate Professor, Department of Hydro Construction Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057)706-18-99. E-mail: mozgovoyandrey@i.ua.

Стаття прийнята 01.03.2017 р.

УДК 624.138

ОБЗОР МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ГРУНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аспиранты А. С. Волкова, К. П. Лоцман

ОГЛЯД МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ ГРУНТІВ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

Аспіранти А. С. Волкова, К. П. Лоцман

REVIEW OF METHODS OF TECHNICAL MELIORATION OF SOILS USED IN ROAD CONSTRUCTION

Pg. A. S. Volkova, K. P. Lotsman

В статтє приведен аналитический обзор и классификация существующих методов технической мелиорации грунтов, которые применяются при строительстве. Дано краткое описание по каждому из методов, приведена область применения, выделены основные преимущества и недостатки. Исходя из анализа дано обоснование целесообразности и направления проведения исследований по механизации методов укрепления грунта, которые применимы в дорожном строительстве.

Ключевые слова: *техническая мелиорация грунтов, укрепление грунтов, физико-механические свойства, гранулометрический состав.*

У статті наведено аналітичний огляд і класифікація існуючих методів технічної меліорації ґрунтів, які застосовуються при будівництві. Далі в роботі дано короткий опис по кожному з методів, наведена галузь застосування, виділені основні переваги та недоліки. Виходячи з аналізу дано обґрунтування доцільності та напрямку проведення досліджень з механізації методів зміцнення ґрунту, які можна застосувати в дорожньому будівництві.

Ключові слова: *технічна меліорація ґрунтів, зміцнення ґрунтів, покращення фізико-механічних параметрів, гранулометричний склад.*

The development of transport infrastructure is a process of constant and necessary to ensure the growth of economy any country. He undoubtedly entails a rise in the number of used transport and consequently an increase in the volume of transported goods. Therefore, should take into account the fact that the development of transport infrastructure entails stricter requirements for the quality of the roads. Considering the established conservative technology in road construction, this article describes the relevance of the use of new methods of construction. For this it was reviewed and analyzed ways to apply and improve the methods of soil stabilization in road construction. As in the construction sector there are a considerable number, there is a need in detailed study of each of the methods. This will allow us to understand which of these methods is the most promising for the road construction, taking into account his improvement. Therefore, the article presents an analytical review and classification of existing methods of soil improvement that are possible for use in industrial, civil and road construction. Also, this is a brief description for each of the methods: what types of soils we apply the method, and what physical and mechanical parameters we can modify by application of the method. Also given the scope of each of the methods, the main advantages and disadvantages. Based on the analysis, given the rationale and areas for conducting research on the mechanization and automation of methods of soil strengthening, which are applicable in road construction.

Keywords: *technical soil stabilization, soil strengthening, improvement of physical and mechanical parameters, granulometric composition.*

Введение. Развитие транспортной инфраструктуры в современный период ведет к постоянному увеличению количества используемого транспорта и объемов перевозок различных грузов. Поэтому строительство дорог различного назначения – это процесс, который в условиях развития современной инфраструктуры не должен быть остановлен. Увеличение объемов перевозок влечет за собой значительный рост грузонапряженности, что само по себе требует повышения несущей способности дорожных оснований и улучшения качества покрытий как старых, так и вновь построенных дорог. Поскольку технология строительства за последние годы

установилась в определенном порядке и в большей степени является консервативной, то строительство новых участков дорог является процессом, который требует значительных финансовых и материальных затрат. С учетом постепенного истощения ископаемых для производства строительных материалов первоочередной задачей является максимальная минимизация строительных затрат. Выходом из данной ситуации может стать применение при строительстве дорожных оснований и одежд грунтов и других местных материалов в укрепленном виде. Согласно [1], при условии сохранения прочности, применение технологий с использованием укрепленных грунтов

вместо традиционных технологий с использованием каменных материалов может привести к снижению стоимости затрат на строительство в размере 20...60 %. Это достигается за счет применения стабилизаторов, которые способствуют повышению прочностных и деформационных характеристик грунта, а это путь к снижению потребности в дорогостоящих каменных материалах [2].

Данные технологии могут также найти применение в местах, где нет большой грузонапряженности (дороги внутри дачных или коттеджных поселков, различные спортплощадки, корты и т.д.), или же при строительстве временных дорог особого назначения (лесовозные и карьерные дороги). Чтобы понять, какой из методов укрепления выгоден в том или ином строительстве, необходимо провести детальный анализ всех существующих методов укрепления и определить их возможные преимущества и недостатки.

Основная часть. В любом регионе нашей страны в местах строительства дорог имеются в наличии природные дисперсные грунты, которые используются для строительства земляного полотна. Существенными недостатками этих грунтов являются очень малые значения прочностных параметров и параметров деформируемости [3-5]. Причем у большинства грунтов эти параметры зависят как от степени уплотнения, так и от влажности и гранулометрического состава. Улучшение физико-механических свойств местных грунтов практически всегда осуществляется при помощи применения методов технической мелиорации.

Техническая мелиорация – это наука, которая изучает и разрабатывает методы искусственного изменения свойств горных пород в соответствии с требованиями различных видов строительства [6]. Согласно [1, 6], методы технической мелиорации в зависимости от применимости делятся на два направления:

- поверхностные методы укрепления грунтов: используются в дорожном,

аэродромном и гидротехническом строительстве;

- глубинные (массивные) методы укрепления грунтов: используются в гражданском и гидротехническом строительстве.

Деление методов технической мелиорации в зависимости от технологии процесса имеет некую условность, так как большинство из них по своему содержанию не могут находиться в рамках одной какой-либо группы и зачастую довольно тесно связаны друг с другом [7]. Но несмотря на это существует классификация, согласно которой методы технической мелиорации делятся на три основных группы: физико-механические, физико-химические, химические [1, 6-8].

Физико-механические методы основаны на процессах размельчения, перемешивания и уплотнения грунта, которые способствуют более тесному контакту частиц грунта (уменьшение пористости), как между собой, так и с частицами вяжущего вещества, вводимого в грунт. Их более подробная классификация имеет следующий вид:

1) механические методы – базируются в основном на улучшении грунта путем смешивания и уплотнении грунта с помощью внешних нагрузок (давления, ударов, вибраций). Они включают в себя следующие способы:

- улучшение гранулометрического состава грунта;

- механическое уплотнение дисперсных грунтов статическими и динамическими нагрузками (гравитационное уплотнение, уплотнение грунтов укаткой, уплотнение грунтов трамбованием);

- сейсмическое уплотнение грунтов (уплотнение грунтов глубинными внутренними взрывами, уплотнение подводными взрывами – бывает как поверхностным, так и глубинным);

- виброуплотнение грунта (поверхностное, осуществляемое с помощью вибрирующей плиты, и глубинное гидроуплотнение, осуществляемое импульсной подачей воды);

- уплотнение грунтового массива сваями;
- армирование грунта (с использованием геосинтетиков и случайно распределенных волокон);
- улучшение работы грунтовых основ;
- обезвоживание грунта (осуществляется с помощью самотечного или гидродинамического дренажа);
- водонасыщение грунтов (замачивание).

Улучшение гранулометрического состава подразумевает под собой доведение состава грунта до состояния оптимального соотношения песчаных, пылевых и глинистых частиц [8]. Примером может быть ситуация, когда для достижения оптимального состояния в суглинки или пылеватые супеси добавляют гравий или же песок, а в гравий или крупнозернистый песок – суглинок. Таким образом удастся достигать удовлетворяющие показатели стойкости, несущей способности и сопротивления сдвигу между частицами грунта. Для осуществления этого метода, в основном, используются графоаналитические методы, такие как треугольная диаграмма Ферре [8].

Метод гравитационного уплотнения используется для уплотнения рыхлых и водонасыщенных грунтов (ил, торфяники) [7]. Осуществляется посредством приложения статических нагрузок, бывает наземным и подводным.

Уплотнение грунтов укатыванием чаще всего применяется в строительстве дорог, при подготовке оснований под полы в промышленных цехах, после планировки строительных площадок. Метод не является конечным сам по себе и поэтому требует создания твердых покрытий для обеспечения несущей способности и восприятия внешних нагрузок.

Трамбование имеет наибольшее применение в промышленно-гражданском строительстве [7]. Этот метод наиболее применим для пылевато-глинистых грунтов. В основном для трамбования

используют трамбующие машины, которые с некоторой высоты сбрасывают железобетонные или металлические трамбующие элементы массой до 7 тонн. В отдельных случаях могут использоваться сверхтяжелые трамбовки – массой до 80-100 тонн. При производстве работ таким методом возможны однослойное и двухслойное уплотнения, глубина утрамбованного грунта соответственно – 3,5 и 5 метров.

Методы сейсмического уплотнения реализуются при использовании энергии от взрывов. Как и предыдущий метод, этот метод используется при глубинном уплотнении массивов грунтов.

Виброуплотнение, в основном, применяется для песков и песчаных смесей. Поверхностное виброуплотнение производится вибрирующей плитой и используется для уплотнения оснований, дорожных одежд, песчаных подушек и насыпей. Глубинное уплотнение делается глубинными вибраторами с одновременным водонасыщением грунтов. Метод в основном применим для уплотнения оснований и позволяет повысить несущую способность грунтов.

Укрепление сваями является методом глубинного уплотнения – сперва создаются буровые скважины, далее они заполняются грунтом или иными наполнителями с последующим уплотнением. Такой метод уплотнения придает прочность грунтовым массивам и устраняет их просадочные свойства [7].

Метод армирования предполагает при возведении грунтовых конструкций использование специальных элементов, которые позволяют улучшить механические свойства грунта [8]. Находясь в составе грунтовой конструкции, армирующие элементы воспринимают часть нагрузки и перераспределяют напряжения по всей площади армирования. Наиболее перспективными в использовании являются геосинтетические материалы – объемные георешетки,

плоские геосетки, геоткани и геополотна. В отдельных случаях целесообразно применение метода распределения случайных волокон [9]. Его суть состоит в том, чтобы отдельные волокна (натуральные, искусственные, минеральные) смешать с массой грунта и тем самым придать ей усиленные характеристики.

В случаях, когда в основе находятся залежи слабого грунта (ил, торф, текучие глинистые грунты), целесообразно делать их замену на другие, которые имеют достаточно высокие механические характеристики – создание так называемой грунтовой подушки [10]. Метод имеет название улучшения работы грунтовых основ.

Обезвоживание грунта необходимо при его сильном насыщении водой или влагой. Такое бывает при близком расположении уровня грунтовых вод или при сезонном водонасыщении (например, весной при таянии снега). Чтобы избавиться от излишней воды, сооружают специальные дренажные системы. Метод чаще всего используется для предотвращения попадания воды на строительные площадки – поэтому является не основным, а защитным.

Метод водонасыщения или замачивания применим при строительстве на просадочных грунтах. Согласно [7], суть метода заключается в том, что при определенном насыщении водой под действием собственного веса или в сочетании с нагрузкой от объекта строительства разрушается структура грунта, он уплотняется и теряет свои просадочные свойства. Этот метод применим в промышленно-гражданском строительстве, как до проведения строительных работ, так и в период эксплуатации объектов;

2) физические методы [7, 9, 10] используют физические поля (электрические температурные, магнитные). Применение этих методов позволяет повышать такие параметры грунта, как прочность, плотность, водо- и

морозостойкость, а также устранять их просадочные свойства. Наиболее широкое распространение получили такие методы:

- электрохимическое закрепление (упрочнение пород с помощью постоянного электрического тока, как с добавками, так и без);

- термическое уплотнение (глубинный обжиг без нарушения строения грунта, термическое упрочнение грунтов с нарушенным строением, замораживание грунта;

- электроосушение (электроосмотическое осушение).

Суть методов заключается в том, чтобы пропустить постоянный электрический ток через сильно влажные глинистые грунты [7, 8]. Для этого в грунт забивают специальные электроды и пускают ток от источника питания. При этом возникают химические реакции и образуются вещества, которые упрочняют структуру грунта. Во время прохождения тока вода из порообразований постепенно передвигается от анода к катоду, что обеспечивает дополнительное осушение грунта (электроосмос) [9]. Эффективность метода можно увеличить, если предварительно ввести в грунт растворы солей или химических веществ, которые могут поспособствовать образованию новых и более прочных структурных связей.

При обжиге используют высокие температуры, которые обжигают грунт и таким образом придают ему прочность [7, 9]. Для этого в грунте сначала бурят скважины, а потом в них подают горячие газы, которые и обжигают грунт. Другой вариант этого метода – сжигание горючего вещества в самих скважинах. От такого воздействия в радиусе 1-1,5 метра от скважины грунт превращается в камнеподобное состояние, похожее на кирпич, становится прочным, водостойчивым и теряет просадочные свойства.

Использование отрицательных температур главным образом применяется при закреплении обводненных грунтов с целью прекращения движения грунтовой

воды и проникновения ее в строительный котлован [7, 9]. Суть состоит в том, что вокруг места работ бурятся скважины, в которые потом подается холодный раствор (обычно это раствор хлористого кальция). От холода раствора вода замерзает и вокруг

котлована образуется лёдогрунтовая стенка, что дает возможность проведения строительных работ.

Вышеперечисленные методы, их сфера применения, основные преимущества и недостатки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические методы улучшения грунта

Название метода	Разновидность	Рекомендуемые грунты	Преимущества / недостатки	Сфера применения
1	2	3	4	5
Улучшение гранулометрического состава грунта	-	Пески, пылеватые супеси, суглинки	Относительно прост / не является конечным	При подготовке к выполнению строительных работ
Уплотнение	Гравитационное уплотнение	Рыхлые, водонасыщенные (ил, торфяники), сильносжимаемые	Отсутствие потребности в механизации / потребность в дополнительных материалах, высокая трудоемкость	При подготовке к выполнению строительных работ
	Укатывание	Дисперсные грунты при определенном водонасыщении	Относительно прост, не нуждается в механизации / небольшая толщина уплотнения	Послойное возведение насыпей земляного полотна, земляных подушек, основ под полы
	Трамбование	Песчаные, песчано-гравийные, пылевато-глинистые грунты	Простота метода, возможность применения в зимних условиях / быстрый износ механизмов и тросов машин	В промышленном и гражданском строительстве
	Сейсмическое уплотнение	Просадочные грунты, супеси, суглинки, лессовые грунты	Возможность быстрого уплотнения, небольшая стоимость / необходима определенная влажность грунтов, неравномерное уплотнение по толщине слоя, невозможность применения вблизи зданий и сооружений	В промышленном и гражданском строительстве

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
	Виброуплотнение	Песчаные, песчано-гравийные, пылевато-глинистые грунты	Простота в эксплуатации, маневренность / грунт должен обладать оптимальной влажностью, плотность грунта по глубине неравномерна	В промышленном, гражданском и дорожном строительстве
Укрепление сваями	Сваи буронабивные	Все грунты (исключая скальные, крупнообломочные, обводненные, структурно-неустойчивые)	Экономия материалов (изготавливают любой длины), возможность проведения работ вблизи зданий и сооружений, отсутствие значительных динамических воздействий / по всей высоте сваи невозможно контролировать плотность и монолитность бетона, возможен размыв грунтовыми водами незастывшего бетона	В промышленном и гражданском строительстве
	Сваи вибротрамбованные	Сухие связные грунты	Изготовление свай с различной несущей способностью / шумность, запрет проведения работ вблизи зданий	В промышленном и гражданском строительстве
	Сваи бурозавинчивающиеся	При любых геословиях	Быстрота и всесезонность монтажа, использование на сложных рельефах и любых грунтах / коррозия, сложный контроль качества сварных швов	В промышленном и гражданском строительстве
	Песчаные сваи	Водонасыщенные пески, содержащие органические примеси, лессовые просадочные грунты	Экономичность / необходимость очень тщательного уплотнения грунта	В промышленном и гражданском строительстве

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Армирование	Семейство геосинтетиков	Глинистые, просадочные, на территориях со сложными гидрогеологическими климатическими условиями	Простота проведения работ, применение в стеснённых условиях, экономичность, экологичность / сложность в бережном обращении с некоторыми материалами	При укреплении в гражданском и дорожном строительстве
	Случайно распределенные волокна	Все виды грунтов, кроме переувлажненных	Широкий спектр применяемых материалов / сложность контроля равномерности смеси	При укреплении в гражданском и дорожном строительстве
Улучшение работы грунтовых основ	-	При работах на слабых грунтах (ил, торфяники)	Относительно недорогой / не всегда прост в осуществлении	В промышленном и гражданском строительстве
Обезвоживание	Иглофильтры, дренажи	Песчаные грунты, супеси	Быстрота действия, малая трудоемкость / невозможность проведения работ вблизи зданий и сооружений	В промышленном и гражданском строительстве
	Вакуумный метод	Мелкозернистые грунты	Возможность применения в сложных гидрогеологических условиях / необходимость постоянного использования энергии и отвода выкачанной воды	В промышленном и гражданском строительстве
Водонасыщение	-	Просадочные грунты	Относительно прост и недорогостоящ / сезонность применения	В промышленном и гражданском строительстве
Электрохимическое закрепление	Как с добавками, так и без	Переувлажненные глинистые грунты и супеси	Самый подходящий метод для водонасыщенных грунтов / необходимость периодической смены полярности	В промышленном и гражданском строительстве

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Электро-осмос	-	Переувлажненные глинистые грунты и супеси	Самый подходящий метод для водонасыщенных грунтов / необходимость периодической смены полярности	В промышленном и гражданском строительстве
Термическое закрепление	Обжиг горячими газами или сжигаемым топливом	Увлажненные лесовидные и пылевато-глинистые грунты	Относительно быстрый набор прочности / высокая цена	В промышленном и гражданском строительстве
	Замораживание рассольное либо с помощью азота	Водоносные грунты (от глинистых до скальных трещиноватых и кавернозных)	Возможно использование любых водоносных грунтов, на любой глубине, наличие хорошо развитой научно-технической базы / небольшая продолжительность сохранения эффекта (только при действии замораживающей установки), естественное оттаивание продолжительно, влажность грунта повышается (так как происходит миграция воды от теплых к охлажденным слоям грунта)	В промышленном и гражданском строительстве

Физико-химические методы предназначены для обработки дисперсных грунтов на поверхности. Их суть [6, 7] состоит в том, чтобы обработать грунты небольшими дозировками реагентов (в количестве 1...3 % от веса грунта), которые изменяют обменную способность грунта. Цель таких методов заключается в том, чтобы либо изменить параметры структуры грунтов (диспергация, агрегация), либо их защитить (гидрофобизация).

К физико-химическим методам относятся:

- кольматация и глинизация грунтов;

- солонцевание грунтов;
- гидрофобизация грунтов.

Кольматация является собой процесс насыщения порового пространства грунта мелкими водонерастворимыми (пылеватыми или глинистыми) частицами [6]. Они забивают имеющееся пространство между структурными частичками грунта и тем самым ухудшают его фильтруемость. Это не дает укрепляемому грунту насыщаться водой.

Глинизация (тампотаж) – это способ укрепления, при котором вымыв глинистых суспензий в поры и трещины пород

осуществляется под давлением до 20 атмосфер, а иногда и более [6].

Солонцевание грунтов – это обработка грунтов соляными растворами. Действие метода заключается в диспергации грунтовых масс путем замены в их поглощающем комплексе обменных многовалентных катионов (кальция и магния) на одновалентные (натрия и калия) [6, 7].

Гидрофобизация это – метод, при котором грунтовые структуры покрывают поверхностно-активными веществами (ПАВ) [6]. Такая обработка позволяет грунту отталкивать воду и за счет этого удерживаться в связанном состоянии.

Методы, приведенные выше, чаще всего используются в дорожном и аэродромном строительстве. В табл. 2 показано краткое основное содержание по каждому из физико-химических методов.

Таблица 2

Физико-химические методы улучшения грунта

Название метода	Разновидность	Рекомендуемые грунты	Преимущества / недостатки	Сфера применения
Кольматация	-	Супеси, суглинки и лессовые грунты	Обеспечение порозаполняемости во всем объеме грунта на все время / использование только при условии отсутствия дренажа	В промышленном, гражданском и дорожном строительстве
Глинизация	-	Скальные, гравелистые, трещиноватые грунты и супеси	Упрочняют структуру обрабатываемого грунта / метод применим только для сухих пород и при условии небольших скоростей движения грунтовых вод	В промышленном, гражданском и дорожном строительстве
Солонцевание	-	Глинистые и суглинистые грунты	Не требует сложных технологий и материальных затрат / негативно влияет на окружающую среду и качество грунтовых вод	В промышленном, гражданском и дорожном строительстве
Гидрофобизация	-	Глинистые и суглинистые грунты	Не требует сложных технологий и материальных затрат / негативно влияет на окружающую среду, относительная дороговизна некоторых ПАВ	В промышленном, гражданском и дорожном строительстве

Действие химических методов основано на введении в грунт химических реагентов в количестве 1-5 %. При

подобных методах упрочнение грунтов происходит за счет изменения их состава и характера структурных связей между

частицами. В химических методах в качестве реагентов используют органические и минеральные вяжущие вещества, а также различные стабилизаторы грунта. Обработка органическими вяжущими и стабилизаторами используется при проведении поверхностных методов укрепления, обработка неорганическими вяжущими – при проведении глубинных методов. Результатом изменения свойств грунтов при использовании подобных методов становится увеличение прочности, водо- и морозостойкости, уменьшение водопроницаемости [1, 6-10].

Методы химической стабилизации включают в себя:

- упрочнение грунтов органическими вяжущими веществами (битумизация (холодная и горячая), упрочнение грунтов синтетическими полимерными смолами), применение энзимов;

- упрочнение грунтов минеральными вяжущими веществами (цементация, известкование, использование шлаков, зол уноса, шлаковых цементов, гипсовых и ангидридовых вяжущих);

- силикатизация – упрочнение грунтов растворами силиката натрия (одно- или двухрастворная силикатизация, газовая силикатизация).

Битумизация основана на введении в грунт битумов [7, 9-12]. Они могут быть в виде расплавов, эмульсий, паст. Битумные смеси используются как горячие, так и холодные. Битумизация применима в глубинном и поверхностном укреплении. В большинстве случаев горячая битумизация сочетается с холодной, так как горячий битум не может проникнуть в мелкие трещины (менее 1 мм). Холодная битумизация считается тем успешнее, чем мельче частицы битума в эмульсии.

Смолизация – упрочнение грунтов синтетическими полимерами (смолами) [6, 9, 10]. Грунт и клеящее вещество образуют массив с улучшенными характеристиками (твердый, однородный). В качестве клеящих используют различные вещества:

фенолформальдегидные, мочевиноформальдегидные (карбамидные), фенолфурфурольные, фурфуроланилиновые. Склеивание грунтов может осуществляться разными методами: последовательно – первым закачивают клей (раствор смолы), далее – отвердитель, и одновременно – закачивание в грунт клея и отвердителя, смешанных до начала процесса.

Метод укрепления грунтов с помощью энзимов [9] используется для укрепления грунтов под линейные объекты строительства (дороги, железные дороги, трубопроводы и т.д.). В полимерной структуре энзимов есть полости, которые включают гидрофобные и гидрофильные радикалы и группировки. Поверхностное натяжение воды уменьшается, если растворить в ней фермент, поскольку энзимы обладают свойствами ПАВ и действуют как гидрофобизирующие вещества. В результате молекулярное и электростатическое взаимодействие между частицами грунта усиливается. Так как структура воды изменяется, это способствует ее интенсивному удалению. Таким образом создается более плотный грунт.

Методы укрепления грунтов минеральными вяжущими имеют большое разнообразие, так как в качестве реагентов используется огромная вариация минеральных веществ [13-22]. Для укрепления естественных и техногенных грунтов применяют следующие основные минеральные вяжущие материалы:

- портландцемент, шлакопортландцемент, известково-шлаковый цемент, а также другие виды цементов марок не ниже 300;

- известь молотую негашеную, известь гидратную, известь гидрофобизированную 1-го и 2-го сортов.

В качестве вяжущих или их компонентов используют следующие неорганические отходы и побочные продукты производства:

- гипсошлаковые и портландцементо-шламовые вяжущие;

- золы уноса сухого отбора;
- золошлаковые смеси гидроудаления;
- пыль уноса цементных заводов;
- нефелиновый шлам и бокситовый шлам;
- фосфополугидрат кальция;
- комплексные вяжущие (состоят из основного компонента и активатора твердения).

Наряду с традиционным использованием органических и минеральных вяжущих для укрепления грунтов в последнее время широкое применение приобретают стабилизаторы грунта. Все стабилизаторы по своему составу и природе взаимодействия с грунтами объединены в два основных класса [13]: к первому классу относят ионные закрепители глинистых грунтов (в основном применимы для глинистых

грунтов), ко второму классу относят полимерные эмульсии (в основном применимы для песчаных грунтов). Результаты исследований и опытных работ [13, 22] с использованием стабилизаторов дали основания для следующих выводов:

- применение стабилизатора позволяет снизить величину оптимальной влажности грунта и способствует повышению плотности слоя на 5-10 %;
- использование стабилизаторов дает возможность увеличить прочность и модуль упругости обработанных грунтов (рис. 1) [13];
- водонасыщение грунтов, обработанных стабилизатором, по отношению к необработанным снижается в 1,3-2,5 раза;
- прочность обработанного грунта зависит от концентрации стабилизатора (рис. 2) [22].

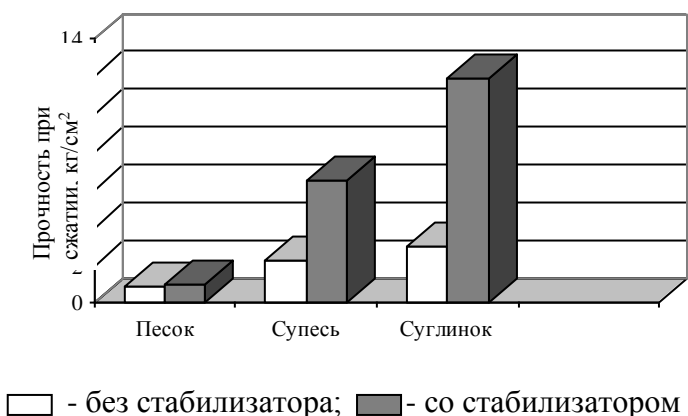


Рис. 1. Зависимость прочности грунтов от наличия добавки стабилизатора

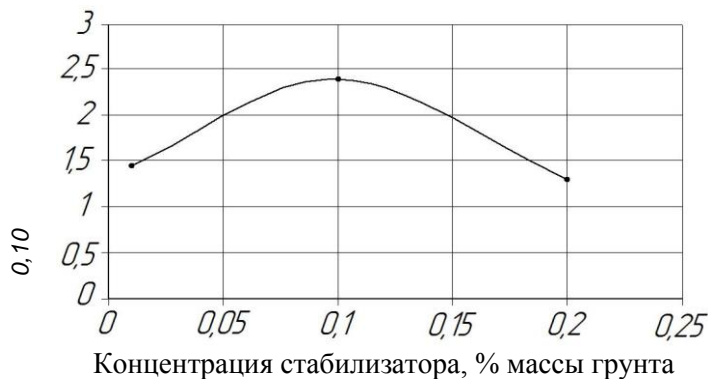


Рис. 2. Зависимость прочности суглинка от концентрации стабилизатора

Метод силикатизации [7, 9, 10] основан на внедрении в состав грунта технического силиката натрия (жидкого стекла), который реагирует с частицами грунта и в процессе реакции выделяет гель – играет роль искусственного цемента грунтов. Упрочнение достигается путем нагнетания жидкого стекла специальными инъекторами. В результате этого грунты становятся прочными, водонепроницаемы-

ми и теряют свои просадочные свойства. Метод применим как до строительства, так и во время эксплуатации объекта. Отличительной особенностью метода является то, что при применении в лессовых грунтах силикатизации можно подвергать всю просадочную толщу лессового массива. Краткая характеристика некоторых химических методов закрепления грунта приведена в табл. 3.

Таблица 3

Химические методы улучшения грунта

Название метода	Разновидность	Рекомендуемые грунты	Преимущества / недостатки	Сфера применения
1	2	3	4	5
Битумизация	Горячая	Скальные трещиноватые породы	Возможность применения грунтов с любыми агрессивными водами, для больших скоростей водного потока / сложное техническое оборудование, повышенные меры безопасности	В промышленном, гражданском и дорожном строительстве
	Холодная	Скальные трещиноватые породы, пески	Экономия топлива, трудозатрат, битума / сильная текучесть битума (возможность прорыва битумизационной завесы под большим давлением грунтовых вод)	В промышленном, гражданском и дорожном строительстве
Смолизация	Одно- или двухрас-творная	Песчаные и лессовые грунты	Высокая прочность, быстрый набор прочности, устойчивость грунта к действию агрессивных сред / выделение карбамидными смолами токсичного формальдегида	В промышленном и гражданском строительстве
Укрепление энзимами	-	Глинистые грунты	Экономия затрат на этапах строительства и эксплуатации / отсутствие нормативов, малая изученность метода	В промышленном, гражданском и дорожном строительстве

1	2	3	4	5
Укрепление минеральными вяжущими	Цементация, известкование, применение зол уноса, шлаков, шламов и комплексных вяжущих	Гравелистые, крупные и среднезернистые пески, глины	Высокая скорость, возможность работать в стесненных условиях, гибкость, маневренность / дорогостоящее оборудование	В промышленном, гражданском и дорожном строительстве
Применение стабилизаторов	Разновидность методов заключается в разновидности стабилизаторов	Глинистые грунты, суглинки, супеси	Высокие показатели улучшения обрабатываемых грунтов / применение дорогостоящих материалов и оборудования	В промышленном, гражданском и дорожном строительстве
Силикатизация	Однорастворная	Пески, пылеватые пески (пывуны), лессовые, просадочные грунты	Надежность, долговечность, экономичность. Отсутствие воздействия агрессивных сред / ограничение по влажности грунта	В промышленном и гражданском строительстве
	Двухростворная		Экономия времени, высокая прочность, более однородный массив (по сравнению с однорастворной) / ограничение по влажности грунта	
	Газовая		Укрепление за короткий промежуток времени / повышенные экономические затраты	

Влияние гранулометрического состава на физико-механические свойства стабилизированных грунтов наименее изучено. Так, в работе [23] указывается, что «в нормативных документах не приводится указаний к выбору гранулометрического состава..., однако если требуются упругая работа насыпи и высокие фильтрационные

характеристики (насыпи под автомобильные дороги и железные дороги, подготовка дна котлована), следует использовать однородные гранулометрические составы, обеспечивающие стабильную структуру грунта и высокие значения модуля деформации».

Достигнуть требуемой однородности грунта в дорожном строительстве можно путем его дробления и измельчения механизированным способом на этапе смешивания с активными компонентами. Этот процесс измельчения и смешивания грунта энергоемкий, но он будет определять качество насыпи. С точки зрения механизации, указанные операции требуют применения специальных механизированных средств, таких как ресайклеры [1, 13], в которых осуществляется ввод активных добавок и интенсивное смешивание.

Заключение. Анализ существующих методов технической мелиорации показал, что в дорожном строительстве применяются лишь некоторые из них: уплотнение укатыванием и с помощью вибрации, армирование геосинтетиками, кольматация, глинизация, солонцевание, гидрофобизация, битумизация, применение энзимов, укрепление с помощью минеральных вяжущих и специальных стабилизаторов. Большинство из этих методов являются перспективными для дальнейшего развития или модернизации, но те, которые входят в группы физико-химических и химических, являются наиболее перспективными. Их развитие и совершенствование требует, с одной стороны, минимизации затрат на строительство, а с другой стороны – обеспечения соответствующего качества дорог. Такая задача, на наш взгляд, может быть решена путем оценки удельных затрат на выполнение механизированных работ, в том числе стабилизации грунтов, и удельных затрат по последующему текущему содержанию дорог, которые зависят, главным образом, от первоначального качества.

Проведенный обзор показал, что наименее изученным критерием, определяющим качество земляного полотна, является гранулометрический состав (распределение частиц по размерам) грунта, подлежащего стабилизации с

последующим уплотнением. Тогда задача исследователей в этом направлении сводится к поиску рациональной области среднего размера частиц грунта ($r_{\text{ср опт}}$) на основе оценки удельных затрат производства механизированных работ (C_1) и удельных затрат на последующее текущее содержание дороги (C_2), как это показано на рис. 3. Процесс измельчения грунтов и смешивания с активными компонентами является энергоемким, поэтому удельные затраты на выполнение таких работ будут тем выше, чем выше тонкость помола, рис. 3, кривая C_1 . С другой стороны, тонкость помола определяет физико-механические свойства насыпи, что оказывает влияние на затраты по текущему содержанию дороги. То есть с повышением размера частиц эти затраты могут расти, рис. 3, кривая C_2 , а кривая суммы двух удельных затрат будет иметь минимум, рис. 3, кривая ΣC , который, в конечном итоге определит рациональное значение $r_{\text{ср}}$.

Таким образом, поиск рационального гранулометрического состава местных грунтов при их стабилизации в дорожном строительстве является актуальной научно-технической задачей.

Выводы:

1. Преобладающим типом грунтов Украины, используемых в дорожно-строительных работах, являются глинистые грунты, суглинки и супеси. При их укреплении в насыпи чаще всего используются физико-химические и химические методы с последующим механическим уплотнением.

2. Среди множества факторов, оказывающих влияние на физико-механические свойства укрепленного грунта, наименее изученным является гранулометрический состав грунта. Здесь определяющими являются степень однородности и средний размер частиц, что может быть достигнуто за счет применения специальной техники, например, ресайклеров.

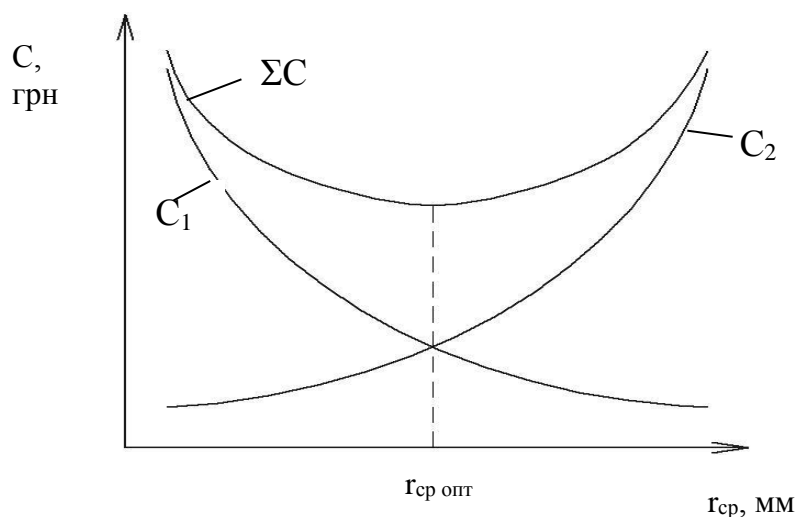


Рис. 3. Удельные затраты на строительство и текущее содержание дороги в функции среднего размера частиц стабилизируемого грунта

3. Процесс смешивания и дозированного ввода активных компонентов с последующим уплотнением является энергоемким, поэтому при производстве механизированных работ по укреплению грунтов следует в первую очередь оценивать процесс строительства с точки зрения экономических показателей и влияния на них перечисленных факторов.

4. Установление рациональной области среднего размера частиц грунта и степени однородности следует вести с учетом удельных затрат на производство механизированных работ и удельных затрат на последующее текущее содержание дороги, сумма которых имеет область минимума.

Список использованных источников

1. Ушаков, В. В. Строительство автомобильных дорог [Текст]: учебник / коллектив авторов; под ред. В. В. Ушакова и В. М. Ольховикова. – М.: Кнорус, 2013. – 576 с.
2. Разуваев, Д. А. Использование стабилизаторов грунтов при расширении сети автомобильных дорог местного значения [Текст] / Д. А. Разуваев, А. Л. Ланис // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Издательство ПНИПУ, 2012. – Т. 3. – С. 223-228.
3. ДСТУ Б А.1.1-25-94. Грунти. Терміни та визначення [Текст]. – Чинний з 1994–10–01. – К.: Держбуд України, 2001. – 52 с.
4. ДСТУ Б В.2.1-17: 2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей [Текст]. – На зміну ГОСТ 5180-84; чинний з 2010-10-01. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 23 с.
5. ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96). Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості [Текст]. – На зміну ГОСТ 12248-78, ГОСТ 17245-79, ГОСТ 23908-79, ГОСТ 24586-90, ГОСТ 25585-83, ГОСТ 26518-85; чинний з 1997–04–01. – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 102 с.

6. Бабаскин, Ю. Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог [Текст]: курс лекций / Ю. Г. Бабаскин. – Минск: БНТУ, 2002. – 197 с.
7. Ананьев, В. П. Инженерная геология [Текст]: учеб. для строит. спец. вузов / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высш. шк., 2005. – 575 с.
8. Чаусов, М. Г. Укріплення ґрунтів [Текст]: навч.-метод. посібник / М. Г. Чаусов, О. М. Бесараб, В. П. Ярославський; за заг. ред. проф., д.т.н. М. Г. Чаусова. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2013. – 184 с.
9. Игошева, Л. А. Обзор основных методов укрепления грунтов основания [Текст] / Л. А. Игошева, А. С. Гришина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 5-21. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.2.01.
10. Коробова, О. А. Усиление оснований и реконструкция фундаментов [Текст] : учеб. пособие / О. А. Коробова. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. – 332 с.
11. Budge, A.S. Subgrade stabilization ME properties evaluation and implementation [Text] / A.S. Budge, M.J. Burdorf // Final report, center for transportation research and innovation Minnesota State University. – Mankato. – 2012.
12. Hashemian L., Kavussi A., Homayoun H. Aboalmaali. Application of foam bitumen in cold recycling and hydrated lime in airport pavement strengthening [Text] / L. Hashemian, A. Kavussi, Homayoun H. Aboalmaali // Case Studies in Construction Materials. – 2014. – N 1. – P. 164–171.
13. Фурсов, С. Г. Автомобильные дороги и мосты. Строительство конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами [Текст]: обзорная информация. Вып. 3 / Г. С. Фурсов. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2007. – 81 с.
14. Эффективные технологии строительства дорог и аэродромов [Текст] // Журнал современных строительных технологий «Красная линия». Выпуск: ДОРОГИ. – 2012. – № 66. – С. 30-36.
15. Гусев, Н. К. Строительство конструктивных слоев аэродромных и дорожных одежд из местных материалов [Текст] / Н. К. Гусев // Наука и техника в дорожной отрасли. – М.: ЗАО «Издательство “Дороги”», 2013. - №2. – С. 21-22.
16. Beeghly, J. H. Recent experiences with lime-fly ash stabilization of pavement subgrade soils, base, and recycled asphalt [Text] / J.H. Beeghly // Proceedings of international ash utilization symposium. – Lexington. – 2003. – P. 435-452.
17. Magdi, M.E. Zumrawi. Stabilization of pavement subgrade by using fly ash activated by cement [Text] / Magdi M.E. Zumrawi // American Journal of Civil Engineering and Architecture. – 2015. – Vol. 3, no. 6. – P. 218-224. Doi: 10.12691/ajcea-3-6-5.
18. Makusa, G.P. Soil stabilization methods and materials (In engineering practice) [Text] / PhD student G.P. Makusa // Lulea university of technology. – Sweden. – 2012.
19. Oneylowe, K.C. A comparative review of soil modification methods [Text] / K.C. Oneylowe, F.O. Okafor // ARPN Journal of earth sciences. – November 2012. – Vol. 1, no. 2. – P. 36-41.
20. Olinic, T. The effect of quicklime stabilization on soil properties [Text] / T/ Olinic, E. Olinic // Agriculture and agricultural science procedia. – 2016. – N 10. – P. 444–451.
21. Celauro, B. Design procedures for soil-lime stabilization for road and railway embankments. Part 1 – review of design methods [Text] / B. Celauro, A. Bevilacqua, D. Lo Bosco, C. Celauro. – Procedia – social and behavioral sciences. – 2012. – N 53. – P. 755–764.
22. Инновационные технологии, материалы в промышленно-гражданском строительстве. О технологии полимерных эмульсий [Электронный ресурс]: информация / компания ООО «Комплекс Роудс». – Режим доступа: http://www.complrds.ru/teor_polimer.php.

23. Мирный, А. Ю. Зависимость сжимаемости несвязных грунтов от степени однородности гранулометрического состава [Текст] / А.Ю. Мирный, Е.А. Гайков, А.О. Зубов // Вестник Мордовского университета. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 2016. – Т. 26. – С. 12-19. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201601.012-019.

Волкова Анастасія Сергіївна, аспірант кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: an.vasyan@yandex.ru.
Лоцман Клеоніка Павлівна, аспірант кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту.

Volkova Anastasiia, postgraduate student, Department of Construction, track and loading-unloading machines, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: an.vasyan@yandex.ru.
Lotsman Kleonika, postgraduate student, Department of Construction, track and loading-unloading machines, Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 24.03.2017 р.

УДК 624.012.45:620.191/192

CONSIDERATION OF THE EFFECT OF THE CROSS-SECTION SHAPE ON THE BEARING CAPACITY OF INCLINED SECTIONS IN DESIGN STANDARDS

Doct. of techn. sciences V. M. Karpyuk, cand. of techn. sciences F. R. Karpyuk,
O. M. Krantovska, L. M. Ksenschkevich

УРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕТИНУ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗІВ У НОРМАХ ПРОЕКТУВАННЯ

Д-р техн. наук В. М. Карпюк, кандидати техн. наук Ф. Р. Карп'юк,
О. М. Крантовська, Л. М. Ксьоншкевич (Одеська державна академія будівництва та архітектури (ОДАБА))

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ В НОРМАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Д-р техн. наук В. М. Карпюк, кандидаты техн. наук Ф. Р. Карпюк,
Е. Н. Крантовская, Л. Н. Ксеншкевич (Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОГАСА))

It isn't enough concrete data on influence of a form of cross section on the bearing ability of elements. As a rule, the models of sections are already idealized previously on the basis of the available dependences established in the relevant normative documents.

Key words: reinforced concrete members; bearing capacity; strength; building codes.

Конкретних даних про вплив форми поперечного перерізу на несучу здатність елементів недостатньо. Як правило, моделі перетинів вже попередньо ідеалізуються на підставі наявних залежностей, які встановлені у відповідних нормативних документах.

Ключові слова: залізобетонні елементи, несуча здатність, міцність, будівельні норми.

Конкретных данных о влиянии формы поперечного сечения на несущую способность элементов недостаточно. Как правило, модели сечений уже предварительно идеализируются на основании имеющихся зависимостей, установленных в соответствующих нормативных документах.

Ключевые слова: железобетонные элементы, несущая способность, прочность, строительные нормы.

The statement of problem and the analysis of researches. The method of balance of boundary efforts in an inclined section developed in forties of previous century by O. O. Gvozdevii and M. S. Borishanskiy became famous and was acknowledged and included in the next normative documents [1] and new norms [2] of Russia. Taking into account the complexity of harmonization of European [3] and Soviet [1] normative documents that have as general approaches as essential differences, European norms of design of reinforced concrete constructions [4] are introduced on the territory of Ukraine. The main demand of that is the deformative method of calculation of reinforced concrete elements that permits to forecast the deformability, crack resistance and power, mainly, of their normal sections in terms of the united positions. The foundation of calculation of inclined sections with the use of the deformative method is laid in works [5, 6]. At the same time, in present new norms of design [4], the existent influence on the bearing ability of inclined sections of some factors including the geometric form of section isn't really considered. Therefore, the realization of experimental and theoretical researches in a current way is an **actual task**.

The objective of the study consists in a detailed experimental and theoretical research of VAT and the bearing ability of bearing parcels previously strained T-shaped reinforced concrete elements, the improvement of deformative model of work of present elements.

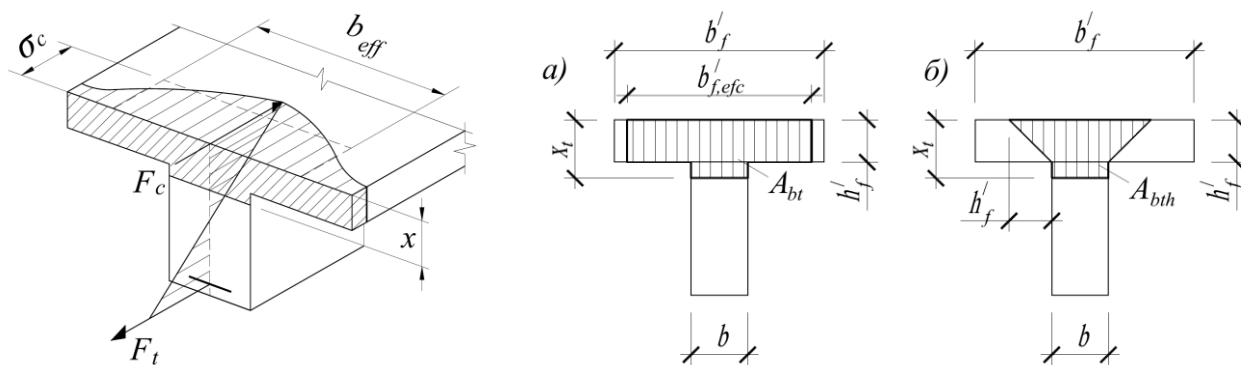
The presentation of principal material. According to the accepted plan of system researches [7] were executed the corresponding experiments [5]. In the capacity of the testing, the next factors are accepted: a relative bearer of section in view of bearing

parcels a/h_0 (factor X_1), the width b'_f/b (X_2) and the thickness h'_f/h_0 (X_3) of compressed shelf of transversal cutover, the quantity of transversal ferro-concrete reinforcement μ_{sw} (X_4) and the dimension of previous tension σ_{sp} (X_5) of operating ferro-concrete reinforcement of T-shaped reinforced concrete elements. Whereas, the accepted research factors could influence and influence in a nonlinear way on emergent parameters, then research models-beams were made and tested on almost D-optimal plan of type Ha-5 [8].

The reinforced concrete elements with the transversal sections of different forms (T-shaped, double-T, box-shaped and other) compose the meaningful part of combined and monolithic constructions, where the data about their work under the loading is limited. The necessity of the evaluation of influence of the forms of section of elements on the ability that carries the deformability and crack resistance appears not only during the bend and pressure, but that is particularly important, during the complex kinds of strained state, such as a slanting, off-center pressure, a slanting bend when the form of pressured zone has a triangular or trapezium-shape outline.

In not-numerous native [5, 6, 9, 10, 11] and foreign studies is indicated the possibility of influence of a form of transversal section on the parameters that determine on the bearing ability of elements, however it isn't enough concrete data on these questions, at the same time, as a rule, the models are idealized in advance on the basis of present dependences, established in the relevant normative documents.

The most effective form of a transversal section of reinforced concrete elements that are characterized by an alternating diagram of tensions is T-shaped (double-T) (pic. 1).



Pic. 1. The idealization of distribution of tensions in truncated cornices of T-shaped section:
 a – the zone of perception of normal tensions;
 b – the zone of perception of tangent tensions

In consequence of concentration of a pressured zone of concrete in a thin full-blown shelf are efficiently used the strong characteristics of the concrete during the simultaneous reduction of a stretched zone of concrete to the narrow edge, that doesn't take part directly in the perception of the stretched efforts but that is necessary mainly for the setting a working, longitudinal and transversal reinforcement, and also the bearing of a knocked together effort [12].

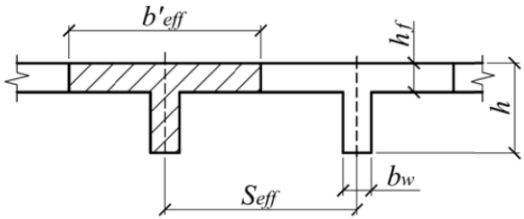
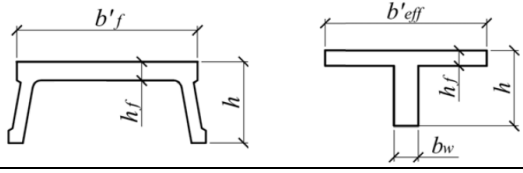
The compressed cornices of shelves of T-shaped sections on their length function irregularly that is reflected on their common work with the edge to the extensible direction that can't be in full measure provided. It's explained by various reasons, where the main one is a local loss of durability of cornices, their excessive flexion and as well a possible cutoff at the place of combination of shelf and edge. Having big meanings of width of cornices, the distant from the edge, parts of cornices are strained less than approximate to the edge, that's why the compressive tensions

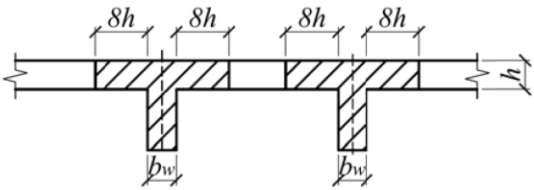
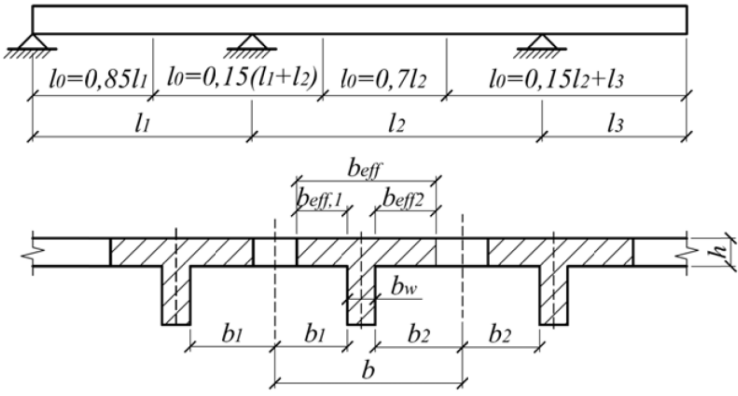
on the width of shelf practically are distributed irregularly, especially on the wide and thin shelves - at the ends of cornices they are considerably smaller than near the edge. It's happening because of the deplanation (contortion) of section on the length: the deformations of borders fall behind the deformations of the middle. Therefore, the model of transversal section is idealized in the calculations in the different norms, limiting the width of cornices of b'_f T-shaped (double-T) section that is counted in the calculation replacing it by the equivalent (efficient) width of cornices of the shelf $b'_{f,efc}$ and considering that the constant compressed tensions (a dotted line in the pic. 1) function by the whole square of a compressed zone of concrete.

The main not numerous dependences for the determination of an efficient width of cornices of the shelf $b'_{f,efc}$ are used in the relevant normative documents, presented in the table 1.

The table 1

The idealization of receipted into the calculation in different norms of design the width of compressed cornices of shelves in T-shaped sections

The name of a normative document	The dimension of an efficient width of cornices of the shelf
1	2
	<p>1. In the monolithic constructions</p>  <p>a) in the presence $h'_t \geq 0,1h$ of the transversal edges,</p> $b'_{eff} \leq b_w + 2\left(\frac{1}{6}l_{eff}\right) \text{ and } b'_{eff} \leq b_w + 2\left(\frac{1}{2}S_{eff}\right),$ <p>where l_{eff} - the bay of the element.</p> <p>b) in the absence of the transversal edges or in the distance between them that is bigger than the distance between the longitudinal edges and by $h'_t < 0,1h$</p> $b'_{eff} = b_w + 2(6h'_f)$
<p>BC 2.03.01- 84* [1] BC 52-01 - 2003 [2] ВСВ 5.03.01- 02 [13]</p>	<p>2. In mixed constructions</p> <p><u>an actual section</u> <u>an equivalent section</u></p>  <p>a) by $h'_f \geq 0,1h$,</p> $b'_{eff} = b_w + 2(6h'_f);$ <p>b) by $0,05h \leq h'_f < 0,1h$,</p> $b'_{eff} = b_w + 2(3h_f);$ <p>c) by $h_f < 0,05h$ the cornices in the work aren't taken into account - the section is accepted by the rectangle,</p> $b_{eff} = b_w.$

1	2
<p>ACI 318 - 05 [16]</p>	 <p>The dimension of an efficient width of cornices of the shelf is accepted.</p> $b'_{eff} = b_w + 16h'_f.$
<p>EN 1992-1-1 [3] NBC B.2.6-98:2009 [4] TKP EN 1992- 1-1 [14] DIN 1045- 1 [15]</p>	 $b'_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w,$ <p>at that $b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0, b_{eff,i} \leq b_i$</p> <p>In addition, for T-shaped beams are considered the conditions:</p>
	<p>$b_{eff,i} \leq 6h'_{f,i}$ - in the presence of the shelf by two sides. $b_{eff,i} \leq 4h'_{f,i}$ - in the presence of the shelf by one side.</p>
<p>Economic concrete frame elements [17]</p>	<p>According to the type of beam.</p> <p>a) for one bay beams $b_{eff} = b_w + 0,2l_{eff}$</p> <p>b) for continuous beams $b_{eff} = b_w + 0,14l_{eff}$,</p> <p>where l_{eff} - the bay of the element.</p>
<p>Theory of Elasticity [18]</p>	$b_{eff} = 0,85 \frac{4l_{eff}}{\pi(3 + 2\vartheta - \vartheta^2)}$

The table 2

The comparison of the results of the accounts of the bearing ability of inclined sections previously strained T-shaped reinforced-concrete beams with the experimental data

№ of research	The experimental data	The calculated meanings of destructive transversal power, determined by the method					The form of destruction [5]
	the meaning of destructive transversal power \hat{Q}_v [5]	EN 1992-1:2001[2] ДБН В.2.6-98:2009 [4]	DIN-1045-1.12.1998[15]	ACI CODE 318-95 [16]	СНиП 52.101-2004 [2]	СНиП 2.03.01-84*[1]	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	87,49	68,60	140,77	120,29	68,77	86,65	-from M by/tr.
2	93,29	111,71	115,26	84,24	100,93	88,24	-on the line
3	76,49	111,71	91,09	101,36	100,93	79,93	-on the line
4	64,69	27,90	106,31	65,31	40,22	44,68	-from Q by/tr.
5	94,29	111,71	89,94	100,95	100,93	88,24	-on the line
6	82,49	68,60	104,76	64,90	68,77	86,65	-from M by/tr.
7	69,69	26,70	141,77	121,43	40,22	51,84	-from Q by/tr.
8	75,49	111,71	115,93	85,38	100,93	79,93	-on the line
9	96,29	111,71	115,26	120,29	100,93	88,24	-on the line
10	84,49	50,50	140,77	84,24	67,15	98,20	-from M by/tr.
11	67,69	24,60	106,31	101,36	40,22	51,84	-from Q by/tr.
12	73,49	111,71	91,09	101,36	100,93	79,93	-on the line
13	78,49	111,71	115,93	121,43	100,93	79,93	-on the line
14	66,69	25,70	141,77	85,38	40,22	50,05	-from Q by/tr.
15	85,49	74,50	104,76	100,95	66,19	98,20	-from M by/tr.
16	91,29	111,71	89,94	64,90	66,19	88,24	-on the line

1	2	3	4	5	6	7	8
17	76,70	49,10	127,81	91,85	64,27	81,82	-from M by/tr.
18	85,50	111,71	106,43	91,85	100,93	83,60	-on the line
19	81,00	37,86	121,70	109,88	52,94	83,55	-from Q by/tr.
20	78,00	37,71	121,70	73,83	52,94	83,55	-from Q by/tr.
21	82,10	37,84	133,99	103,03	52,94	97,11	-from Q by/tr.
22	80,10	37,74	101,57	83,20	52,94	66,59	-from Q by/tr.
23	90,99	43,18	120,92	91,36	68,14	83,55	-from Q by/tr.
24	73,19	33,30	122,08	92,10	40,12	66,59	-from Q by/tr.
25	81,10	37,31	121,70	91,85	52,94	83,55	-from Q by/tr.
26	81,10	38,29	121,70	91,85	52,94	80,66	-from Q by/tr.
27	81,10	37,80	121,70	91,85	52,94	94,61	-from Q by/tr.

The conclusions:

1. The analysis of different dependences, presented in the table 1, demonstrates that the present approaches for the idealization of the models of sections of a complicated form are different and possibly will correspond to the different level of reliability of constructions.

2. The most of the norms don't connect the dimension of an efficient width of cornices of the shelf ((with the correlation h_f / h , don't divide the elements by the form of a

transversal section (T or double-T shaped) and the elaboration of (mixed or monolithic) and as well, don't consider the supplementary factors in the form of shoring from transversal edges and other.

3. At the same time in the norms of design [3, 4, 14, 15, 16], nowise is considered really the existent influence of the form of section on the bearing ability of inclined sections.

Used references

1. BC 2.03.01-84* «The concrete and ferroconcrete constructions. The norms of design». - Gosstroy USSR – M.: CDC Gosstroy USSR, 1985. - 79 p.

2. BC 52-101-2003 «The concrete and ferroconcrete constructions without preliminary tension of ferro-concrete reinforcement». – M.: NP «SRICF» Gosstroy Russia, 2004. - 55 p.

3. EN1992-1:2001 (Final Draft, April, 2002) Eurocode-2: Design of Concrete Structures – Part 1: General Rules and Rules for Building. – Brussels-2002, Oktober. – 230 p.

4. NBC B.2.6-98:2009 « The concrete and ferroconcrete constructions. The main positions. – Kiev.: MDC Ukraine, 2011. – 71 p.

5. Karpyuk F. R. Strength, crack resistance and deformability of previously compressed T-shaped ferroconcrete elements / F. R. Karpyuk // Diss. CEng. – Odessa, 2010. – 222 p.
6. Golishev O. B. The class of lecture on the basis of calculation of building constructions and the support of reinforced concrete / O. B. Golishev, A. M. Bambura. – Kiev: Logos, 2004. – 340 p.
7. Dorofeev V. S. About the necessity and the position of systematic researches of strength, crack resistance and deformability of supported areas of ferroconcrete elements, experienced the difficult deformations with the purpose of the precision and development of the methods of their calculation/ V. S. Dorofeev, V. M. Karpyuk, E. N. Krantovskaya, F. R. Karpyuk, N. I. Shepetyuk, N. N. Yaroshevitch // Building constructions. Coll. scien. Studies discharge 62. – Kiev: NDBIK, 2005. – P.160-167.
8. Voznesenski V. A. Statistic methods of planning of an experiment in technical and economical researches / V. A. Voznesenski // 2-nd ed. corr. and suppl. – M.: Finances and statistics, 1981. – 215 p.
9. Vakhnenko V. P. Modern methods of calculation of ferroconcrete constructions on the difficult types of deformations/ V. P. Vakhnenko. – K.: Budivel'nik, 1992. - 112 p.
10. Zalesov A. S. Strength of ferroconcrete constructions in an operation of transversal forces / A. S. Zalesov, U. A. Klimov, – K.: Budivel'nik, 1989. - 105 p.
11. Klymenko E. V. Strength of an inclined section of slanting and bending ferroconcrete T-shaped elements/ E. V. Klymenko // Diss. CEng. – Poltava, 1984. – 241 p.
12. Shalobyta N. N. Peculiarities of the idealization in the calculations of ferroconcrete elements of sections of a complicated form / Shalobyta N. N., Masilevish A. V., Shalobyta T. P. // Vestnik Brest State Technical University, discharge №1. – Brest.: BSTU, 2013. – P.135-139.
13. BC 5.03.01-02 «The concrete and ferroconcrete constructions». – Minsk.: Stroitekhnorm, 2002г. – 274 p.
14. Design of ferroconcrete constructions: ТКР EN 1992-1-1-2009 (02250). Euro code 2. – Minsk: Ministry of architecture and construction of the Republic of Belarus, 2010. – P. 1-1: Common rules and rules for the buildings.
15. (DIN 1045-1) Tragenwerke aus Beton, Stahlbeton und Spahbeton. Teil: Bemessung und Construction. - Berlin, 1998. – 178 p.
16. ACI 318-95. Building Code Requirements for Reinforced Concrete. ACI 318-95 and Commentegeru (318-95R). – American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1995. – 369 p.
17. Economic concrete frame elements. C H Goodchild British cement association. Publication 97.358. 1997.
18. Theory of elasticity By S. Timoshenko and J. N. Goodier. McGraw-Hill Book Company, inc. 1951.

Карпюк Василь Михайлович, д-р техн. наук, професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури. E-mail: v.karpiuk@ukr.net.

Крантовська Олена Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри опору матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури. E-mail: elena14122007@gmail.com; elena12122007@mail.ru.

Карп'юк Федір Романович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури. Тел.: (38067)580-21-73. E-mail: fedot_od@ukr.net.

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

Karpiuk Vasil Mihailovich, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa (Ukraine). E-mail: v.karpiuk@ukr.net.

Krantovska Olena Mykolaivna, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Docent, Associate Professor at the Department of Strength of Materials, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa (Ukraine). Tel.:(38066)047-45-10. E-mail: elena14122007@gmail.com; elena12122007@mail.ru.

Karpiuk Fedir Romanovich, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Docent, Associate Professor at the Department of Building Structures, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa (Ukraine).

Tel.:(38067)580-21-73. E-mail: fedot_od@ukr.net.

Ksenshkevich L. M., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Docent, Associate Professor at the 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.

Стаття прийнята 27.03.2017 р.

УДК 624.072.002.2

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРУБЧАТЫХ СТЕРЖНЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

О. Н. Козлова (научный сотрудник ТОВ «Научно-производственное объединение «УКРБУДЭКСПЕРТ» г. Киев)

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТРУБЧАСТИХ СТРИЖНІВ НА СТІЙКІСТЬ З РЕГУЛЮВАННЯМ ЗАЛИШКОВОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ

О. М. Козлова (научовий співробітник ТОВ «Науково-виробниче об'єднання «УКРБУДЕКСПЕРТ» м. Київ)

METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF TUBULAR RODS ON STABILITY WITH REGULATION OF RESIDUAL TENSIVE STATE

O. Kozlova (researcher "Scientific and Production Association "UKRBUDEXPERT", Kiev)

Работоспособность любой конструкции определяется не только требованиями прочности, но и требованиями устойчивости отдельных ее элементов. При потере устойчивости отдельного сварного элемента нарушается нормальная работа всей конструкции, в состав которой входит деформировавшийся стержень, что равноценно разрушению всей конструкции.

В связи с тем, что в сварных конструкциях имеет место напряженно-деформированное состояние, созданное в процессе сварки, важно выяснить степень его влияния на местную и общую устойчивость элементов сварных конструкций.

Цель настоящих исследований – проведение экспериментальных испытаний на устойчивость сжатых стержней трубчатого сечения с регулированием остаточного напряженного состояния путем наплавки холостых валиков по образующим.

Ключевые слова: остаточные напряжения, бесшовные трубы, устойчивость.

Працездатність будь-якої конструкції визначається не лише вимогами міцності, але і вимогами стійкості окремих її елементів. При втраті стійкості окремого зварного елемента порушується нормальна робота всієї конструкції, до складу якої входить стержень, що деформувався. Це рівноцінно її руйнуванню.

У зв'язку з тим, що в зварних конструкціях має місце напружено-деформований стан, створений в процесі зварювання, важливо з'ясувати його вплив на місцеву і загальну стійкість елементів зварних конструкцій.

Мета даних досліджень – проведення експериментальних випробувань на стійкість стиснених стержнів трубчастого перетину з регулюванням залишкового напруженого стану шляхом наплавлення холостих валиків по твірних.

Ключові слова: залишкові напруження, безшовні труби, стійкість.

The capacity of any construction is determined not only the requirements of durability but also requirements of stability of its separate elements. At the loss of stability of the separate welded element, normal work of all of construction which the deformed bar enters in the complement of is violated, that equivalently to its destruction.

In connection with that the tensely-deformed state, created in the process of welding, takes a place in the welded constructions, it is important to find out the degree of its influence on local and common stability of elements of the welded constructions.

A purpose of the real researches is conducting of experimental tests on stability of the compressed bars of tubular section with adjusting of the remaining tense state by single rollers on formative.

Keywords: remaining tensions, nonsuture pipes, stability.

Введение. Влияние напряжений, вызванных сваркой, (остаточные напряжения) на общую устойчивость элементов сварных конструкций изучалось как отечественными, так и зарубежными учеными. В полной мере этот вопрос представляет интерес и для элементов из бесшовных труб, поскольку они входят в состав большепролетных покрытий гражданских и промышленных зданий, башенных сооружений, мачт и т.п.

Институт электросварки НАН Украины в 30-е годы прошлого столетия проводил исследования элементов из труб с наплавленными валиками и без них на внецентренное сжатие [1]. Результат проведенных исследований – за счет регулирования остаточного напряженного состояния (ОНС) было достигнуто повышение устойчивости почти на 17 %.

Влияние ОНС на поведение сжатых элементов из труб отмечено в работе Я. Августына [2]. В качестве экспериментальных образцов применялись бесшовные трубы диаметром 40, 44 и 60 мм при толщине стенки 3–4 мм. На образцах производилась односторонняя и двусторонняя наплавка, а также

исследовались образцы без наплавки. Перед наплавкой образцы отпускались при температуре 640°C. Принимались во внимание только остаточные напряжения, направленные параллельно продольной оси элементов. Толщина стенки гарантировала отсутствие местного выпучивания. По результатам работы сделаны выводы о снижении критической нагрузки для шарнирно-опертых элементов небольших гибкостей.

Но и до сегодняшнего времени этот вопрос нельзя назвать решенным.

Исследования, проведенные в области влияния остаточных сварочных напряжений на общую устойчивость сварных стержней, позволяют установить некоторые достоверные предположения [3]:

- зона остаточных напряжений растяжения в сварных стержнях оказывает положительное влияние. Однако степень положительного влияния может быть разной, в зависимости от места расположения растянутой зоны по сечению элемента;

- при расположении растянутой зоны на периферии сечения она может повысить несущую способность элемента;

- при належному використанні напружених, створюваних зваркою, можна підвищувати несущу здатність стиснутих елементів, подібно тому, як зварочні напруження можуть бути використані для підвищення вносливості зварних конструкцій.

Возрастающие требования к несущей способности и деформативности конструкций при одновременном уменьшении металлоемкости вызывают необходимость анализа их ОНС с учетом технологии изготовления и условий эксплуатации.

Удачное и оптимальное применение трубчатых конструкций, по мнению автора, возможно при всестороннем изучении действительной работы этих конструкций и их элементов. Поэтому исследование устойчивости стержней из труб имеет весьма важное значение.

Анализ последних достижений и публикаций. При проектировании несущих элементов строительных конструкций из трубчатых профилей следует использовать соответствующую нормативную базу [4, 5 и др.]. В настоящее время в нормативной литературе отсутствуют данные по расчету и учету ОНС.

Определение цели и задач исследований. Цель настоящих исследований – изучение влияния ОНС на устойчивость элементов из стальных труб путем регулирования остаточного напряженного состояния.

Основная часть исследований. Статические преимущества трубчатых стержней при центральной сжатии обеспечили широкое распространение труб в качестве конструкционного материала. Начиная с XVIII столетия трубы применяются в различных отраслях техники. Так, для конструкций гражданских зданий и в мостостроении использовались чугунные трубы. В результате значительного прогресса трубного производства, в частности, в связи с созданием в конце XIX столетия высокопроизводительных раскаточных

агрегатов, резко увеличился выпуск бесшовных труб. Эти трубы начали широко применяться для элементов различных механизмов и конструкций.

Существовавшие в тот период способы соединения элементов, в том числе – болтовые и заклепочные, а также хомуты не позволяли создавать простые и надежные узлы и стыки. Трубчатые конструкции (ТК) были очень сложны. Высокая цена и, главное, трудовые затраты при изготовлении определяли непомерную дороговизну ТК. Благодаря этому до 30-х годов прошлого столетия строительные ТК почти не встречались.

Развитие электросварки привело к созданию новых форм стальных конструкций и сооружений. Использование труб сделалось значительно более рациональным, ибо узловое сопряжение и стыки элементов намного упростились. Трубчатые конструкции начинают приобретать популярность в строительной практике. Первые известные нам сообщения о применении труб в строительных конструкциях появились в отечественной печати в 1925 г. [6]. Проблемами использования трубчатых профилей занимались также и зарубежные ученые [7].

Однако отмеченные выше возможности более полного использования основного металла при сварке требуют одновременно более полного учета влияния самого процесса на свойства основного металла и на его работоспособность в основных конструкциях и изделиях. Среди такого рода проблем, имеющих исключительно большое значение при определении возможности использования сварки в трубчатых конструкциях, центральное место занимает проблема сварочных остаточных напряжений (ОН) и деформаций [8].

Как известно, ОН в сечениях элементов оказывают неоднозначное влияние на несущую способность и устойчивость конструкции, т.е. они могут

как снижать, так и увеличивать величины критических сил. В связи с этим для обеспечения надежной эксплуатации ОН должны быть распределены в сечениях конструкций таким образом, чтобы их влияние было положительным.

Создание зон остаточных растягивающих напряжений (ОН) возможно путем наплавки сварных швов (холостых валиков) на поверхности трубы по образующим. Получаемое при таких воздействиях распределение ОН в сечениях конструкций, приводящее к увеличению несущей способности, в дальнейшем будет называться оптимальным.

На основании вышеизложенного, учитывая актуальность проблемы, ведется работа по исследованию распределения ОН и их влияния на устойчивость и несущую способность сжатых стержней трубчатого сечения.

Характер распределения деформаций и напряжений, возникающих в элементах после изготовления с применением сварки, лучше всего изучать экспериментально. По результатам правильно поставленного эксперимента можно судить о степени влияния того или иного явления на процесс развития сварочных деформаций и напряжений. В некоторых случаях исследования деформаций и напряжений при сварке сложных конструкций экспериментальный метод является единственно возможным в виду сложности расчета.

Предлагаемый способ повышения несущей способности стержней ТК предусматривает наложение сварных швов по образующим в условиях завода металлоконструкций или строительной площадки. В заводских условиях швы могут накладываться автоматической или полуавтоматической сваркой, в условиях площадки – ручной сваркой.

Методика экспериментальных исследований ОНС, возникающего в элементах из труб после предварительного термического воздействия путем наплавки

сварных швов, и их результаты рассмотрены ранее [9].

В соответствии с поставленными задачами в этой части работы предусматривалось:

- изготовление экспериментальных образцов (далее образцов) – элементов трубчатого сечения с остаточным состоянием, возникающим после предварительного напряжения путем наплавки холостых валиков по образующим, и контрольных образцов, изготовленных из труб в состоянии поставки;

- проведение сравнительных испытаний изготовленных образцов при одинаковых значениях эксцентриситета приложения вертикальной нагрузки в пределах серии образцов;

- проведение сравнительных испытаний изготовленных образцов при центральном приложении вертикальной нагрузки в пределах серии образцов;

- сопоставление результатов испытаний образцов с остаточным состоянием и контрольных образцов (в состоянии поставки);

- исследование возможности повышения устойчивости сжатых элементов за счет наплавки сварных швов, в т.ч. и на части длины;

- использование полученного экспериментального материала для подготовки рекомендаций по расчету сжатых элементов из труб.

Для проведения экспериментальных исследований использовались четыре партии образцов (см. таблицу). В ходе проведения исследований в первую очередь оценивалось влияние остаточных растягивающих напряжений, возникающих после наплавки холостых валиков по образующим, в сравнении с результатами испытаний элементов, изготовленных из труб в состоянии поставки.

Таблица

Объем основного эксперимента

Серия образцов	Сечение	Количество	Площадь, см ²	Длина, мм	Гибкость, λ
1	2	3	4	5	6
ТК-1	Стержни из трубчатых элементов Ø 76x4,5 (испытание с эксцентриситетом 1 см)	3	10,1	2600 (2650*)	100
ТК-2	Стержни из трубчатых элементов Ø 76x4,5 с наплавкой одного холостого валика по образующей (испытание с эксцентриситетом 1 см)	3	10,1	2600 (2650*)	100
ТК-3	Стержни из трубчатых элементов Ø 76x4,5 (испытание на центральное сжатие)	2	10,1	2600 (2650*)	100
ТК-4	Стержни из трубчатых элементов Ø 76x4,5 с наплавленными тремя холостыми валиками по образующим под углом 120° (испытание на центральное сжатие)	2	10,1	2600 (2650*)	100

Примечание. Помеченные * – расстояние между осями катка и шара.

Гибкость образцов определялась с учетом наличия опорных приспособлений.

Все образцы в пределах серии испытывались с применением одинаковых опорных приспособлений, состоящих из верхней и нижней опоры. Верхняя и нижняя опоры состоят из двух частей: съемных, устанавливаемых на торцы образцов, и несъемных, устанавливаемых на опорные части тележки и подвижной траверсы пресса. Между съемной и несъемной частями в специально выполненном пазу устанавливается каток (в нижней опоре) и металлический шар (в верхней опоре) для обеспечения шарнирности опор. Такая схема закрепления элементов позволила провести испытания образцов в плоскости минимальной гибкости с минимальным эксцентриситетом.

Опорные приспособления для испытаний стержней были изготовлены с возможностью моделирования работы элемента фермы из трубчатых элементов (эксцентриситет приложения нагрузки принят 1 см). Наложение сварных швов выполнялось только на отдельных участках с предварительным расчетом необходимого количества тепловложений, таким образом, чтобы сварочные деформации отсутствовали или были незначительными. Но при этом в этих участках труб осуществлялось перераспределение остаточного состояния, положительно влияющего на устойчивость и несущую способность трубчатого элемента.

Схема наплавки холостых валиков представлена на рис. 1.

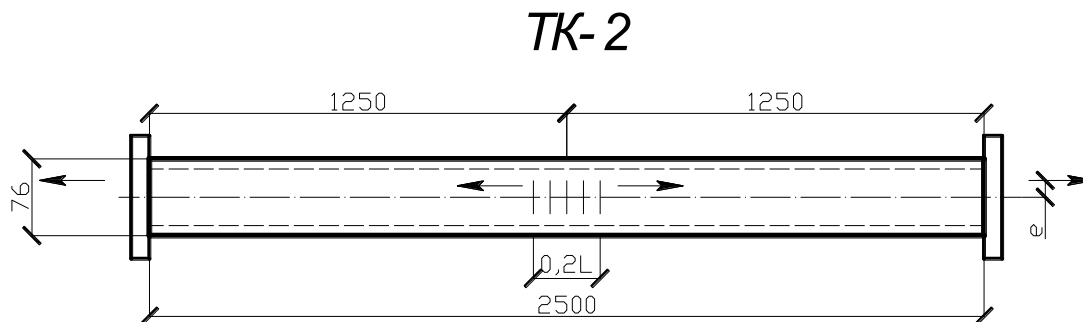


Рис. 1. Конструкция образцов трубчатых элементов серии ТК-2:
 e – эксцентриситет приложения нагрузки

Испытания образцов проводились в такой последовательности:

1. На образцы первой партии ТК-1 устанавливались и закреплялись опорные части, разработанные индивидуально для каждой серии образцов.

2. Образец с опорными приспособлениями устанавливался под пресс. Благодаря специальной конструкции опорных частей испытания каждого образца выполнялись при одинаковых эксцентриситетах приложения нагрузки.

3. На помещенный под пресс образец устанавливался прогибомер ПАО - 6 и производилось нагружение пробной нагрузкой (примерно $0,1 P_u$, где P_u – предполагаемая разрушающая нагрузка) с целью проверки работоспособности прогибомера и центрирования образца. Центрирование образцов производилось с целью установки по физической оси для обеспечения деформирования без значительных эксцентриситетов. При нагружении снимались показания прогибомера и делался вывод о достаточности центрирования. Если показания прогибомера были нестабильными, нагрузка снималась и образец подвергался центровке. При стабильных показаниях производилось нагружение этапной нагрузкой до потери устойчивости.

4. После достижения критической нагрузки нагружение образца снималось и замерялся остаточный прогиб, полученный в результате пластических деформаций

труб. Затем определялось требуемое количество тепловложений, необходимое для выравнивания полученного прогиба с помощью сварочных деформаций. Производилось регулирование остаточного напряженного состояния путем наплавки холостых валиков по образующим с противоположной выгибу стороны.

5. После регулирования напряженного состояния производилось повторное нагружение образца до потери устойчивости с определением критической силы.

6. Нагружение образцов производилось в следующей последовательности: нагрузка прикладывалась этапами примерно по $0,1 P_u$. После достижения этапной нагрузки производилась выдержка не менее 3 минут. Показания прогибомера записывались после приложения этапной нагрузки и выдержки на этапе.

7. Испытания заканчивались после достижения максимума на кривой состояния (прогибы растут без увеличения нагрузки) или после потери местной устойчивости.

8. После завершения испытаний прибор снимался, образец удалялся из-под пресса. Съемные опорные приспособления снимались и новый образец готовился к испытаниям в последовательности, описанной выше.

9. На образцы серии ТК-2 предварительно наносился холостой валик по образующим с предварительным расчетом

по минимальным тепловложениям и производилось испытание по описанной выше методике до достижения критической силы при потере устойчивости. Затем замерялся полученный остаточный прогиб и повторялся алгоритм выполнения работы, описанный для партии ТК-1.

10. Образцы серии ТК-3 испытывались на центральное сжатие по описанной выше методике. При достижении критической нагрузки нагружение образца снималось и замерялся остаточный прогиб, полученный в результате пластических деформаций труб. После завершения испытаний прибор снимался, образец удалялся из-под пресса. Съёмные опорные приспособления снимались и новый образец готовился к

испытаниям в последовательности, описанной выше.

11. На образцы серии ТК-4 перед проведением испытаний наносилось три холостых валика под углом 120° с предварительным расчетом необходимых минимальных тепловложений и производились испытания по разработанной методике. При достижении критической нагрузки нагружение образца снималось и замерялся остаточный прогиб, полученный в результате пластических деформаций труб. После завершения испытаний прибор снимался, образец удалялся из-под пресса. Съёмные опорные приспособления снимались и новый образец готовился к испытаниям в последовательности, описанной выше (рис. 2, 3).



Рис. 2. Образец серии ТК-1 перед испытанием



Рис. 3. Образец серии ТК-2 после испытания

Выводы, перспективы, дальнейшее развитие данного направления исследований. Предложена методика повышения

устойчивости элементов трубчатого сечения путем регулирования остаточного напряженно-деформированного состояния

при предварительной наплавке холостых валиков по образующим.

1. На основании ранее выполненных исследований подтверждена возможность увеличения несущей способности сжатых элементов из труб до 17 % только за счет регулирования ОНС.

2. Наплавка холостого валика на элементы трубчатого сечения позволяет

создать в сечениях оптимальное, с позиций повышения несущей способности, ОНС.

3. Использование предложенной схемы и методики определения параметров остаточного напряженно-деформированного состояния при последующих расчетах несущей способности и деформативности позволит с большей точностью прогнозировать поведение конструкций из трубчатых элементов под нагрузкой.

Список использованных источников

1. Патон, Е. О. Влияние усадочных напряжений на прочность сварных конструкций [Текст] / Е. О. Патон, Б. Н. Горбунов, Д. И. Берштейн // Автогенное дело. – 1937. – № 7. – С. 4-15.

2. Августын, Я. Влияние остаточных напряжений на поведение сжатых стержней [Текст] / Я. Августын // Сварочное производство. – 1961. – № 11. – С. 15–18.

3. Окерблом, Н. О. Влияние остаточных напряжений, создаваемых сваркой, на местную и общую устойчивость элементов сварных конструкций [Текст] / XIII Конгресс Междунар. ин-та сварки (13–19 июня 1960 года в г. Льеже). – М.: Гос. изд-во машиностр. лит., 1962. – С. 233-239.

4. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування. [Текст] / Мінрегіон України. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 199 с.

5. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст] / Мінбуд України. – К.: Мінбуд України, 2006. – 359 с.

6. Левенсон, Я. С. Конструкции из стальных труб [Текст] / Я. С. Левенсон. – М.: Стройиздат, 1967. – С. 4-15.

7. Makiro, A. Residual-stress determination by single-axis holographic interferometry and hole drilling. Pt.1. Theory [Text] / Makiro A., Neison D. // Experimental Mechanics. – 1994. – V. 34, №1. – P. 66–78.

8. Окерблом, Н. О. Сварочные напряжения в металлоконструкциях. [Текст] / Н. О. Окерблом. – М.-Л.: 1-я тип. Машгиза в Л., 1950. – С. 4-9.

9. Голоднов, А. И. Исследование остаточных напряжений в элементах трубчатого сечения после наплавки сварных швов [Текст] / А. И. Голоднов, О. Н. Козлова, А. П. Иванов // Зб. наук. праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського / Відп. ред. О. В. Шимановський. – К.: Вид-во «Сталь», 2008. – Вип. 1. – С. 75-79.

Козлова Ольга Николаївна, науковий співробітник ТОВ «Науково-виробниче об'єднання «УКРБУДЕКСПЕРТ», Київ. Тел. (050)246-91-89. E-mail: Olechka-Kiev@mail.ru.

Kozlova Olga, researcher of "Scientific and Production Association "UKRBUDEXPERT", Kiev. Tel. (050)246-91-89. E-mail: Olechka-Kiev@mail.ru.

Стаття прийнята 27.03.2017 р.

УДК 624.012.35: 620.173 / 174

ОСНОВЫ РОЗРАХУНКУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДЕФОРМАЦІЙНО-СИЛОВОЮ МОДЕЛЛЮ ЇХ ОПОРУ

Канд. техн. наук В. М. Ромашко (Національний університет водного господарства та природокористування)

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ ПО ДЕФОРМАЦИОННО-СИЛОВОЙ МОДЕЛИ ИХ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Канд. техн. наук В. Н. Ромашко (Национальный университет водного хозяйства и природопользования)

BASES OF CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AND STRUCTURES ACCORDING TO THE DEFORMATION AND POWER MODEL OF RESISTANCE

Ph. D. in Engineering V. Romashko

У статті розглядаються основні положення універсальної методики розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій за деформаційно-силовою моделлю їх опору. Особливу увагу зосереджено на основних методологічних проблемах та недоліках сучасних «деформаційних» моделей. Показано, що в більшості випадків ці проблеми можна вирішити за допомогою узагальнених діаграм реального стану залізобетонних елементів та конструкцій.

Ключові слова: залізобетонні елементи та конструкції, методика розрахунку, модель деформування, діаграми стану.

В статье рассматриваются основные положения универсальной методики расчета железобетонных элементов и конструкций по деформационно-силовой модели их сопротивления. Особое внимание сосредоточено на основных методологических проблемах и недостатках современных «деформационных» моделей. Показано, что в большинстве случаев эти проблемы можно решить с помощью обобщенных диаграмм реального состояния железобетонных элементов и конструкций.

Ключевые слова: железобетонные элементы и конструкции, методика расчета, модель деформирования, диаграммы состояния.

The article deals with the basic provisions of the universal calculation method of reinforced concrete elements and structures according to the deformation and force model of their resistance. Particular attention is focused on the basic methodological problems and shortcomings of modern "deformation" models. It is shown that in the most cases these problems can be solved by the generalized diagrams of reinforced concrete elements and structures real state. Thanks to these diagrams, the developed method: provides a single methodological approach to the calculation of reinforced concrete elements and structures normal sections for limit states; allows to reveal the internal static indeterminacy of heterogeneously deformable elements and structures in their ultimate limit state calculation; justifies the application of the basic and derived criteria of reinforced concrete elements and structures bearing capacity exhaustion; retains the essence of the physical processes of concrete and reinforced concrete structures deformation.

Keywords: reinforced concrete elements and structures, calculation method, deformation model, state diagrams.

Вступ. Забезпечення повної методологічної єдності розрахунків бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій за граничними станами обох груп завжди було і залишається нині однією з найважливіших проблем у теорії бетону та залізобетону.

У рамках силової моделі, при використанні «пластичного шарніра» з прямокутною епюрою напружень у стиснутому бетоні, ця проблема взагалі не могла бути вирішена принципово. Адже через різні вихідні передумови розрахунки залізобетонних елементів і конструкцій за граничними станами 1-ї та 2-ї групи взагалі залишалися повністю автономними.

Особливі сподівання у вирішенні зазначеної проблеми покладалися на так звану «деформаційну» модель. Однак, незважаючи на певні успіхи в її побудові, вона так і не вирішила в повній мірі основної проблеми. Більше того, в її рамках залишається не розв'язаною ціла низка супутніх задач:

- у більшості випадків внутрішня статична невизначеність неоднорідно деформованих елементів розкривається за допомогою чисельних ітерацій;

- не сформульовані чіткі критерії вичерпання (втрати) несучої здатності залізобетонних елементів і конструкцій;

- на сьогодні для залізобетонних елементів і конструкцій практично відсутні не тільки точні, але й наближені аналітичні рішення інтегральних залежностей $M = f(1/r)$ за екстремальним критерієм $dM / d(1/r) = 0$;

- у розрахунках неоднорідно деформованих елементів за граничними станами другої групи взагалі відсутні будь-які рекомендації чи пропозиції з розкриття їх внутрішньої статичної невизначеності, що веде до неминучого використання у розрахунках різного роду емпіричних залежностей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В існуючих на сьогодні деформаційних моделях [1-3] дійсний напружено-деформований стан залізобетонних елементів і конструкцій відтворюється шляхом перенесення діаграм деформування матеріалів на їх переріз. Такий прийом, на думку багатьох дослідників [4-6], є не дуже переконливим і викликає цілу низку слушних застережень з їхнього боку. А тому процес деформування бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій слід відтворювати за допомогою діаграм їх реального стану. Тоді не буде потреби у будь-якому перенесенні вищезгаданих діаграм на перерізи зазначених елементів і конструкцій, оскільки за певних обставин та вихідних умовах вони будуть трансформуватися одна в одну.

Мета та завдання досліджень. Дані дослідження спрямовані на розроблення узагальненої універсальної методики розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій за граничними станами, яка б відповідала таким критеріям:

- повністю забезпечила методологічну єдність їх виконання;

- була максимально позбавлена емпіризму;

- сприяла розкриттю внутрішньої статичної невизначеності залізобетонних елементів і конструкцій та суттєвому скороченню ітераційних обчислень;

- максимально зберігала фізичну сутність процесів деформування залізобетонних елементів і конструкцій;

- могла реалізовуватися за простими компактними алгоритмами;

- зберігала методологічну єдність точних та спрощених способів розрахунку.

Основна частина досліджень. Досягти поставленої мети і вирішити перелічені завдання покликана саме деформаційно-силова модель опору залізобетонних елементів і конструкцій та діаграма їх реального стану.

Оскільки в основі розробленої моделі лежать загально визнані принципи механіки деформованого твердого тіла (МДТТ), то розрахунок залізобетонних елементів і конструкцій у найбільш напруженому перерізі (або в усередненому перерізі

найбільш напруженої ділянки) при їх нелінійному деформуванні пропонується виконувати за допомогою комп'ютерного або «ручного» розв'язання такої замкнутої системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned}
 & \bullet \text{ статичних співвідношень з гіпотезою граничної рівноваги} \\
 & M = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s), \quad N = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s); \\
 & \bullet \text{ геометричних співвідношень з гіпотезою плоских перерізів} \\
 & 1/r = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s); \\
 & \bullet \text{ фізичних співвідношень: стану елементів } M = f(1/r) \text{ з екстремальним} \\
 & \text{ критерієм несучої здатності } dM/d(1/r) = 0; \text{ стану матеріалів } \sigma_c = f(\varepsilon_c), \\
 & \sigma_{ct} = f(\varepsilon_{ct}), \quad \sigma_s = f(\varepsilon_s) \text{ з екстремальними критеріями міцності} \\
 & d\sigma_c/d\varepsilon_c = 0, \quad d\sigma_{ct}/d\varepsilon_{ct} = 0.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Відомо, що несуча здатність залізобетонних елементів і конструкцій в їх нормальних перерізах забезпечується двома загально відомими рівняннями рівноваги $\Sigma N = 0$ і $\Sigma M = 0$. Зазвичай більш жорстким є друге рівняння, з якого випливає визначальна умова (гіпотеза) граничної рівноваги

$$M_{Ed} \leq M_u, \quad (2)$$

де M_{Ed} – розрахункове значення згинального моменту від зовнішнього навантаження; M_u – несуча здатність залізобетонного стержня (максимально можливе зусилля в ньому при настанні граничного стану).

У розробленій деформаційно-силової моделі [7] саме гіпотеза граничної рівноваги і є основним критерієм вичерпання несучої здатності залізобетонних елементів і конструкцій. А похідний екстремальний критерій несучої здатності $dM/d(1/r) = 0$ служить лише для прогнозування граничних значень деформацій бетону та арматури.

Розв'язок загальноприйнятих рівнянь рівноваги за вказаним критерієм дозволив отримати функцію рівня граничних деформацій стиснутого бетону [7, 8], залежно від параметрів армування перерізу елемента та ступеня неоднорідності деформування бетону, зображеного на рисунку.

$$\begin{aligned}
 \eta_{eu} = \varepsilon_{cu} / \varepsilon_{cl} = & 1 + 5^3 \cdot \alpha_s \cdot \frac{(k-1)}{(6-k)} \cdot \sum_{i=1}^n \rho_{li} \cdot \left(\frac{x_{si}}{x}\right)^2 + \beta_F \times \\
 & \times \left[\frac{(0,43 - 0,2(0,4 - m_h)^2)(1 - m_h^{3/2})(1 - m_h/k) \sqrt{(\ln k)^{(1 - m_h^{3/2})}}}{1 + ((1/6 - 0,1 \cdot m_h^2)(k-2) \ln(6/k - 2(0,1 - m_h)))^2} + \right. \\
 & \left. + \frac{(0,43 - 0,2(0,4 - m_b)^2)(1 - m_b^{3/2})(1 - m_b/k) \sqrt{(\ln k)^{(1 - m_b^{3/2})}}}{1 + ((1/6 - 0,1 \cdot m_b^2)(k-2) \ln(6/k - 2(0,1 - m_b)))^2} \right], \quad (3)
 \end{aligned}$$

де k – характеристика деформативності (пружно-пластичності) стиснутого бетону, $k = E_{co} \cdot \varepsilon_{cl} / f_{ck}$; x_{si} – відстань від нейтральної лінії до центра ваги стиснутих стержнів, напруження в яких у граничному стані не досягають межі текучості; ρ_{li} – коефіцієнт армування перерізу елемента тими самими стержнями, $\rho_{li} = A_{si} / (b_n \cdot h_n)$; β_F – коефіцієнт, що залежить від виду

напружено-деформованого стану елемента і приймається: для стиснутих елементів – $1,0$; для згинальних – $0,81$; m_h – параметр неоднорідності деформування стиснутого бетону уздовж сторони h , $m_h = \varepsilon_{co,h} / \varepsilon_{c2}$; m_b – параметр неоднорідності деформування стиснутого бетону уздовж сторони b , $m_b = \varepsilon_{co,b} / \varepsilon_{c2}$ (див. рисунок).

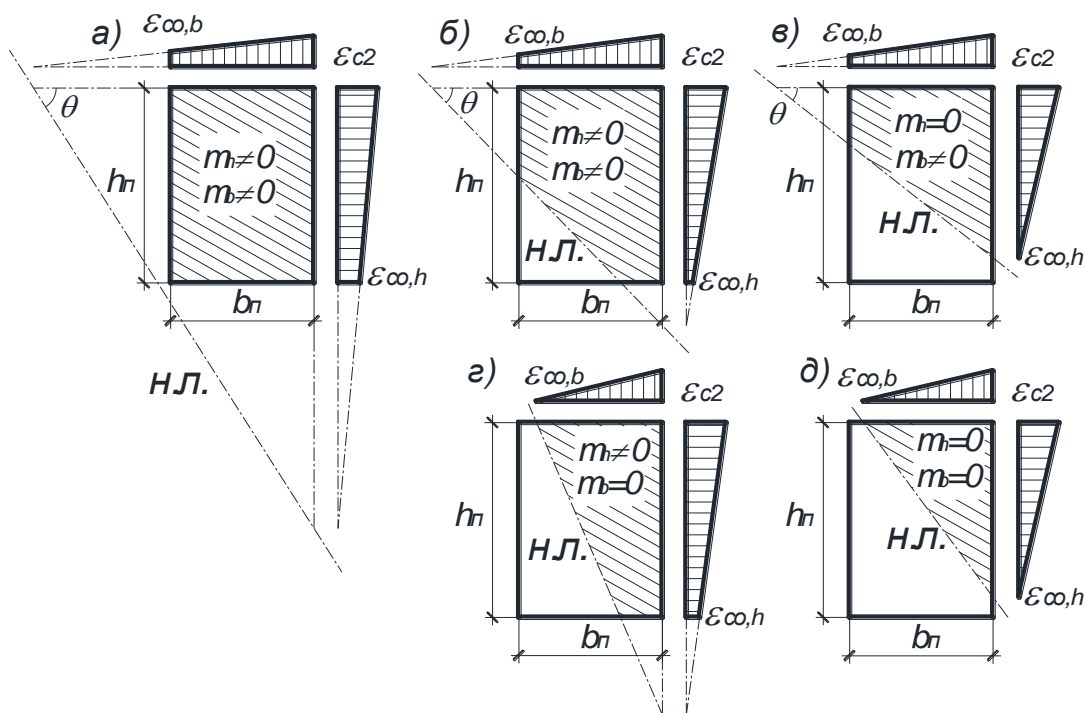


Рис. Можливі випадки положення нейтральної лінії в косодеформованих залізобетонних елементах

Саме залежність (3) разом із гіпотезою плоских перерізів та узагальненою діаграмою стану $M = f(1/r)$ дозволяє уникнути або істотно зменшити число ітерацій, сприяючи тим самим розкриттю внутрішньої статичної невизначеності перерізу залізобетонних елементів та конструкцій.

Загалом процес деформування залізобетонних елементів і конструкцій у деформаційно-силової моделі відтворюється діаграмами їх реального стану за

допомогою функції жорсткості D . Саме остання пов'язує між собою основні силові (M) і деформаційні ($1/r$) параметри напружено-деформованого стану зазначених елементів і конструкцій. І як показують досліди [9], аж до вичерпання несучої здатності жорсткість елементів залежить від зазначених параметрів нелінійно. Тому, завдяки гіпотезі «нелінійності» жорсткості [8, 10], вираженій залежністю

$$M / (1/r) = A - B \cdot (1/r) / (1/r_u) - C \cdot M / M_u, \quad (4)$$

діаграма стану набуває вигляду:

$$M = \frac{D_o \cdot 1/r - M_u \cdot ((1/r) / (1/r_u))^2}{1 + (D_o / M_u - 2 / (1/r_u)) \cdot (1/r)}, \quad (5)$$

де D_o – початкове значення повної ($\Sigma E_3 I_3$) або приведеної ($E_{co} I_{red,o}$) жорсткості залізобетонного елемента;

$1/r_u$ – граничне значення кривизни залізобетонного елемента при вичерпанні несучої здатності.

У практичних розрахунках діаграму стану доцільно подавати у вигляді $1/r = f(M)$ за формулою

$$\frac{1}{r} = \frac{1/r_u}{2M_u} \left[\left(1 - \frac{M}{M_u}\right) \frac{D_o}{r_u} + 2M - \sqrt{\left(\left(1 - \frac{M}{M_u}\right) \frac{D_o}{r_u} + 2M\right)^2 - 4M \cdot M_u} \right]. \quad (6)$$

За наявності тріщин у розтягнутій зоні залізобетонного елемента його кривизну рекомендується корегувати

$1/r^* = (1/r) \cdot \psi_\rho$ поліноміальною функцією

$$\psi_i = 1 + \rho_l / \alpha_s \cdot (1 - M / M_u) \cdot M / M_u, \quad (7)$$

де α_s – відносне значення модуля пружності арматури, $\alpha_s = E_s / 200000$;

ρ_l – відсоток армування перерізу елемента поздовжніми стержнями, %.

Унікальність узагальненої діаграми стану елемента (5) підтверджується тим, що за певних початкових умов вона трансформується в загальновідому діаграму стану бетону Єврокод-2 [3],

$$\sigma_c = f_{ck} \cdot \frac{E_{co} \cdot \varepsilon_c / (E_{cu} \cdot \varepsilon_{cu}) - (\varepsilon_c / \varepsilon_{cu})^2}{1 + (E_{co} / E_{cu} - 2) \cdot (\varepsilon_c / \varepsilon_{cu})}, \quad (8)$$

де E_{cu} – граничне значення січного модуля деформацій бетону за осьового стиску, $E_{cu} = E_{cf} = f_{ck} / \varepsilon_{cu}$; ε_{cu} – граничні деформації бетону за осьового стиску, рівні критичним.

Розроблена деформаційно-силова модель якраз і відрізняється від інших тим, що в ній вплив емпіричних параметрів певною мірою локалізований саме розрахунковими діаграмами стану

елементів і конструкцій, які передбачають можливе зниження їх несучої здатності з одночасним ослабленням бетону та підвищенням його деформативності. Інакше кажучи, за подібних обставин немає потреби у використанні різних емпіричних коефіцієнтів, що підвищують базові параметри деформування залізобетонних елементів ($w_o, y_o = f_o$) до рівня розрахункових ($w_k, y_k = f_k$).

Для апробації вищеописаної методики було виконано розрахунки різних залізобетонних елементів, випробуваних як вітчизняними, так і закордонними дослідниками. При цьому прогини згинальних елементів обчислювалися за загальновідомою формулою Сімпсона з використанням залежності кривини (6), а прогини стиснутих елементів у граничному стані розраховувалися переважно за класичним виразом:

$$f_{\max} = s \cdot l^2 \cdot (1/r_x)_{\max}, \quad (9)$$

де s – коефіцієнт, що залежить від схем завантаження та закріплення елемента;

$(1/r_x)_{\max}$ – осереднена кривина елемента в перерізі з найбільшим згинальним моментом (найменшою жорсткістю).

Результати порівняння теоретичних та експериментальних значень досліджуваних параметрів, наведені в таблиці, засвідчують правомірність використання розробленої методики в практичних розрахунках.

Таблиця

Порівняння теоретичних та дослідних параметрів залізобетонних елементів

Автори дослідів, кількість зразків	Відхилення експериментальних даних від розрахункових, отриманих за методикою					
	Eurocod-2 [1]			Ромашко В.М.		
	Δ	σ	$v, \%$	Δ	σ	$v, \%$
Несуча здатність позacentрово стиснутих, косостиснутих та стиснуто-згннутих залізобетонних елементів						
Таль К.Є., Чистяков Е.А. [11], 68 зр.	1,023	0,0813	7,95	1,009	0,0763	7,56
Бабич С.В. [12], 15 зр.	1,05	0,1269	12,09	1,026	0,1146	11,17
Різак В.В. [13], 15 зр.	1,025	0,0979	9,55	1,016	0,0908	8,94
Бабич В.І. [14], 30 зр.	1,004	0,0426	4,24	1,014	0,043	4,24
Загалом, 128 зразків.	1,022	0,0795	7,75	1,013	0,075	7,37
Прогини згинальних залізобетонних елементів						
Burns N.H., Siess C.P. [315], 18 зр.	1,022	0,1585	15,51	0,978	0,1104	11,29
McCollister H.M., Siess C.P. [16], 18 зр.	0,978	0,065	6,64	0,997	0,063	6,32
Ernst G.C. [17], 20 зр.	1,009	0,1881	18,64	1,018	0,1421	13,96
Rashid, M. A., Mansur, M. A. [18], 13 зр.	1,137	0,2489	21,89	1,046	0,177	16,92
Загалом, 69 зр. (234 досл.)	1,051	0,1807	16,94	1,015	0,133	13,03
Примітки: $\Delta = M_{th} / M_{ex}$ і σ – середньоарифметичні та стандартні відхилення між експериментальними та розрахунковими значеннями, v – коефіцієнт варіації відхилень						

Висновки з досліджень і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку. Проведені дослідження показали, що завдяки узагальненій діаграмі реаль-

ного стану бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій, розроблена деформаційно-силова модель:

- забезпечує єдиний методологічний підхід до розрахунку залізобетонних елементів та конструкцій за граничними станами;
- дає змогу розкривати внутрішню статичну невизначеність неоднорідно деформованих елементів в їх розрахунках за граничними станами;
- обґрунтовує застосування основного та похідного критеріїв вичерпання несучої здатності залізобетонних елементів і конструкцій;
- не вимагає використання складного програмного забезпечення і дозволяє

виконувати розрахунки навіть «вручну» та зберігає фізичну сутність процесів деформування бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій;

- певною мірою локалізує вплив емпіричних параметрів на методику розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій.

У цілому вищеописані положення деформаційно-силової моделі можуть бути покладені в основу загальної теорії деформування бетону і залізобетону та поширені ще й на статично невизначні елементи і конструкції.

Список використаних джерел

1. Eurocode-2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Building: EN 1992-1-1 [Final Draft, December, 2004], Brussels: CEN, 2004. – 226 p.
2. СНБ 5.03.01-02. Конструкции бетонные и железобетонные [Текст] / Минстройархитектуры Республики Беларусь. – [Введ. 01.07.2003]. – Минск: Стройтехнорм, 2003. – 144 с.
3. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування [Текст] / Мінрегіонбуд України: ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. – [Чинний від 01.06.11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.
4. Карпенко, Н. И. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры [Текст] / Н. И. Карпенко, Т. А. Мухамедиев, А. Н. Петров // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций: сб. науч. трудов. – М.: НИИЖБ, 1986. – С. 7-25.
5. Узун, И. А. Трансформирование диаграммы деформирования бетона при сжатии [Текст] / И. А. Узун // Изв. вузов: строительство и архитектура. – 1991. – № 11. – С. 7-12.
6. Дорофеев, В. С. Расчет изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона [Текст]: монография / В. С. Дорофеев, В. Ю. Барданов. – Одесса: ОГАСА, 2003. – 210 с.
7. Ромашко, В. М. Деформаційно-силова модель опору бетону та залізобетону [Текст]: монографія / В. М. Ромашко. – Рівне: О. Зень, 2016. – 424 с.
8. Ромашко, В. Н. Критерии исчерпания несущей способности железобетонных элементов и конструкций [Текст] / В.Н. Ромашко // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym: Construction of Optimized Energy Potential. – CZĘSTOCHOWA: Politechniki Częstochowskiej, 2015. – №2(16). – s.75-83.
9. Рискинд, Б. Я. Исследование работы сжатых железобетонных элементов с термически упроченной арматурой [Текст] / Б. Я. Рискинд, Г. И. Шорникова // Железобетонные конструкции: сб. науч. тр. – Челябинск: УралНИИСтромпроект, 1972. – Вып. VI. – С.42-71.
10. Ромашко, В. Н. Обобщенная модель деформирования железобетонных элементов и конструкций [Текст] / В.Н. Ромашко // Международный научный журнал. – 2016. – № 3. – С. 84-86.

11. Таль, К. Э. Исследование несущей способности гибких железобетонных колонн, работающих по первому случаю внецентренного сжатия [Текст] / К. Э. Таль, Е. А. Чистяков // Расчёт железобетонных конструкций. Экспериментально-теоретические исследования по усовершенствованию расчёта: труды НИИЖБ. – М.: Госстройиздат, 1961. – Вып. 23. – С. 127-195.

12. Бабич, С. В. Робота та несуча здатність стиснутих залізобетонних елементів із різними ексцентриситетами на кінцях [Текст]: дис.... канд. техн. наук: 05.23.01 / Бабич Сергій Васильович. – Рівне, 1998. – 193 с.

13. Різак, В. В. Робота та несуча здатність стиснуто–зігнутих залізобетонних елементів за короткочасного навантаження [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Різак Василь Васильович. – Рівне, 2000. – 175 с.

14. Бабич, В. И. Экспериментально-теоретические исследования работы гибких железобетонных элементов прямоугольного сечения на косое внецентренное сжатие [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Бабич Василий Иванович. – Львов, 1972. – 191 с.

15. Burns, N.H. Load-deformation characteristics of beam-column connections in reinforced concrete: A report of a research project [Text] / N.H. Burns, C.P. Siess. – University of Illinois, Urbana, Illinois, January 1962. – 261 p.

16. McCollister, H.M. Load-Deformation Characteristics of Simulated Beam Column Connections in Reinforced Concrete. A technical report of a research project [Text] / H.M. McCollister, C.P. Siess, N.M. Newmark. – University of Illinois. Urbana, Illinois, June 1954. – 172 p.

17. Ernst, G.C. Plastic hinging at the intersection of beams and columns [Text] / G.C. Ernst // ACI Journal, Vol. 28, № 12, (Journal Proceedings, Vol. 53), June 1957. – P.1119-1144.

18. Rashid, M.A. Reinforced High-Strength Concrete Beams in Flexure [Text] / M.A. Rashid, M. A. Mansur // ACI Structural Journal, Vol. 102, № 3, May 2005. – P.462- 471.

Ромашко Василь Миколайович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри основ архітектурного проектування, конструювання і графіки Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне). Тел.: (097) 595-75-91. E-mail: romashkovasyl@gmail.com.

Romashko Vasil, Ph. D. in Engineering, associate professor, head of Chair of Architectural Designing Bases, Constructing and Graphics National University of Water Management and Nature Recourses Use (Rivne). Tel.: (097) 595-75-91. E-mail: romashkovasyl@gmail.com.

Стаття прийнята 02.03.2017 р.

УДК 625.1

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ МІЦНОСТІ ПРОКЛАДНОГО ШАРУ БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА НА ЕТАПАХ МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Канд. техн. наук С. В. Мірошніченко, асп. А. С. Зверєва

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ПРОЧНОСТИ ПРОКЛАДНОГО СЛОЯ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА НА ЭТАПАХ МОНТАЖА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Канд. техн. наук С. В. Мирошниченко, асп. А. С. Зверева

DETERMINATION OF THE NECESSITY OF THE STRENGTH OF THE LAYING LAYER OF BALLASTLESS BRIDGE DECK ON THE STAGES OF INSTALLATION AND OPERATION

Phd. Tehn. S. Miroshnichenko, PhD. student A. Zvierieva

У статті виконано аналіз існуючих конструкцій мостового полотна, які подано двома типами: на залізобетонних плитах та на дерев'яних поперечинах. Також проведено аналіз пружно-деформованого стану та виконані необхідні розрахунки впливу зовнішніх сил на прокладний шар. На підставі отриманих результатів уточнені вимоги до необхідної міцності прокладного шару на момент монтажу та експлуатації.

Ключові слова: *плита безбалластного мостового полотна, навантаження, прокладний шар, міцність прокладного шару.*

В статье проведен анализ существующих конструкций мостового полотна, которые представлены двумя типами: на железобетонных плитах и на деревянных поперечинах. Также проведен анализ упруго-деформированного состояния и выполнены необходимые расчеты влияния внешних сил на прокладной слой. На основе полученных результатов уточнены требования к необходимой прочности прокладного слоя на момент монтажа и эксплуатации.

Ключевые слова: *плита безбалластного мостового полотна, нагрузка, прокладной слой, прочность прокладного слоя.*

In recent years significantly increased the volume of work associated with the bridge replacement canvas on wooden bar in. Besides ending the life of ballastless bridge deck, which have begun to use more than 40 years ago. Also bridge deck on stoves BMP has its drawbacks. So the problem laying layer and currently relevant.

To develop new laying layer with high durability, strength, adaptability is important to consider its complex elastic-deformation condition. The article analyzed elastically deformed state and performing the necessary calculations.

Given the large number of different types and sizes of stoves ballastless bridge deck and how to load different from them laying layer stoves were selected the most unfavorable transmission of load.

Based on the results specified requirements for the necessary strength of laying layer at the time of installation and operation: - rapid entry required strength of 1 MPa at 1 day; - 5 MPa at 28 days.

Keywords: *stove ballastless bridge deck, load, the laying layer, strength of the laying layer.*

Вступ. На цей час на українських залізницях експлуатується значна кількість металевих мостів. Конструкція мостового полотна на таких спорудах подана двома типами: на дерев'яних поперечинах та на залізобетонних плитах. Починаючи з 70-х років минулого століття на заміну дерев'яним поперечинам почали використовувати як верхню будову колії залізобетонні плити безбаластного мостового полотна (БМП). На теперішній час загальна протяжність мостового полотна на залізобетонних плитах складає понад 30 000 пог. м [1]. Перспективна потреба в нових плитах БМП (для заміни застарілого полотна на дерев'яних поперечинах) дорівнює більше 10 000 пог. м [1]. Крім того, потребують заміни існуючі плити БМП, термін експлуатації яких наближається до 50 років [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідність заміни мостового полотна на дерев'яних поперечинах пов'язана в першу чергу з рядом недоліків:

- значні витрати природного матеріалу та робочої сили, часу на прирубці, укладанні поперечин і протиугінного бруса;

- схильність дерев'яних елементів конструкції до зміни розмірів та форми в результаті усихання, розбухання, викривлення від впливу зовнішнього середовища, появи тріщин, які значно скорочують строк експлуатації конструкції;

- деревина сприйнятлива до займистості, загнивання та пошкодження комахами.

Однак мостове полотно на плитах БМП також має недоліки. Основним недоліком є недовговічність використовуваного прокладного шару. Річ у тому, що самі залізобетонні плити спроможні служити 50 і більше років [2]. Тому що вони мають високу проектну міцність бетону і доволі високий відсоток армування, що обумовлює запас несучої здатності. Але існуючий прокладний шар

нівелює всі переваги конструкції за рахунок недоліків:

- низька довговічність за рахунок гниття деревини в прокладному шарі;

- неможливість опертися рівномірно плиту БМП на прокладний шар [3], що призводить до виникнення пропелерності і, як наслідок, виникнення тріщин у різних зонах плити;

- низький електричний опір [4] в конструкції верхньої будови колії і за рахунок цього руйнування вузла скріплення КБ.

Усе вищезазначене обумовлює актуальність розроблення нового прокладного шару з високою довговічністю, міцністю, технологічністю. При розробленні такого прокладного шару необхідно врахувати складно напружену конструкцію безбаластного мостового полотна в цілому.

Для можливості укладання мостового полотна на прогонових спорудах різної довжини і при різних відстанях між головними або поздовжніми балками передбачаються відповідні марки плит, які відрізняються за довжиною (уздовж мосту) та за відстанню між отворами для шпильок, які кріплять плиту до поздовжніх балок (поперек осі мосту) [1]. Розрізняють плити БМП чотирьох марок: П1, П2, П3, П4 з однаковою шириною. Також ці плити мають два підтипи, які відрізняються відстанню між поздовжніми балками з різним армуванням.

Плита марки П1 має розміри $3,2 \times 1,39$ м та відстанню між шпильками, яка змінюється від 1,85 до 2,45 м з кроком 0,1 м. При цьому вага 1 м плити на дві балки дорівнює 1,2 т/пог.м. Розміри плити П2: $3,2 \times 1,49$ м, вага 1 пог. м цієї плити на дві балки складає 1,28 т/пог.м. П3 має розміри $3,2 \times 1,89$ м, вага її одного погонного метра на 2 балки становить 1,32 т/пог.м. Відповідно П4 має розміри $3,2 \times 1,99$ м та вагу – 1,32 т/пог.м. У цьому розрахунку навантаження на прокладний шар використовували вагу 1 пог. м плити марки П3, як найбільш несприятливе.

Крім залізобетонних плит, безбаластне мостове полотно складається з рейкової колії, охоронних пристроїв та прокладного шару під плити БМП [1]. Плити укладаються на верхні пояси головних або поздовжніх балок прогонової споруди через прокладний шар. Рейкова колія, рейкові підкладки та контруктунки укладаються

безпосередньо на плити. Плити БМП прикріплюються до балок високоміцними шпильками із зовнішнього боку верхніх поясів балок через 50 см по довжині мосту. На шпильки із верхнього боку встановлюються спеціальні збільшені шайби. Конструкція безбаластного мостового полотна наведена на рис. 1.

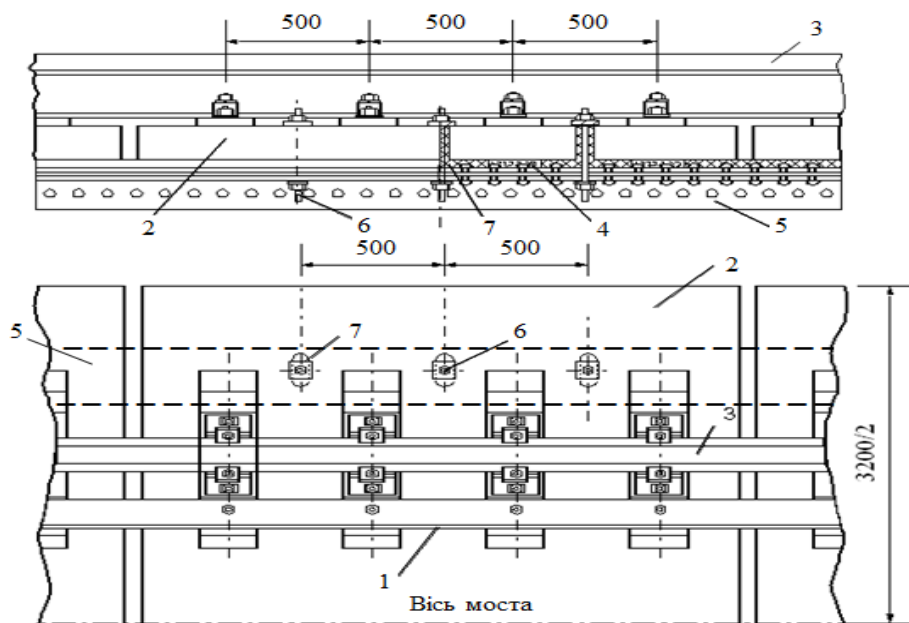


Рис. 1. Конструкція безбаластного мостового полотна на залізобетонних плитах: 1 – контруктунник; 2 – плита мостового полотна; 3 – колійна рейка; 4 – прокладний шар; 5 – головна або поздовжня балка; 6 – високоміцна шпилька; 7 – отвір для шпильки

Визначення мети та задачі дослідження. Мета досліджень – визначення міцнісних характеристик прокладного шару безбаластного мостового полотна під час монтажу та експлуатації.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

- визначено основні навантаження на прокладний шар;
- визначено умови роботи прокладного шару;
- проведено конкретні розрахунки (в т.ч. з використанням програмного комплексу «Ліра»).

Основна частина дослідження. Для визначення необхідних характеристик

прокладного шару проведено збір навантажень від власної ваги всіх елементів конструкції безбаластного полотна (рис. 1), включаючи навантаження від шпильок, на 1 пог. м прокладного шару у найбільш несприятливих умовах [5]. Слід зазначити, що як величиною дуже невеликою, власною вагою прокладного шару ми нехтуємо. Таким чином, величина постійного навантаження $P_{\text{пост}}$ склала на обидві балки 39,67 т/пог.м [6]. За тимчасове (поїзне) навантаження V прийнято навантаження від чотиривісної платформи універсальної [7] з урахуванням коефіцієнта динамічності $((1 + \mu) = 1,5)$ – 37,5 т/пог.м.

При цьому повне навантаження буде дорівнювати 77,17 т/пог.м.

Навантаження P на 1 м^2 прокладного шару визначаємо за формулою:

$$P = \frac{\Sigma}{2 \times b}, \quad (1)$$

де Σ – навантаження для обраної розрахункової схеми ($P_{\text{шп}}$ – тиск від шпильок на 1 пог. м; $P_{\text{пост}}$ – від суми постійних навантажень, V – від тимчасових навантажень);

2 – кількість балок з прокладним шаром;

b – ширина прокладного шару ($b = 20 \text{ см}$, найбільш поширений варіант ширини полиці поздовжньої або головної балки).

Величину $P_{\text{шп}}$ (38,095 т/пог. м) визначили з урахуванням навантаження на шпильку згідно з діючими нормативами (12 т) кількості шпильок на плиту ПЗ (6 шт) та довжини плити (1,89 м) [1].

Розрахована величина P склала:

- від дії тиску шпильок – 9,5 кг/см²;
- від повного постійного навантаження (включно тиск від шпильок) – 9,917 кг/см²;
- від тимчасового навантаження – 9,375 кг/см².

Для розрахунку спільної дії різних видів навантаження був проведений розрахунок у програмному комплексі «Ліра». Для уніфікації розрахункової схеми приведені всі види навантажень до 1 пог. м.

Навантаження для розрахункової схеми на 1 пог. м прокладного шару визначаємо за формулою

$$P_{\text{пог.м}} = P \times b \times h, \quad (2)$$

де P – отримане навантаження для обраної розрахункової схеми з формули (1) ($P_{\text{шп}}$ – тиск від шпильок на 1 м^2 прокладного шару; $P_{\text{пост}}$ – від суми постійних навантажень, V – від тимчасових навантажень);

h – довжина прокладного шару ($h = 1 \text{ м}$).

Розрахована величина $P_{\text{пог.м}}$ з формули (2) склала:

- від дії тиску шпильок – 19 000 кг/пог.м;
- від повного постійного навантаження (включно тиск від шпильок) – 19 834 кг/пог.м;
- від тимчасового навантаження – 18 750 кг/пог.м.

Ураховуючи отримані результати розрахунків за формулами (1), (2), складаємо розрахункову схему від дії постійних навантажень (рис. 2) для визначення мінімальної міцності прокладного шару на момент монтажу, до початку експлуатації [8]. Також визначаємо розрахункову схему від сумісної дії всіх навантажень. Подібну схему отримаємо від дії тимчасових навантажень та тиску від шпильок (рис. 3). Однак ця схема не повністю відображає реальну роботу конструкції у зв'язку з податливістю прокладного шару і перерозподілом навантаження [9]. Тому зусилля в зоні шпильки заміняємо жорстким зв'язком у вертикальному напрямку (вісь z). Розрахункова схема наведена на рис. 4.

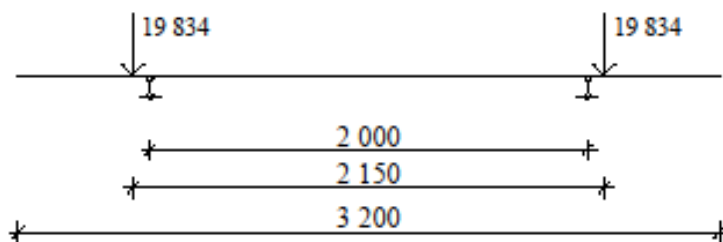


Рис. 2. Розрахункова схема від дії постійних навантажень

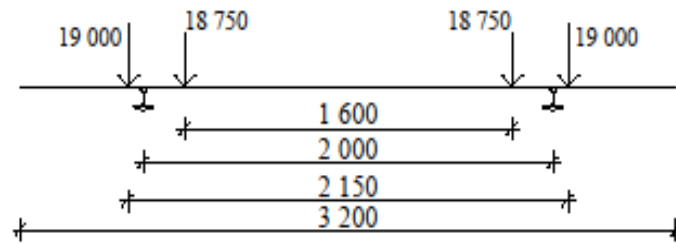


Рис. 3. Розрахункова схема від дії повного навантаження

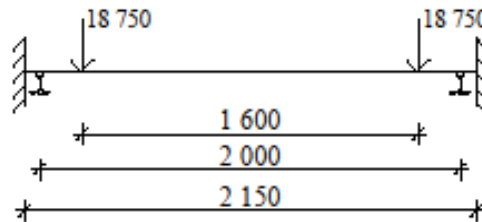


Рис. 4. Розрахункова схема для обчислення

Проводимо розрахунок схеми (рис. 4) в програмному комплексі «Ліра». Для цього задаємо жорсткість елементів, а саме балку з бетону класу В 40 (С 32/40) розмірами $1 \times 0,2$ м та модулем пружності $E_0 = 0,036$ МПа. З отриманих результатів у

програмному комплексі «Ліра» (таблиця) вибираємо зусилля у вузлах 2 та 5 (які відповідають прокладному шару на поздовжніх балках), яке дорівнює $18\,750 + 60\,606 = 79\,356$ кг.

Таблиця

Зусилля, які виникають у стержнях M_y, Q_z

Елемент	Переріз	Зусилля	
		$M_y, \text{кгс}\cdot\text{см}$	$Q_z, \text{кгс}$
1	1	151515.2	-60606.1
1	2	-303030.3	-60606.1
2	1	-303030.3	18750.0
2	2	71969.7	18750.0
3	1	35984.9	0.0
3	2	35984.9	0.0
5	1	71969.7	-18750.0
5	2	-303030.3	-18750.0
6	1	-303030.3	60606.1
6	2	151515.2	60606.1

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, додаткова

міцність прокладного шару R_{st} при дії тимчасових навантажень повинна бути не менше

$$R_{st} = \frac{P_{un}}{100 \times b} = \frac{79356}{100 \times 20} = 39,678 \text{ кг/см}^2 = 3,978 \text{ МПа}, \quad (3)$$

а міцність прокладного шару на момент монтажу, до початку експлуатації, необхідна через приблизно 2 год, ураховуючи технологію укладання плит БМП, дорівнює з формули (1) $9,917 \text{ кг/см}^2 = 0,9917 \text{ МПа}$.

Відповідно сумарна необхідна міцність прокладного шару складе $3,978 + 0,9917 = 4,9697 \text{ МПа}$ [8].

Виходячи з розрахунку навантажень на прокладний шар, маємо змогу уточнити вимоги до необхідної міцності прокладного шару на момент монтажу та експлуатації:

- швидке набрання необхідної міцності 1 МПа на 1 доб;
- 5 МПа на 28 доб.

Список використаних джерел

1. ЦП-0137. Інструкція з укладання та експлуатації безбаластного мостового полотна (БМП) на залізобетонних плитах [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці № 682-ЦЗ від 07.12.2005 р. – К., 2006. – 100 с.
2. Зверева, А. С. Полімеркомпозиційний прокладний шар для плит безбаластного мостового полотна: проблеми та перспективи [Текст] / А. С. Зверева, С. В. Мірошніченко // Композиційні будівельні матеріали і вироби – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозієстійкості: зб. мат. Всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С. 50-52.
3. Плугин, А. Н. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна [Текст] / А. Н. Плугин, А. А. Плугин, И. Г. Корниенко, С. В. Мирошніченко // Сучасні технології бетону: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2010. – С. 457-464.
4. Мірошніченко, С. В. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбаластного мостового полотна [Текст] / С. В. Мірошніченко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 113-119.
5. Chikhladze, E.D. Stress-strained state of steel-concrete structures under force and temperature effect [Text] / Chikhladze E.D., Vatulya G.L. // Proceedings of the 5th International Conference on Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering - Zilina, 2011 - P. 181-184.
6. Vatulia, G. Carrying capacity definition of steel-concrete beams with external reinforcement under the fire impact [Text] / G. Vatulia, E. Orel, M. Kovalov // Applied Mechanics and Materials – Vol. 617 (2014) – P.167-170. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.617.167
7. ЦП-0093. Інструкція з визначенням умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних залізничних мостах [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці №354-Ц від 10.06.2002 р. – К., 2002. – 301 с.
8. Plugin A., Miroshnichenko S., Zabiya A., Linnik G. Increase of crack-stability of plates of without-ballast bridge bed of railway bridges [Text] / A. Plugin, S. Miroshnichenko, A. Zabiya, G Linnik // 7th International Conference on Bridges across the Danube 2010 - Sofia, Bulgaria: 2010. – P. 307-310.

9. Плугін, А. А. Аналіз напружено-деформованого стану плит безбаластного мостового полотна і прокладного шару під ними [Текст] / А.А. Плугін, С.В. Мірошніченко, О.В. Лобяк [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 148. – С. 104-110.

Мірошніченко Сергій Валерійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-64. E-mail Miroshnichenko@kart.edu.ua.

Зверєва Аліна Сергіївна, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-25. E-mail zveirievaAS@kart.edu.ua.

Miroshnichenko Sergsii, PhD.Tech.S, associate professor department of construction materials, constructions and structures Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-64. E-mail Miroshnichenko@kart.edu.ua
Zvierieva Alina, PhD. student, department of construction materials, constructions and structures Ukrainian State University of Railway Transport. Tel: (057) 730-10-25. E-mail zveirievaAS@kart.edu.ua.

Стаття прийнята 27.03.2017 р.

УДК 666: 519.8

ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРУКТУР МАТЕРИАЛА И ИЗДЕЛИЯ

Канд. техн. наук О. А. Коробко (ОГАСА)

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК СТРУКТУР ВИРОБУ ТА МАТЕРІАЛУ

Канд. техн. наук О. О. Коробко (ОДАБА)

INTERRELATION OF STRUCTURES OF PRODUCT AND MATERIAL

Phd. tehn. sciences О. А. Korobko

В статье строительные изделия рассматриваются в виде открытой самоорганизующейся системы. Такое представление предполагает взаимосвязь организации структур изделия и материала как его равноправной полиструктурной составляющей. Раскрываются возможности для выявления факторов управления созданием заданного набора различных по назначению элементов структуры материала, обеспечивающих проявление и сохранение свойств на уровне структуры изделия при эксплуатации.

Ключевые слова: изделие, материал, система, структурная организация, уровни неоднородностей, взаимообусловленность, активные элементы.

У статті будівельні вироби розглядаються у вигляді відкритої системи, що самоорганізується. Таке уявлення передбачає взаємозв'язок організації структур виробу і матеріалу як його рівноправної поліструктурної складової. Розкриваються можливості для виявлення факторів керування одержанням заданого набору різних за призначенням елементів структури матеріалу, які забезпечують прояв та збереження властивостей на рівні структури виробу при експлуатації.

Ключові слова: виріб, матеріал, система, структурна організація, рівні неоднорідностей, взаємообумовленість, активні елементи.

In the article building products are explored as the open self-organized system. Such representation allows revealing interrelation between organization of the structure of product and the structure of material. The material is considered as hierarchy of autonomous conditional levels of structural heterogeneities. Formation of integrated structure of the product-system is a result of initiation structural changes by levels. It promotes emergence of various structures at levels of heterogeneities. The interrelation of levels is provided by self-development of networks of technological cracks and inner surfaces of partition. Interaction of active elements allows to be shown to properties at the level of a product and to effects of adaptation of material to influence of external factors. Formation of the ordered set structural elements will promote increase resistance of a product under operating conditions. It is possible to operate the structural organization of material and a product due to change of macrostructure parameters.

Keywords: product, material, structure, system, structural organization, at levels of heterogeneities, interference, active elements.

Введение. В строительном материаловедении все большее значение приобретает структурный подход как основа для разработки методов познания, описания и получения строительных изделий с заданным набором структурных элементов на уровне материала [1, 2]. Раскрываются возможности создания структурных форм, обеспечивающих проектные показатели качества изделий и их поддержку при изменении условий эксплуатации. Изменение свойств изделий под действием внешних факторов причинно связано со структурными изменениями материала, из которого они изготовлены. Материал проявляет себя как конечный продукт только в изделиях. Взаимообусловленность функциональности изделия и материала рационально обосновать, исходя из представления изделия как объекта-системы. Такой подход позволяет оценить вклад структуры материала в структурное оформление изделия, выявить элементы структуры, отвечающие за обеспечение и сохранение уровня свойств, представить структуру как функцию движения, определяющую через изменение своих параметров безопасность работы изделия в различных эксплуатационных ситуациях.

Анализ последних исследований и публикаций. В последнее время актуальной становится концепция, предполагающая доминирование структуры

в реализации поведения материала изделий. Структурный подход позволяет устанавливать границы масштабного описания объектов-систем в зависимости от поставленной цели [3]. Обязывает учитывать полиструктурность материалов [4] и влияние многоуровневости структуры на их свойства [5, 6], включая сетевые взаимосвязи и взаимообусловленность взаимодействий составных частей при самоорганизации разномасштабных структур [1, 7], многоочаговость зарождения новых образований в результате синхронного протекания в одном материале разноплановых процессов структурообразования [8-10]. Особое внимание уделяется активной роли технологических трещин и внутренних поверхностей раздела в эволюции структуры материалов и изделий [9, 11], структурообразующей и разрушающей функции деформаций при получении и эксплуатации строительных композитов [12, 13], адаптации сложноорганизованных, капиллярно-пористых, абиотических и других систем к внешним воздействиям [14, 15]. Таким образом, исследования, посвященные объяснению принципов построения структуры строительных изделий с учетом вклада структуры материала, можно считать своевременными и актуальными.

Определение цели и задачи исследований. Цель исследований – проанализировать роль взаимообусловленности структурной организации в получении

заданного набора разноуровневых и различных по назначению элементов структуры бетона, специфицирующих структуру изделия. Это позволит обеспечить проявление нормативных показателей свойств на уровне изделия и их сохранение в условиях эксплуатации за счет проявления эффектов адаптации на уровне материала. Для этого необходимо решить задачи декомпозиции изделия как системы определенного вида с выделением бетона в качестве его подсистемы, выявить управляющие факторы взаимосвязанного создания отдельных подструктур и оценить структурные изменения материала изделия-системы при малоцикловой усталости.

Основная часть исследований.

Строительное изделие рассматривается как открытая самоорганизующаяся система, в которой изделие и бетон проявляют себя в качестве равноправных элементов [1, 3]. Это позволяет представить изделие в виде специально оформленного материала конкретной геометрической формы, поэтому свойства изделия и материала неразделимо связаны онтологической сущностью. Изделие-система априорно является структурно организованным объектом. Параметры структуры бетона автоматически становятся параметрами структуры изделия. Бетон, как практически любой материал строительных изделий, является полиструктурным. По качественному несходству механизмов структурообразования можно выделить отдельные уровни неоднородностей структуры бетона как определенные системы, которые в то же время являются подсистемами бетона-системы. В соответствии с этим предполагается, что в структуре бетона сосуществуют неоднородности на уровнях частиц вяжущего (микроструктура), продуктов новообразований (наноструктура), заполнителей и матричной составляющей (макроструктура) и на уровне изделия. Каждый уровень включает набор характерных для него структурных элементов и участвует как составная часть

во взаимно обусловленной организации структуры бетона и структуры изделия.

На уровне частиц вяжущего (или связующего) неоднородность структуры может быть представлена в виде системы, способной к аутопоэзису [7] как самопроизводства и самопостроения собственных структурных составляющих. Индивидуальное сочетание частиц вяжущего в образованных ими кластерных структурах определяет неповторимость условий гидратации в любом выделенном объеме микроструктуры. При появлении продуктов новой фазы часть ионов объединяется в зародыши кристаллических сростков с дальнейшим ростом кристаллов, часть ионов формирует гелевидную составляющую цементного камня, которая включает от 60 до 80 % от общего количества новообразований [16]. Это ведет к созданию новой неоднородности структуры бетона, самоорганизованной агрегатами из частиц нанометрического размера. Наночуровень в качестве подсистемы входит в состав микроструктуры, являющейся подсистемой макроструктуры. Анализ показал, что даже при одном и том же составе бетона на макроуровне сосуществуют ячейки, отличающиеся размером, типом укладки заполнителей и соотношением адгезионно-когезионных сил связи между матричной фазой и заполнителями. Формирование макроструктуры происходит одновременно во всех ячейках, но ее реализация уникальна для каждой отдельной ячейки.

Процессы и явления спонтанной самоорганизации бетона на всех уровнях неоднородностей приводят к зарождению и развитию трещин и внутренних поверхностей раздела (ВПР) [1, 9, 11]. Многоуровневость структуры обуславливает сосуществование трещин и ВПР в виде сети-паутины, образованной как «сети внутри сетей». Каждая сеть в иерархии интегральной сети представляет собой ансамбль определенных элементов на определенном структурном уровне.

Разноуровневые сети проявляют себя и взаимодействуют через внутри- и межструктурные связи.

Развитая сеть трещин и ВПР связывает все уровни структуры бетона и изделия в единую диссипативную систему, организация которой как многоуровневого набора относительно автономных подструктур происходит в результате их взаимовлияния. Взаимообусловленность уровней проявляется во взаимном инициировании структурных перестроек, что обратным порядком отражается на их собственной структуре как источников возмущения. Это позволяет предположить возможность использования параметров структурных уровней как факторов управления, посредством которых можно направленно создавать структуры с требуемыми параметрами составляющих для работы материала изделия в конкретных условиях эксплуатации.

Основной причиной снижения стойкости бетона как материала строительных изделий, включая конструкции сооружений железнодорожного транспорта, считают малоцикловую усталость. Периодическое изменение температурно-влажностных градиентов воспринимает бетон, в котором возникают деформации, связанные с изменением массы и объема. Происходят необратимые структурные перестройки, что является причиной изменения свойств материала. Благоприятные преобразования структуры способствуют ее самосохранению за счет реализации эффектов адаптации, возможность проявления которых в первую очередь связана с присутствием в бетоне трещин и ВПР. Это предопределяется тем, что внутренние поверхности раздела и трещины способны изменять собственные параметры в одном темпоритме с воздействиями [1]. Сосуществование этих элементов в виде сети позволяет обеспечить своевременное перераспределение деформаций. Таким образом, для повышения стойкости бетона необходимо обеспечить определенный

сетевой набор трещин и ВПР, который будет гарантировать адекватность проявления реакций структуры материала на всех уровнях неоднородностей. Следует ожидать, что увеличение многовариантности параметров макроструктуры должно привести к усилению разнообразия характеристик активных элементов на уровне всего материала, условно разделенного на структурные ячейки. Этим будут создаваться предпосылки для сохранения структурой нормативных показателей свойств бетона на протяжении проектного срока службы изделия.

Все сделанные теоретические предположения получили практическое подтверждение.

Для определения свойств материала в ячейках были изготовлены модели на основе портландцемента одного состава с имитаторами заполнителей в виде призм, которые располагали таким образом, чтобы получить ячейки кубической и гексагональной формы при различном ориентировании в них заполнителей. Изменение состояния поверхности заполнителей осуществляли путем аппретирования веществом с пониженной адгезией к цементной составляющей. Это обеспечило различные соотношения сил связи на границах раздела между матричным материалом и заполнителями: $R_A > R_K$; $R_A < R_K$; $R_A = R_K$, где R_A – величина адгезии матричного материала к поверхности заполнителя, R_K – величина когезионной прочности матричного материала.

Проведенные исследования подтвердили индивидуальность проявления свойств матричной составляющей в структурных ячейках с различными параметрами. В условиях эксперимента величина объемных деформаций твердеющего матричного материала при разных способах укладки заполнителей изменялась до 27 %, при модификации их поверхности – до 44 %. Изменение сроков схватывания составило в среднем 1,5-2 ч в

зависимости от формы и свойств ячеек. В различных зонах одной и той же структурной ячейки периоды формирования отличались до 30-45 мин.

Поврежденность матричного материала начальными дефектами оценивали через коэффициент поврежденности [1]: $K_p = \sum L/S$, где $\sum L$ –

общая протяженность трещин и внутренних поверхностей раздела в выделенной зоне структурной ячейки, см; S – площадь выделенной зоны, $см^2$. В зависимости от расположения и типа укладки заполнителей значения K_p могут изменяться до 2-2,5 раз, при различном состоянии поверхности – до 40 % (рис. 1).

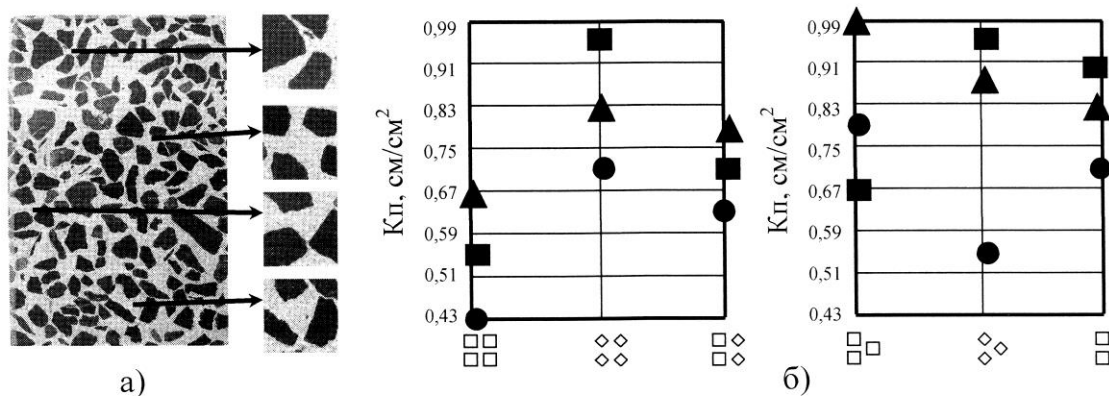


Рис. 1. Разнообразие геометрических параметров структурных ячеек бетона промышленного состава (а) и их влияние на значения коэффициента технологической поврежденности K_p (б):
прямоугольники – $R_A < R_K$; кружки – $R_A > R_K$; треугольники – $R_A = R_K$

Суммарное количество трещин и ВПР определяет общую гетерогенность материала и, следовательно, его способность в форме изделия противостоять разрушающим нагрузкам. При этом, несмотря на индивидуальность свойств структурных ячеек, в изделии они проявляют себя как взаимосвязанные части одной целостности. Изменение значений прочности при сжатии моделей при изменении характеристик макроструктуры составило 27-48 %. Увеличение сложности структурного оформления путем неупорядоченного расположения заполнителей способствовало повышению показателей прочности до 40 % по сравнению с моделями, в которых заполнители располагались симметрично. Развитие магистральной трещины

проходило по дефектам, образовавшимся в период структурообразования матричной составляющей.

Развитие трещин в материалах с блочной структурой можно представить как дискретно-непрерывный процесс, что связано цикличностью воздействий и поэтапным подрастанием отдельно всех трещин [9]. Как следствие, происходит изменение интегральной поврежденности материала изделия. Было определено, что различие значений K_p матричной составляющей моделей одинарных ячеек в зависимости от их параметров после циклов попеременного увлажнения и высушивания составило от 10 до 57 %. Влияние разнообразия структуры на изменение поврежденности сохранялось при каждом цикле воздействий (рис. 2).

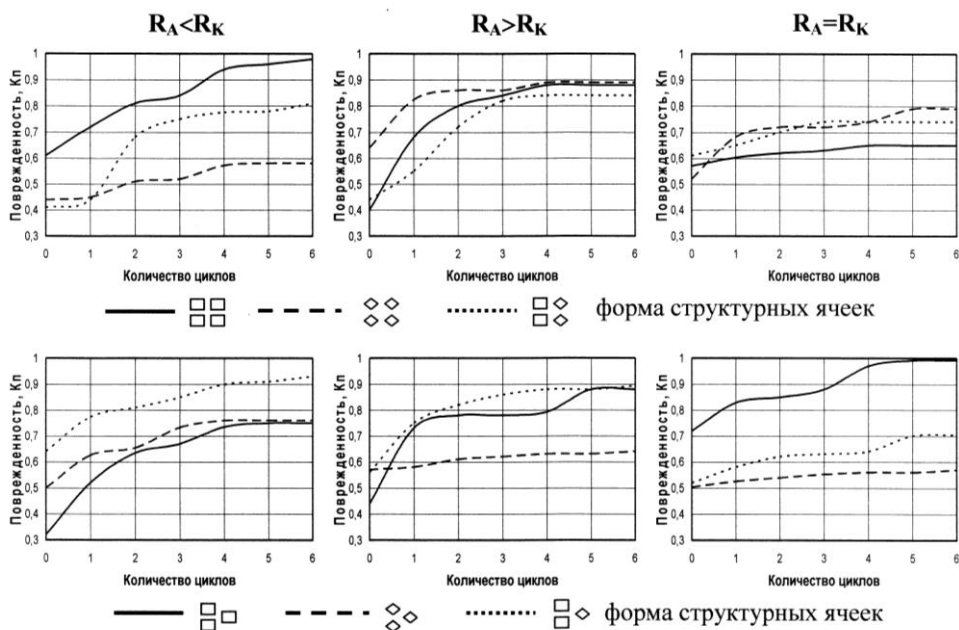


Рис. 2. Изменение интегральной поврежденности (Кп, см/см²) бетона с различными параметрами макроструктуры при многократном увлажнении и высушивании

Изделия из бетонов промышленных составов включают разнообразный набор макроструктурных параметров, что способствует перераспределению реакций структуры материала и повышению ее стабильности на макроуровне. Это было подтверждено при проведении экспериментов с использованием составов бетона на гранитном щебне. Анализировали три характерных случая формирования сил связи между матричной составляющей и поверхностью заполнителей: $R_A > R_K$ – на необработанном щебне; $R_A < R_K$ – на щебне, обработанном ГКЖ-11; $R_A = R_K$ – на смеси зерен щебня с обработкой гидрофобизатором и без обработки.

Повышение макроструктурного разнообразия бетона путем использования заполнителей с избирательной адгезией ($R_A = R_K$) обеспечило увеличение прочности при сжатии образцов-кубов (10x10x10 см) до 24 %, модуля упругости до 27 %. Коэффициент поврежденности уменьшился до 29 %, водопоглощение до 19 %. Объем открытых капиллярных пор изменился до 2 раз, показатель их среднего размера на 26 %, показатель однородности размеров на 30 %.

Разнообразие макроструктурных параметров бетона в одном образце-кубе подтвердилось широким диапазоном значений прочности, полученных с помощью прибора ИМС-МГ 4.01. Количественные показатели прочностных характеристик отличались для бетона на необработанном заполнителе до 40 %; для бетона на заполнителе, обработанном ГКЖ, до 30 %; для бетона на заполнителе с различным состоянием поверхности заполнителей до 45 %. Скорость прохождения ультразвукового импульса в локальных объемах одних и тех же кубов-образцов принятых составов различалась в интервалах: при $R_A > R_K$ – от $U=3,32$ м/с до $U=3,65$ м/с; при $R_A < R_K$ – от $U=3,31$ м/с до $U=3,94$ м/с; при $R_A = R_K$ – от $U=3,35$ м/с до $U=3,88$ м/с. Разброс значений свойств связан с тем, что в каждой ячейке, образованной заполнителями в матричной составляющей, создается своя сеть трещин и внутренних поверхностей раздела. Этим можно объяснить неаддитивность изменения параметров активных элементов в отдельных ячейках при периодическом изменении влажности и температуры.

Наиболее стойкими оказались образцы с избирательной адгезией матричного материала к поверхности заполнителей. Увеличение разнообразия структуры привело к изменениям сети трещин и ВПР, тем самым были созданы условия для адаптации материала изделия к знакопеременным воздействиям.

Выводы исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Можно заключить, что структурный подход является эффективным методологическим приемом, позволяющим исследовать конкретные изделия как определенные целостности с учетом структуры и свойств составляющих их частей. Для направленного создания взаимосвязных разномасштабных структур с заданным набором элементов рационально использовать внутренние резервы материала изделия.

Факторами управления могут выступать параметры уровней структурных неоднородностей. Саморазвитие и самоподдержка сетей трещин и внутренних поверхностей раздела дают возможность проявиться эффектам адаптации материала, что позволяет изделиям-системам функционировать в течение проектного периода их службы. Взаимообусловленность структурной организации на различных уровнях неоднородностей материала является объективным процессом, который необходимо учитывать при назначении составов и технологических режимов производства изделий и конструкций в зависимости от их вида и назначения. Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о перспективности сделанных теоретических допущений и необходимости продолжения исследований в этом направлении.

Список использованных источников

1. Выровой, В. Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства [Текст] / В. Н. Выровой, В. С. Дорофеев, В. Г. Суханов. – Одесса: ТЭС, 2010. – 169 с.
2. Системный подход к разработке и управлению качеством строительных материалов [Текст] / Ю. М. Баженов, А. М. Данилов, И. А. Гарькина [и др.]. – М.: ПАЛЕОТИП, 2006. – 188 с.
3. Прангишвили, И. В. Системный подход и общесистемные закономерности [Текст] / И. В. Прангишвили. – М.: Синтез, 2000. – 519 с.
4. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов [Текст] / В. И. Соломатов, В. Н. Выровой, А. Н. Бобрышев [и др.]. – Ташкент: ФАН, 1991. – 345 с.
5. Грушко, И. М. Повышение прочности и выносливости бетона [Текст] / И.М. Грушко, А.Г. Ильин, Э.Д. Чихладзе. – Харьков: Вища школа, 1986. – 152 с.
6. Плугин, А. Н. Коллоидно-химические основы прочности и долговечности бетона и конструкций [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин // Строительные материалы. – 2007. – №7 (631). – С. 68-71.
7. Матурана, У. Древо познания: Биологические корни человеческого понимания [Текст] / У. Матурана, Ф. Варела. – М.: Прогресс-Традиция, 2001. – 224 с.
8. Пашенко, А. А. Теория цемента [Текст] / А.А. Пашенко, Е.А. Мясникова, В.С. Гумен, [и др.]. – К: Будівельник, 1991. – 168 с.
9. Суханов, В. Г. Структура материала в структуре конструкции [Текст] / В. Г. Суханов, В. Н. Выровой, О. А. Коробко. – Одесса: Полиграф, 2016. – 244 с.
10. Fic, S.V. Procesy samoorganizacji struktury kompozytowych materialow budowlanych [Text] / S.V. Fic, V.N. Vyrovoy, V.S. Dorofeev V.S. – Lublin: Politechnika Lublenska, 2013. – 143 p.
11. Выровой, В. Н. Бетон в условиях ударных воздействий [Текст] / В. Н. Выровой, В. С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.
12. Коробко, О. А. Роль деформаций в "жизни" бетона [Текст] / О. А. Коробко, В. Н. Выровой, В.Г. Суханов [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – №3 (29). – С. 114-121.

13. Хоменко, А. А. Развитие деформаций при локальном увлажнении строительных изделий и аналитическое описание процессов [Текст] / А. А. Хоменко // Motrol: commission of motorization and energetics in agriculture. – 2014. – Vol. 16, No. 5. – P. 249-254.

14. Шейнич, Л. А. Процессы самоорганизации структуры строительных композитов [Текст] / Л. А. Шейнич, Е. К. Пушкарева. – К.: Гамма-Принт, 2009. – 153 с.

15. Чернявский, В. Л. Адаптация абиотических систем: бетон и железобетон [Текст] / В. Л. Чернявский. – Днепропетровск: ДНУЖТ, 2008. – 412 с.

16. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А. В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

Коробко Оксана Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри архітектурних конструкцій, реставрації та реконструкції будівель, споруд та їх комплексів Одеської державної академії будівництва та архітектури. Тел.: (+038)096-36-90-522. E-mail: korobko1971@mail.ua.

Korobko Oksana Aleksandrovna, PhD. Sc. Associate Professor, Department of Architectural Constructions, Restoration and Reconstruction of Buildings, Constructions and their Complexes Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture. Tel.: (+038)0963690522. E-mail: korobko1971@mail.ua.

Стаття прийнята 27.03.2017 р.

УДК 691.328

НОВА ПОСТАНОВКА ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ БЕТОНОЗНАВСТВА

Доктори техн. наук **В. І. Кондращенко (МДУШС),**
О. В. Кондращенко (ХНУМГ ім. О.М. Бекетова),
ЦЗИН Гоцин (Пекинський транспортний університет),
магістри ВАН Чжуан (МДУШС), **А. В. Єрохіна (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова)**

НОВАЯ ПОСТАНОВКА ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ БЕТОНОВЕДЕНИЯ

Доктора техн. наук **В. И. Кондращенко (МГУПС),**
Е. В. Кондращенко (ХНУГХ им. А. Н. Бекетова),
ЦЗИН Гоцин (Пекинский транспортный университет),
магистры ВАН Чжуан (МГУПС), **А. В. Ерохина (ХНУГХ им. А. Н. Бекетова)**

NEW STATEMENT OF CONCRETE STUDIES OPTIMIZATION PROBLEMS

Doctor Professor V. I. Kondrashchenko, E. V. Kondrashchenko, JING Guoqing,
master WANG Chuang, A. V. Yerokhina

Запропоновано інтегрований підхід до призначення рецептури будівельних композитів, який передбачає оптимізацію рецептурно-технологічних параметрів отримання будівельних матеріалів і виробів за комплексом вимог, що висуваються не тільки до властивостей матеріалу і технологічних параметрів їх виготовлення, але і до властивостей самої конструкції, для виготовлення якої цей матеріал призначений.

***Ключові слова:** диференційований і інтегрований підхід, оптимізаційні завдання бетонознавства, рецептурно-технологічні параметри.*

Предложен интегрированный подход к назначению рецептуры строительных композитов, который предусматривает оптимизацию рецептурно-технологических параметров получения строительных материалов и изделий по комплексу требований, предъявляемых не только к свойствам материала и технологическим параметрам их изготовления, но и к свойствам самой конструкции, для изготовления которой этот материал предназначен.

Ключевые слова: дифференцированный и интегрированный подход, оптимизационные задачи бетоноведения, рецептурно-технологические параметры.

Civil engineering people differentiate between «process» and «design» approaches to problem solution. In the former case process engineers assign composition and process parameters without due consideration of material working terms in structure, whereas in the latter case designers calculate articles issuing from material normalized characteristics, without due consideration of its composition and manufacturing peculiarities of articles. Such an approach to solution of civil engineering problems may be called differentiated. On the contrary, integrated approach presupposes determination of composition and process parameters issuing from the integrity of requirements not only to material properties with due consideration of article manufacturing process, but to the properties of structure to making of which the material is intended. We formulated the problem of concrete mix formulating optimization issuing from a complex of requirements to concrete mix properties, article manufacturing process, as well as of consumption proportioning of concrete mix components, structure dimensions and its reinforcement. It is emphasized that the integrated approach meets the most efficient solution of the backbone problem of building materials science – obtaining building materials and articles with prescribed set of properties under optimal expense of feed materials and utilities.

Key words: a differentiated and integrated approach, concrete studies optimization problems, prescription technological parameter.

Вступ. Сучасні тенденції в будівельному матеріалознавстві відрізняються зростаючими вимогами до якості сировини, технології отримання будівельних композитів і експлуатаційних властивостей виробів. В основу цих вимог повинен бути покладений принцип сталого розвитку цивілізації, що передбачає врахування інтересів як сучасників, так і наступних поколінь. Стосовно до будівельного матеріалознавства домінантою такого принципу виступає пріоритетне забезпечення екологічної ефективності прийнятих рішень на всіх стадіях життєвого циклу виробів – від впливу сировини на довкілля, технологічних процесів і готової продукції до утилізації останньої. Тим самим отримання екологічно безпечної і в той же час економічної продукції є складним багатоцільовим і багатопараметричним

завданням, ефективність вирішення якого багато в чому визначає застосовувана методологія призначення рецептури і технологічних параметрів виготовлення виробів.

У даний час у будівельній галузі в основу методології вирішення наукових та практичних завдань покладено диференційований підхід, при якому завдання поділяється на «технологічну» і «конструкторську» складові. У першому випадку рецептурно-технологічні параметри призначають технологи без урахування особливостей роботи матеріалу в конструкції («на марку»), а в другому – розрахунок виробів проводять конструктори за ДБН, не враховуючи вже рецептуру і технологічні параметри виготовлення виробів.

Тим самим не враховуються особливості роботи матеріалу в

конструкції, для виготовлення якої він призначений, в той час як варіюванням витрати складових можливе регулювання властивостей матеріалу в широкому діапазоні, що забезпечує, при тій же міцності бетону, підвищений модуль пружності або збільшення граничних деформацій розтягування бетону, а це забезпечить при тій же міцності конструкції зниження відповідно її деформативності і підвищення тріщиностійкості.

Таким чином, центральне завдання бетонознавства – визначення оптимальних складів бетону треба вирішувати не в традиційній постановці, коли визначають витрати складових компонентів тільки за властивостями бетонної суміші та бетону, але і з урахуванням властивостей залізобетонної конструкції, для виготовлення якої цей бетон призначений, – за вимогами до її міцності, деформативності і тріщиностійкості.

Такий підхід до постановки оптимізаційних задач бетонознавства стимулює розвиток нових напрямків наукових досліджень, що дозволять об'єднати «технологічний» і «конструкторський» напрямки у будівництві, а це має важливе практичне значення для розвитку будівельної галузі в цілому.

Аналіз виконаних досліджень і публікацій. У бетонознавстві диференційований підхід до призначення складів бетону був закладений класичними роботами Р. Фере, Д. Абрамса, Н. М. Беляєва, М. Болемея і І. Г. Малюги. На основі їх розвитку Б. Г. Скрамтаєвим, Ю. М. Баженовим, П. Ф. Шубенкіним [1, 2], І. А. Кирієнко [3], В. І. Сорокером [4], В. П. Сизовим [5], В. М. Шмігальським [6], І. М. Френкелем [7] та іншими вченими метод розрахунково-експериментального визначення складів бетону на щільних і пористих заповнювачах був регламентований [8, 9]. Подальший його розвиток йде шляхом уточнення структурних [10] і фізико-хімічних параметрів застосовуваних матеріалів [11-13], урахування неодно-

рідності макроструктурних напружень в бетоні [14-16], поширення кількості врахованих рецептурних факторів і властивостей бетонної суміші та бетону [17-24].

Перехід до багатопараметричних (багатофакторних) завдань визначення складів бетонної суміші відображає сучасні тенденції розвитку будівельної науки з отримання високоякісних композиційних матеріалів, зокрема, бетонів (типу *high-performance concrete*) для будівництва доріг, гідротехнічних споруд, зимового бетонування, будівництва в сухому і жаркому кліматі та ін. [21, 22, 25, 26, 33-35]. У зв'язку з цим поряд з традиційними показниками легкоукладальності і міцності як властивості бетонної суміші та бетону розглядаються показники нерозшарованості бетонної суміші, об'єму повітровтягування, морозостійкості, водонепроникності, тріщиностійкості та інших характеристик матеріалу.

Подальшим розвитком багатопараметричного підходу до визначення рецептури будівельних композитів є підхід, який, на відміну від диференційованого, назовемо *інтегрованим*. Інтегрований підхід передбачає проведення оптимізації рецептурно-технологічних параметрів отримання будівельних матеріалів і виробів за комплексом вимог, що висувуються не тільки до властивостей матеріалу і технологічних параметрів їх виготовлення, а й до властивостей самої конструкції, для виготовлення якої цей матеріал призначений.

Щодо термінів «диференційований» і «інтегрований» відзначимо, що вони використовуються при моделюванні систем [27], управлінні в конкурентному середовищі [28], розробці будівельних композитів («інтеграційний») [19, 29], оптимізації конструкцій [30] і за змістом є синонімами слів «роздільний» і «комплексний» відповідно.

Основна частина досліджень. Особливості методології інтегрованого підходу розглянемо на прикладі оптимізації

складів бетону залізобетонних конструкцій без урахування технологічних особливостей їх виготовлення, тобто при вирішенні тільки рецептурного завдання.

Стосовно до бетонознавства відмінність в диференційному і інтегрованому підходах до вирішення оптимізаційних задач пояснює рисунок.

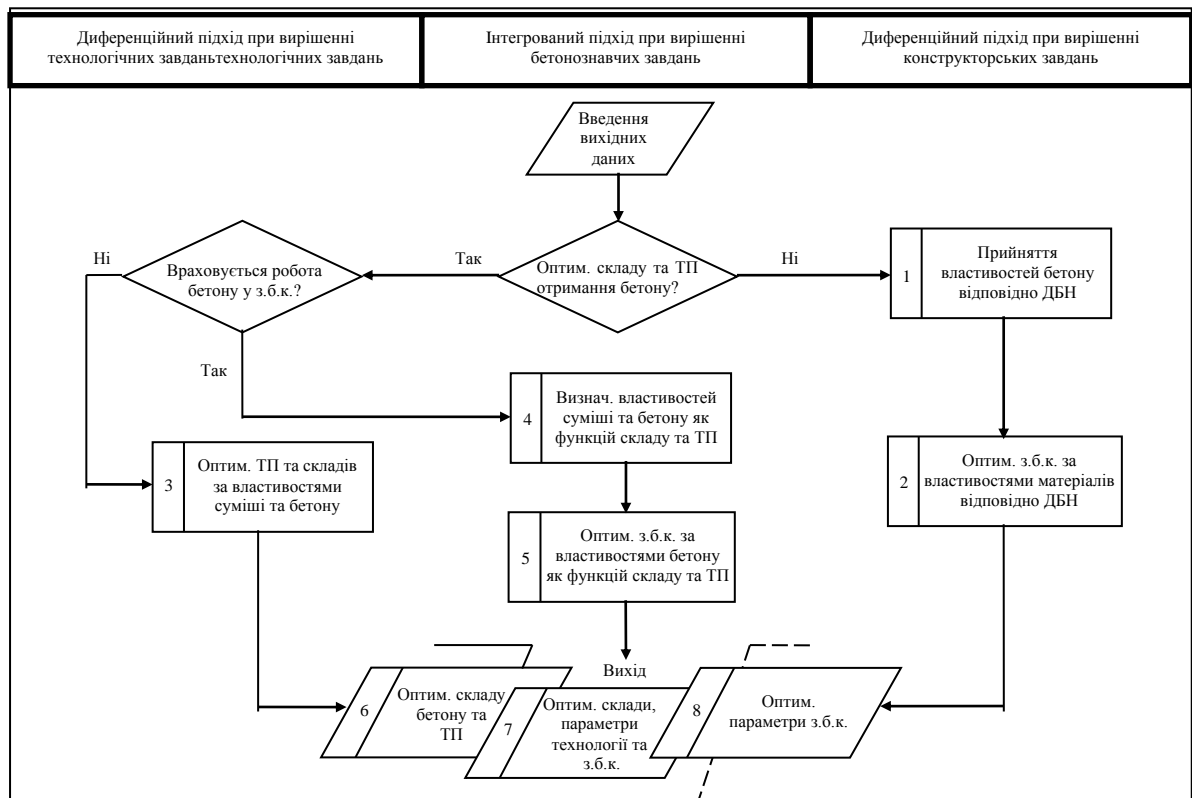


Рис. Блок-схема оптимізаційних завдань бетонознавства:

ТП – технологічні параметри; з.б.к. – залізобетонні конструкції; оптим. – оптимізація

Як видно з рисунка, результатом рішень в традиційній постановці технологічних завдань (п. 3) є оптимальний склад бетону і/або технологічні параметри його одержання (п. 6), а конструкторських завдань (п. 1 і 2) – оптимальні геометричні розміри конструкції, характеристики бетону і розташування арматури в залізобетонній конструкції, відповідно до норм ДБН (п. 8). При інтегрованому ж підході (п. 4 і 5) визначення складу бетону, технологічних параметрів виготовлення і параметрів залізобетонної конструкції розглядається як єдина задача, результатом вирішення якої є не тільки оптимальні склад і технологія виготовлення

залізобетонної конструкції, але і її оптимальні геометричні розміри і армування (п. 7).

У загальному випадку при інтегрованому підході для оптимізації складів бетону як цільову функцію доцільно прийняти вартість одиниці об'єму залізобетонної конструкції

$$C_{bc}(x) = \sum c_i + (\sum T_{ja} c_{ja})/V_b, \quad (1)$$

де V_b – об'єм бетону в конструкції, m^3 ; c_i – вартість i -ї ($i = 1, \dots, I$) складової бетонної суміші в одиниці об'єму бетону, $руб./m^3$; T_{ja} – маса арматури j -го класу ($j = 1, \dots, J$) у виробі, т; c_{ja} – вартість

одиниці маси арматури j -го класу, руб./т; x – варійовані параметри (у формулі (1) і далі в символі Σ індекси підсумовування вилучені).

Завдання оптимізації складу бетону з урахуванням вимог, що висувають як до властивостей бетонної суміші (наприклад, за рухливістю, нерозшарованістю, об'ємом зернових порожнин та ін.) і бетону (наприклад, за середньою густиною, міцністю, морозостійкістю та ін.), так і до залізобетонної конструкції, для виготовлення якої цей бетон призначений (наприклад, за міцністю, жорсткістю, тріщиностійкістю та ін.), сформулюємо таким чином: знайти витрати складових бетонної суміші x_i , при яких забезпечується мінімальна вартість матеріалів в одиниці об'єму залізобетонної конструкції $C_{bc}(x)$ і виконуються вимоги, що висувають як до властивостей бетонної суміші та бетону, так і до конструкції з цього бетону, або, в математичній постановці знайти значення

$$x \cdot (x_1, \dots, x_i), \quad (2)$$

при яких

$$C_{bc}(x) \Rightarrow \min \quad (3)$$

і одночасно виконуються вимоги, що висувають до таких чинників:

– властивостей бетонної суміші та бетону

$$\varphi_{mb}(x_i) \cdot \mathcal{R}[\varphi_{mb}(x_i)]; \quad (4)$$

– властивостей залізобетонної конструкції

$$\varphi_c(x_i, x_p, x_j) \cdot \mathcal{R}[\varphi_c(x_i, x_p, x_j)]; \quad (5)$$

– витрат складових бетонної суміші

$$x_i \cdot \mathcal{R}[x_i]; \quad (6)$$

– розмірів конструкції

$$x_p \cdot \mathcal{R}[x_p]; \quad (7)$$

– її армування

$$x_j \cdot \mathcal{R}[x_j], \quad (8)$$

де x_i – варійовані параметри, що показують витрати складових бетонної суміші в 1 м^3 бетону; x_p і x_j – параметри, що характеризують відповідно розміри і армування конструкції; $\varphi_{mb}(x_i)$ – функції відгуку, що являють собою властивості бетонної суміші і бетону, які залежать від складових бетонної суміші x_i ; $\varphi_c(x_i, x_p, x_j)$ – функції, що є властивостями конструкції і залежні від складових бетонної суміші x_i , її розмірів x_p і армування x_j ; $[\varphi_{mb}(x_i)]$, $[\varphi_c(x_i, x_p, x_j)]$ – допустимі значення функцій відгуку $\varphi_{mb}(x_i)$ і $\varphi_c(x_i, x_p, x_j)$; $[x_i]$, $[x_p]$ і $[x_j]$ – той же змінних параметрів x_i , x_p і x_j ; символ \mathcal{R} позначає знаки $<$, $=$, $>$, \leq або \geq , що використовують при складанні одно- (наприклад, вигляду $x_i \geq [x_i]$) і двосторонніх (наприклад, вигляду $[x_i'] \leq x_i \leq [x_i'']$) обмежень.

Інтегрований підхід відповідає найбільш ефективному вирішенню центральної проблеми будівельного матеріалознавства – отримання будівельних матеріалів і виробів із заданим комплексом властивостей при мінімальних витратах сировинних і енергетичних ресурсів. Така ефективність може бути досягнута при об'єднанні («інтегруванні») «технологічних» і «конструкторських» оптимізаційних задач на основі врахування особливостей роботи матеріалу в конструкції.

Ідея інтегрованого підходу вперше, мабуть, була сформульована і експериментально підтверджена в роботі [31] стосовно оптимізації складів бетону попередньо напружених плит перекриття на шлакопемзовому заповнювачі. Отриманий при цьому ефект обумовлений тим, що при розрахунку конструкцій з легких бетонів підвищення класу бетону на «марку», понад встановлену розрахунком, потрібно для забезпечення необхідної жорсткості або тріщиностійкості виробів.

Однак цього можна уникнути призначенням більш високої міцності на розтягнення або модуля пружності при тій же міцності бетону варіюванням витрат його складових.

Як відомо, діапазон зміни властивостей легких бетонів при цьому досить широкий. Наприклад, для шлакопемзобетону при фіксованій його міцності на стиск на мариупольській шлаковій пемзі він досягає для міцності на осьовий розтяг $\pm (14-18) \%$, модуля пружності $\pm (6-8) \%$, густини в сухому стані $\pm (60-110) \text{ кг/м}^3$; на липецькій шлаковій пемзі для міцності на розтяг при розколюванні $\pm (9-16) \%$ і середній густині

ні бетону у сухому стані $\pm (30-75) \text{ кг/м}^3$ від їх середніх значень [31, 32].

Для важкого бетону діапазон зміни фізико-механічних властивостей також досить великий, особливо для величини повзучості бетону при стисненні – її мінімальні і максимальні значення відрізняються в десятки разів (див. таблицю). При цьому зниження деформацій повзучості важкого бетону важливо для забезпечення тріщиностійкості залізобетонних виробів, бо підвищена деформативність бетону призводить до зменшення рівня натягу арматури і появи в них поперечних тріщин.

Таблиця

Діапазони зміни властивостей важкого бетону

R, МПа	Стиснення [32]						Розтягування [32]	
	$C^{max}; C^{min}$	C^{max}/C^{mi}	$\epsilon^{max}; \epsilon^{min}$	$\epsilon^{max}/\epsilon^{min}$	$E^{max}; E^{min}$	E^{max}/E^{min}	$R_p^{max}; R_p^{min}$	R_p^{max}/R_p^{min}
15	$2,8 \cdot 10^{-5}; 3,0 \cdot 10^{-7}$	93	$4,5 \cdot 10^{-4}; 2,1 \cdot 10^{-4}$	2,1	$2,6 \cdot 10^3; 1,3 \cdot 10^3$	2,0	1,72; 0,26	6,6
20	$2,4 \cdot 10^{-5}; 9,7 \cdot 10^{-7}$	25	$5,2 \cdot 10^{-4}; 9,3 \cdot 10^{-5}$	5,6	$2,9 \cdot 10^3; 1,5 \cdot 10^3$	1,9	2,13; 0,39	5,5
25	$1,9 \cdot 10^{-5}; 5,3 \cdot 10^{-7}$	36	$4,9 \cdot 10^{-4}; 8,2 \cdot 10^{-5}$	6,0	$3,6 \cdot 10^3; 1,8 \cdot 10^3$	2,0	2,48; 0,32	7,8
30	$1,0 \cdot 10^{-5}; 2,1 \cdot 10^{-7}$	48	$3,3 \cdot 10^{-4}; 1,2 \cdot 10^{-4}$	2,8	$4,8 \cdot 10^3; 3,4 \cdot 10^3$	1,4	3,44; 0,87	4,0
R, МПа	Розтягування [32]				Тріщиностійкість [36]			
	$E_p^{max}; E_p^{min}$	$E_p^{max}; E_p^{min}$	$C_p^{max}; C_p^{min}$	C_p^{max}/C_p^{min}	$K_{IC}^{max}; K_{IC}^{min}$	$K_{IC}^{max}/K_{IC}^{min}$	$K_{IIC}^{max}; K_{IIC}^{min}$	$K_{IIC}^{max}/K_{IIC}^{min}$
15	$4,1 \cdot 10^3; 1,5 \cdot 10^3$	2,7	$2,9 \cdot 10^{-5}; 2,6 \cdot 10^{-6}$	11	0,58; 0,50	1,2	16,8; 15,8	1,1
20	$4,5 \cdot 10^3; 1,7 \cdot 10^3$	2,6	$2,3 \cdot 10^{-5}; 2,8 \cdot 10^{-6}$	8	0,62; 0,30	2,1	17,0; 12,1	1,4
25	$4,8 \cdot 10^3; 2,0 \cdot 10^3$	2,4	$2,2 \cdot 10^{-5}; 2,9 \cdot 10^{-6}$	7	0,62; 0,35	1,8	16,0; 9,2	1,7
30	$5,5 \cdot 10^3; 2,4 \cdot 10^3$	2,3	$1,3 \cdot 10^{-5}; 3,8 \cdot 10^{-6}$	4	0,66; 0,41	1,6	16,6; 7,0	2,4

Примітка. R і R_p – міцності на стиск і розтяг, МПа; C і C_p – показники повзучості, $(\text{кг/см}^2)^{-1}$; E і E_p – модулі пружності, МПа; ϵ – відносні деформації повзучості, відн. одиниці; K_{IC} і K_{IIC} – критичні КІН при нормальному відриві і плоскому зсуві, $\text{МН/м}^{3/2}$.

Як це видно з таблиці, для забезпечення тріщиностійкості залізобетонних виробів є також значні резерви підвищення міцності бетону на розтяг R_p (від 4,0 до 7,8 разу) і опору розвитку в ньому тріщин відриву K_{IC} і зсуву K_{IIC} – до 2,4 разу.

На закінчення обговорення нового підходу до постановки оптимізаційних задач в бетонознавстві, а саме інтегрованого підходу, відзначимо його дещо відмінну інтерпретацію в роботі [30], в якій ідея інтеграції досліджень у галузі будівельного матеріалознавства і будівельних конструкцій розглядається стосовно раціонального управління властивостями матеріалу в конструкції (як при їх виготовленні, так і зміні властивостей під дією агресивних середовищ) і підпорядкування законів штучного структуроутворення (грунту)

критеріям оптимальності для споруд в цілому.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Сформульовано нову постановку оптимізаційних задач бетонознавства, при якій визначення складу бетону виконується не тільки за властивостями бетонної суміші та бетону, але і властивостями залізобетонної конструкції, для виготовлення якої він призначений. Цільовою функцією при цьому може бути вартість одиниці об'єму залізобетонної конструкції, а обмеженням – властивості бетонної суміші, бетону і залізобетонної конструкції за міцністю, жорсткістю і тріщиностійкістю. Перспектива подальших досліджень пов'язана з практичною реалізацією даного підходу для розрахунку оптимальних складів бетону залізобетонних конструкцій масового виробництва і унікальних об'єктів будівництва.

Список використаних джерел

1. Скрамтаев, Б. Г. Способы определения состава бетона различных видов [Текст] / Б. Г. Скрамтаев, П. Ф. Шубенкин, Ю. М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1966. – 159 с.
2. Баженов, Ю. М. Способы определения состава бетона различных видов [Текст] / Ю. М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1975. – 272 с.
3. Кириенко, И. А. Расчет состава высокопрочных и обычных бетонов и растворов [Текст] / И. А. Кириленко. – К.: Госстройиздат, 1961. – 145 с.
4. Сорокер, В. И. Производственные расчеты состава бетона [Текст] / В. И. Сорокер. – М.: Стройиздат, 1933. – 235 с.
5. Сизов, В. П. Рациональный подбор составов тяжелого бетона [Текст] / В. П. Сизов. – М.: Стройиздат, 1995. – 174 с.
6. Шмигальский, В. Н. Оптимизация составов цементобетонов [Текст] / В. Н. Шмигальский. – Кишинев, 1981. – 123 с.
7. Френкель, И. М. Основы технологии тяжелого бетона [Текст] / И. М. Френкель. – М.: Стройиздат, 1966. – 223 с.
8. Руководство по подбору составов тяжелого бетона [Текст]. – М.: Стройиздат, 1979. – 102 с.
9. Руководство по подбору составов конструктивных легких бетонов на пористых заполнителях [Текст]. – М.: Стройиздат, 1974. – 54 с.
10. Рыбьев, И. А. Оптимизация состава бетона на основе теории ИСК с применением ЭВМ [Текст] / И. А. Рыбьев, Ф. Г. Сулейманов. – М.: ВЗИСИ, 1989. – 110 с.
11. Шеин, В. И. Физико-химические основы оптимизации технологии бетона [Текст] / В. И. Шеин; под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. – М.: Стройиздат, 1977. – 272 с.
12. Пунагін, В. М. Фізико-аналітичний метод проектування складів бетону [Текст] / В. М. Пунагін, Л. С. Савін [та ін.]. – Дніпропетровськ: НВО «Захист», 1994. – 154 с.

13. Бабушкин, В. И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона [Текст] / В. И. Бабушкин. – М.: Стройиздат, 1968. – 187 с.
14. Зазимко, В. Г. Оптимизация свойств строительных материалов [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / В. Г. Зазимко. – М.: Транспорт, 1981. – 103 с.
15. Гусев, Б. В. Напряженно-деформированное состояние полидисперсного композиционного материала, типа цементного бетона [Текст] / Б. В. Гусев // Тр. Междунар. науч.-практ. конф.: Наука и технология силикатных материалов – настоящее и будущее. – М.: РХТУ, 2003. – Т. 1. – С. 71-91.
16. Чернышов, Е. М. Неоднородность строения и закономерности формирования поля внутренних напряжений при силовом нагружении строительных композитов [Текст] / Е. М. Чернышов, Е. И. Дьяченко, А. И. Макеев // Вестник РААСН. – М., 2000. – Вып. 3. – С. 184-193.
17. Баженов, Ю. М. Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона [Текст] / Ю. М. Баженов, В. А. Вознесенский. – М.: Стройиздат, 1974. – 192 с.
18. Дворкин, Л. И. Многофакторное прогнозирование свойств и проектирование составов бетона [Текст] / Л. И. Дворкин, И. Б. Шамбан. – М.: Стройиздат, 1992. – 132 с.
19. Ляшенко, Т. В. Поля свойств строительных материалов (концепция, анализ, оптимизация) [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук: спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби» / Ляшенко Татьяна Васильевна; [ОГАСА]. – Одесса, 2003. – 34 с.
20. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст] / В. А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
21. Дворкин, Л. И. Оптимальное проектирование составов бетона [Текст] / Л. И. Дворкин. – Львов: Вища школа, 1981. – 159 с.
22. Дворкин, О. Л. Проектирование составов бетона (основы теории и методологии) [Текст]: монография / О. Л. Дворкин. – Ровно: УДУВГП, 2003. – 266 с.
23. Файнер, М. Ш. Введение в математическое моделирование технологии бетона [Текст] / М. Ш. Файнер. – Львов: Світ, 1993. – 240 с.
24. Сторк, Ю. Теория состава бетонной смеси [Текст] / Ю. Сторк. – Л.: Стройиздат, 1971. – 238 с.
25. Миронов, С. А. Теория и методы зимнего бетонирования [Текст] / С. А. Миронов. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.
26. Пунагин, В. М. Призначення складів гідротехнічного бетону [Текст] / В. М. Пунагін, О. М. Пшінько, Н. М. Руденко. – Дніпропетровськ: Арт-Прес, 1998. – 213 с.
27. Советов, Б. Я. Моделирование систем [Текст]: учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая шк., 1998. – 319 с.
28. Prastacos, G. An integrated framework for managing change in the new competitive landscape [Text] / G. Prastacos, K. Soderquist, Y. Spanos, L. Wassenhove // Europ. management J., Oxford, 2002. – Vol. 20. – №. 1. – P. 55–71.
29. Грызлов, В. С. Информационно-физические аспекты макроструктурообразования бетона [Текст] / В. С. Грызлов, С. В. Демидов // Изв. вузов. Строительство. – М., 2000. – № 7-8. – С. 39-42.
30. Оптимизация материала конструкции [Текст] / В. М. Бондаренко, В. А. Ивахнюк, В. И. Колчунов [и др.] // Вестник РААСН. – М., 2000. – Вып. 3. – С. 23-25.
31. Кондращенко, В. И. Применение методов оптимизации составов бетона с целью повышения эффективности железобетонных изделий [Текст] / В. И. Кондращенко. – Харьков: ХИИТ, 1990. – 189 с.

32. Львовский, Е. Н. Экспериментально-статистические исследования деформаций ползучести заводского бетона с построением математических моделей второго порядка для их вычисления и прогнозирования [Текст] / Е. Н. Львовский, Г. В. Бордеяну // В кн.: Прочность, деформативность и устойчивость строительных конструкций. – Кишинев: Штиинца, 1977. – С. 3-11.

33. Hassan, A. Non-destructive testing of ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPC): A feasibility study for using ultrasonic and resonant frequency testing techniques [Text] / A. Hassan, S. Jones // Construction and Building Materials, 2012. – Vol. 35. – P. 361–367.

34. Kim, K.Y. Determination of air-void parameters of hardened cement-based materials using X-ray computed tomography [Text] / K.Y. Kim, T.S. Yun, J. Choo, D.H. Kang, H.S. Shin // Construction and Building Materials, 2012. – Vol. 37. – P. 93-101.

35. Łazniewska-Piekarczyk, B. The type of air-entraining and viscosity modifying admixtures and porosity and frost durability of high performance self-compacting concrete [Text] / B. Łazniewska-Piekarczyk // Construction and Building Materials, 2013. – Vol. 40. – P. 659-671.

36. Физико-механические, силовые, энергетические и структуроформирующие параметры бетона [Текст] / К. А. Пирадов, Т. Л. Мамаев, Т. А. Кожабеков, С. М. Марченко // Бетон и железобетон. – 2002. – № 2. – С. 10-12.

Кондращенко Валерій Іванович, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних матеріалів та технологій Московського державного університету шляхів сполучення. Тел. +7 (495) 684-22-75.
E-mail: kondrashchenko@mail.ru.

Кондращенко Олена Володимирівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельного виробництва та будівельних матеріалів Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел. (057)707-31-10. E-mail: zalesk@gmail.com.

ЦЗИН Гоцин, д-р наук, професор Пекінського транспортного університету. Тел. +86 15901173248.
E-mail: gqiinq@bjti.edu.cn.

ВАН Чжуан, магістр кафедри будівельних матеріалів та технологій Московського державного університету шляхів сполучення. Тел. +7 (495) 684-22-75. E-mail: wssyxxjyb@qq.com.

Єрохіна Ганна Вікторівна магістр, кафедра технологій будівельного виробництва та будівельних матеріалів Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел. (057)707-31-10.
E-mail: yerokhina0403@rambler.ru.

Kondrashchenko Valery Ivanovich, Doctor Professor of Department of building materials and technology, Moscow State University of Railway Engineering. Tel.+7 (495) 684-22-75. E-mail: kondrashchenko@mail.ru.

Kondrashchenko Elena Vladimirovna, Doctor Professor of Department of construction technology and building materials, A. N. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov. Tel. (057)707-31-10.
E-mail: zalesk@gmail.com.

JING Guoqing, Ph. D. of Beijing Jiaotong University. Tel.+86 15901173248. E-mail: gqiinq@bjti.edu.cn.

WANG Chuang, master of Department of building materials and technology, Moscow State University of Railway Engineering. Tel. +7 (495) 684-22-75. E-mail: wssyxxjyb@qq.com.

Yerokhina Anna Viktorovna master, Department of construction technology and building materials, A. N. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov. Tel. (057)707-31-10. E-mail: yerokhina0403@rambler.ru.

Стаття прийнята 14.03.2017 р.

УДК 666.965

ОПИСАНИЕ ВОДОСТОЙКОСТИ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИЙ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОГО КРИТЕРИЯ

Кандидаты техн. наук В. Я. Керш, А. В. Фощ, А. В. Колесников (ОГАСА)

ОПИС ВОДОСТІЙКОСТІ ГІПСОВМІСНИХ КОМПОЗИЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНОГО КРИТЕРІЮ

Кандидати техн. наук В. Я. Керш, А. В. Фощ, А. В. Колесников (ОДАБА)

DESCRIPTION OF WATER RESISTANT GYPSUM-CONTAINING COMPOSITION WITH A COMBINED CRITERIA

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

В статье рассматриваются характеристики водостойкости композитных материалов на основе гипсо-цементно-золевых вяжущих. На примерах соотношений прочностных характеристик материала показано, что классический коэффициент размягчения является недостаточно корректной оценкой его водостойкости. Предложена более объективная и точная характеристика – индекс водостойкости K_w , имеющий характер приведенной прочности. Показано, что индекс водостойкости коррелирует с прочностными характеристиками на порядок лучше, по сравнению с коэффициентом размягчения. Рассмотрены преимущества предлагаемой характеристики перед существующими и возможность обобщения предлагаемого подхода на другие характеристики материала. Индекс водостойкости может использоваться в качестве критерия оптимальности в задачах материаловедения.

Ключевые слова: гипс, водостойкость, композиционное гипсовое вяжущее, коэффициент размягчения, индекс водостойкости.

У статті розглядаються характеристики водостійкості композитних матеріалів на основі гіпсо-цементно-золевих в'язучих. На прикладах співвідношень міцності матеріалу показано, що класичний коефіцієнт розм'якшення є недостатньо коректною оцінкою його водостійкості. Запропоновано більш об'єктивну і точну характеристику – індекс водостійкості K_w , що має характер приведеної міцності. Показано, що індекс водостійкості корелює з міцністю на порядок краще в порівнянні з коефіцієнтом розм'якшення. Розглянуто переваги запропонованої характеристики перед існуючими та можливість узагальнення запропонованого підходу на інші характеристики матеріалу. Індекс водостійкості може використовуватися як критерій оптимальності у задачах матеріалознавства.

Ключові слова: гіпс, водостійкість, композиційне гіпсове в'язуче, коефіцієнт розм'якшення, індекс водостійкості.

This article discusses the characteristics of the water resistance of composite materials based on gypsum-cement-ash binders. The example of the relationship of strength characteristics demonstrates that the classical softening coefficient is not enough proper evaluation of its water resistance. A more objective and accurate description - the index of water resistance K_w , having the character of the corrected strength, is proposed. It has been shown that water resistance index correlates with the strength characteristics much better than the softening coefficient. Authors

consider the advantages of the proposed characteristics over existing and generalization of proposed approach to other characteristics of the material. Water resistance index can be used as an optimality criterion in materials science problems.

Keywords: gypsum, water resistant, composite gypsum binders, softening coefficient, an index of water resistance.

Введение. Общей задачей строительного материаловедения является создание композитных материалов из доступных и недорогих компонентов с целью максимальной реализации их потенциальных преимуществ. Универсальное решение этой задачи отсутствует. В частности недостаточно использованы возможности материалов на основе гипсовых вяжущих, получение и использование которых перспективно как с экономических, так и экологических позиций. Существенным недостатком таких композитов является потеря прочности при их увлажнении. Степень водостойкости материалов оценивается коэффициентом размягчения K_p , равным отношению прочностей при сжатии в водонасыщенном и сухом состоянии [1]: $K_p = R_g / R_{сух}$. Коэффициент размягчения изделий из чистого гипса $K_p = 0,3 - 0,5$. Прочность гипсовых композитов с рыхлыми наполнителями (например, перлит) резко уменьшается при контакте с влагой, вплоть до самопроизвольного разрушения в водонасыщенном состоянии. Повышение водостойкости гипсовых композитов является актуальной задачей.

Коэффициент размягчения, как характеристика водостойкости материалов на гипсовых вяжущих, имеет некоторые недостатки. В частности материалы с низкой прочностью в водонасыщенном состоянии могут характеризоваться высоким значением K_p . Представляется целесообразной разработка иной характеристики водостойкости, лишенной рассмотренного недостатка.

Анализ последних исследований и публикаций. Повышение водостойкости гипсовых композитов осуществляется в основном по двум направлениям: 1) создание смесей с пониженной растворимостью на основе гипса и цемента с обязательной добавкой компонентов с пуццоланической активностью (золы и шлаки, трепел, опока) для предотвращения образования этtringита; 2) применение гидрофобизирующей обработки. На первом пути были получены ГЦП и ГЦШ вяжущие [2-6]. Объемная и поверхностная гидрофобизации также увеличивают водостойкость материала [7, 8]. Одновременное применение указанных приемов может повысить водостойкость материалов на основе гипса до $K_p = 0,7 - 0,8$ [8].

Перспективным направлением является разработка многокомпонентного композиционного материала на основе гипса, цемента, золы – ЗГЦВ [9-11], теплоизолирующего наполнителя – перлита и гидрофобизирующих добавок.

Определение цели и задач исследований. Целью исследования являлось улучшение качества критериев оценки водостойкости гипсосодержащих композиций. Задача исследований – на основе результатов экспериментального исследования прочности гипсосодержащих материалов разработать методику оценки водостойкости, более тесно связанной с прочностью материала в водонасыщенном состоянии.

Основная часть исследования. В исследовании с использованием указанных компонентов, согласно методике [6], сформирован 3-факторный план эксперимента для исследований свойств золоперлитобетона средней плотностью 1500 кг/м^3 . Изготовлены 15 опытных образцов и

определены их свойства, в частности прочность при сжатии в сухом и

водонасыщенном состояниях, а также коэффициент размягчения (табл. 1).

Таблица 1

Прочность опытных образцов в сухом, водонасыщенном состоянии и характеристики их водостойкости

Номер образца	$R_{\text{сух}}$, МПа	$R_{\text{в}}$, МПа	K_p	$K_{\text{в}}$, МПа
1	2	3	4	5
1	18,0	11,0	0,61	6,73
2	10,1	6,6	0,65	4,32
3	19,8	9,8	0,50	4,85
4	9,7	4,7	0,48	2,26
5	8,5	4,9	0,57	2,81
6	20,3	9,9	0,49	4,82
7	4,8	3,0	0,62	1,84
8	14,0	6,5	0,47	3,04
9	11,6	8,8	0,76	6,68
10	10,5	6,7	0,64	4,27
11	11,7	9,2	0,79	7,27
12	13,7	7,9	0,58	4,60
13	13,9	9,9	0,71	6,99
14	13,0	6,2	0,48	2,94
15	6,2	3,4	0,54	1,80

Коэффициент размягчения K_p , рассчитанный для серии опытных образцов (табл. 1), неоднозначно отражает фактическую водостойкость материала. Например, прочность при сжатии в сухом состоянии образца № 1: $R_{\text{сух}} = 18,0$ МПа, прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии $R_{\text{в}} = 11,0$ МПа и коэффициент размягчения $K_p = 0,61$. Для образца № 2: $R_{\text{сух}} = 10,1$ МПа, $R_{\text{в}} = 6,61$ МПа, а $K_p = 0,65$, то есть больше, чем для 1-го образца, хотя прочностные характеристики 2-го образца значительно хуже, чем 1-го.

Другой характерный пример – соотношение прочностных характеристик и коэффициентов размягчения образцов №№ 5, 6 и 7. Самый высокий коэффициент размягчения $K_p = 0,62$ у образца № 7 с наихудшими прочностными показателями, и наоборот, самый низкий коэффициент размягчения $K_p = 0,49$ у образца № 6 с высокими прочностными показателями:

прочность в водонасыщенном состоянии образца № 6 превышает аналогичную характеристику 7-го образца более чем в три раза. То есть материал, например с коэффициентом размягчения 0,9, может быть отнесен, по формальному признаку, к водостойким, хотя абсолютные значения прочности могут быть недопустимо низкими.

Анализ зависимости коэффициента размягчения от прочности образцов в сухом и водонасыщенном состоянии (рис. 1) показал отсутствие взаимной статистической связи.

Введенный в качестве параметра оптимизации в математическую модель коэффициент размягчения не позволяет получить адекватные выводы о влиянии рецептурных факторов на водостойкость материала, а следовательно, дать правильные рекомендации при разработке составов материалов с требуемыми свойствами.

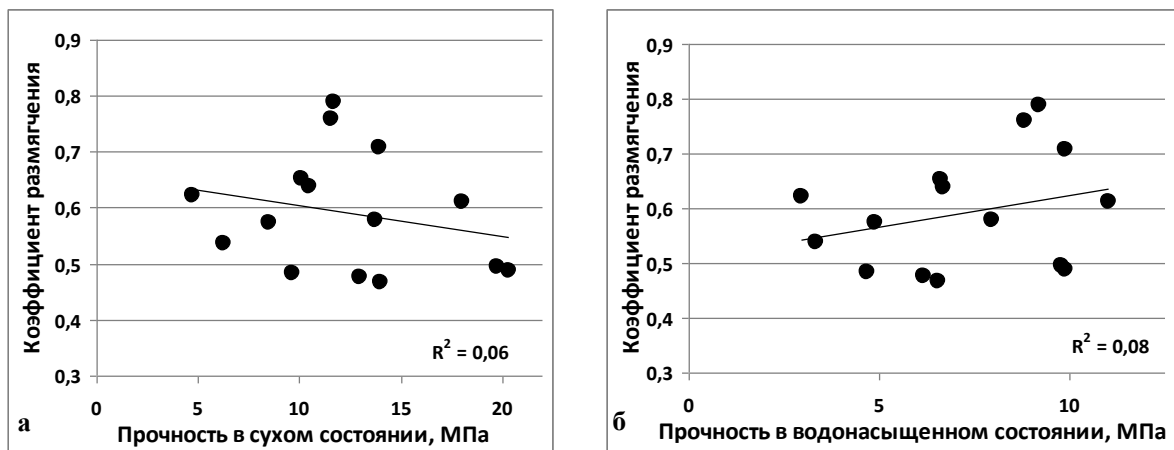


Рис. 1. Связь коэффициента размягчения с прочностью образцов в сухом (а) и водонасыщенном (б) состоянии

Таким образом, общепринятая характеристика – коэффициент размягчения, на наш взгляд, не может служить однозначным критерием оценки водостойкости материалов рассматриваемого класса. Существенно более важной характеристикой гипсосодержащих композитов является их прочность, особенно в водонасыщенном состоянии, так как даже предназначенные для эксплуатации внутри помещений материалы могут оказаться в экстремальных условиях (бытовое затопление, в результате повреждения ограждающих конструкций, в частности кровли, окон, при гашении пожаров водой и др.). Кроме того, существенное повышение водостойкости материалов на гипсовых вяжущих, с учетом рассмотренных прочностных характеристик, позволило бы расширить область их применения, в том числе в наружных ограждающих конструкциях.

Более полезным критерием водостойкости представляется предлагаемый нами индекс водостойкости K_B – коэффициент, в котором «усилено» значение прочности в водонасыщенном состоянии $K_B = R_{вл}^2 / R_{сух}$ (табл. 1). Приведенные на

рис. 2 графики отражают значительно более высокую достоверность аппроксимации взаимосвязей индекса водостойкости и прочностных показателей материала, по сравнению с традиционным коэффициентом размягчения.

Предлагаемый индекс водостойкости позволяет более объективно и точно оценивать степень водостойкости материалов и сравнивать их между собой по этому признаку, так как он:

1) статистически детерминирован – более высоким значениям прочности, как правило, соответствует более высокий индекс водостойкости, что позволяет использовать его в качестве критерия оптимальности в задачах материаловедения;

2) имеет физический смысл приведенной прочности, $K_p = K \cdot R_p$, МПа;

3) изменяется в большем диапазоне значений (табл. 1: $K_B = 1,80-7,27$), что повышает точность оценки водостойкости по сравнению с коэффициентом размягчения, варьирующим в пределах всего нескольких десятых ($K_p = 0,48-0,79$).

Кроме того, расчетная формула индекса водостойкости проста и его смысл интуитивно понятен.

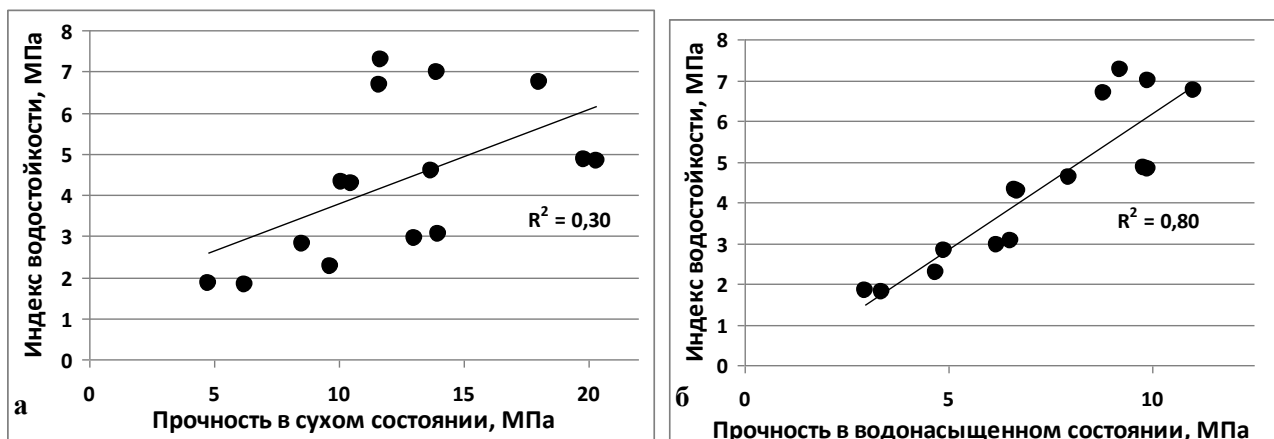


Рис. 2. Связь индекса водостойкости с прочностью образцов в сухом (а) и водонасыщенном (б) состоянии

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Переход от классического коэффициента размягчения к индексу водостойкости является частью стратегии иерархической оптимизации материала

[12]. Она основана на последовательном процессе группировки отдельных характеристик, приводящем в итоге к единой глобальной функции оптимальности (рис. 3).

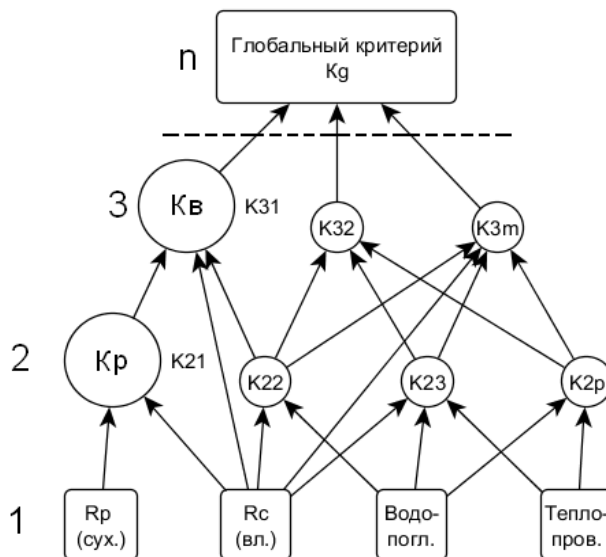


Рис. 3. Схема иерархической оптимизации в материаловедении

На каждом иерархическом уровне происходит усложнение критериев, включение в них критериев оптимальности, находящихся на предыдущих уровнях.

Критерии, принадлежащие предшествующим уровням, входят в задачу оптимизации посредством ограничений, отражающих нормативные характеристики. Так, у

рассмотренных выше материалов можно оптимизировать индекс водостойкости, сохраняя для коэффициента размягчения лишь граничные требования, согласующиеся с принятыми нормативами. При этом промежуточные парциальные

критерии и в частности индекс водостойкости, в ряде случаев могут представлять самостоятельный интерес и быть полезными для исследования и оптимизации материалов разных классов.

Список использованных источников

1. Дворкин, Л. И. Строительные минеральные вяжущие материалы [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 544 с.
2. Волженский, А. В. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия [Текст] / А. В. Волженский, В. И. Стамбулко, А. В. Ферронская. – М.: Стройиздат, 1971. – 318 с.
3. Vimmrova A. Lightweight gypsum composites: design strategies for multi-functionality [Text] / A. Vimmrova, M. Keppert, L. Svoboda, R. Cerny // Cement and Concrete Composites. – 2011. – P. 84-89.
4. Bakker, J.J.F.: Mortar and concrete based on calcium sulphate, 2006, Civil Engineering Bachelor Thesis, University Twente, Enschede, The Netherlands.
5. Данилович, И. Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов [Текст] / И. Ю. Данилович, Н. А. Сканави. – М.: Высшая школа. 1988. – 77 с.
6. Волженский, А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 255 с.
7. Фощ, А. В. Оцінка якості гідрофобізуючих добавок та їх вплив на водостійкість гіпсу [Текст] / А. В. Фощ, В. Я. Керш, А. В. Колесников // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 157. – С. 49-53.
8. Коровяков, В. Ф. Перспективы применения водостойких гипсовых вяжущих в современном строительстве [Текст] / В. Ф. Коровяков // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: материалы Всероссийского семинара. – М., 2002. – С. 51-56.
9. Гасан, Ю. Г. Особливості складу та структуроутворення композитів на основі енергозберігаючої модифікованої зологіпсоцементної в'язучої речовини для виготовлення виробів зовнішнього опорядження будинків [Текст] / Ю. Г. Гасан, Г. В. Кучерова, О. В. Сергієнко // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: наук.-техн. зб. – К.: Товариство «Знання України», 2013. – Вип. 48. – С. 122-127.
10. Kovler, K. “Strength and Water Absorption for Gypsum - Cement Silica Fume Blends of Improved Performance”; Advances in Cement Research, 10, 1998. – P. 81-92.
11. Bentur, A. et al, “Gypsum of Improved Performance Using Blends with Portland Cement and Silica Fume”; Advances in Cement Research, 6, 1994. – P. 109-116.
12. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов [Текст] / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Я. П. Иванов [и др.]. – К.: Будівельник, 1989. – С. 55-97.

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

Колесников Андрій Валерійович, канд. техн. наук, старший викладач Одеської державної академії будівництва та архітектури. Тел.: (050)554-84-13. E-mail: kolesn@stikonet.od.ua.

Kersh V.Ya., Cand. Sc., Prof., Head of the 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.

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.

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

Стаття прийнята 14.03.2017 р.

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

**COLLECTED SCIENTIFIC WORKS OF UKRAINIAN
STATE UNIVERSITY OF RAILWAY**

Випуск 168

«Збірник наукових праць УкрДУЗТ» включено до списку друкованих (електронних) періодичних видань, що включаються до Переліку наукових фахових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України від 21.12.2015 р. № 1328 (додаток 8)).

Статті друкуються в авторській редакції мовою оригіналу
Усі статті пройшли подвійне сліпе наукове рецензування.

Відповідальний за випуск Янченко Л. В.

Редактори Буранова Н. В., Еткало О. О., Решетилова В. В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 25.04.2017 р.
Формат паперу А4. Папір писальний.
Умовн.друк. арк. 10,5. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.