



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 159



Харків 2016

УДК 656.2.004.18

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

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

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

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

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

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

ISSN 1994-7852

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 2 від 23 лютого 2016 р.

Збірник 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

Альошинський Є.С., д.т.н., професор,
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., професор, УкрДУЗТ
Вовк Р.В., д.фіз.-мат.н., професор, УкрДУЗТ
Воронін С.В., д.т.н., професор, 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
Мартинів 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
Щербак Я.В., д.т.н., професор УкрДУЗТ

ЗМІСТ

<i>Акімов О.І., Акімова Ю.О.</i> Визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування за умови мінімальної вартості	5
<i>Панченко С.В., Лаврухін О.В., Котенко А.М., Каграманян А.О., Шевченко В.І., Пархоменко О.О.</i> Удосконалення технології і умов перевезення багажу та поштових відправлень залізницею	10
<i>Емельянова И.А., Ковревский А.П., Блажко В.В.</i> Анализ движения частиц сухой строительной смеси в свободном рабочем пространстве смесителей после схода с лопаток их рабочих органов	17
<i>Журавлев А.Ю.</i> Оценка асимметрии рельсовой линии и информационных частот тонального спектра	24
<i>Емельянова И.А., Чайка Д.О.</i> Беспоршневые универсальные бетононасосы нового конструктивного решения с гидравлическим приводом для условий строительной площадки	33
<i>Щербина О.С., Барабаш И.В., Ксёнишкевич Л.Н.</i> Дисперсно-армированный керамзитобетон на механоактивированном порландцементе	39
<i>Лобяк А.В., Зайцев Ю.И.</i> Оценка сейсмостойкости мостового крана повышенной грузоподъемности с учетом вариаций динамических параметров	47
<i>Казимагомедов И.Э., Шептун С.Ю.</i> Влияние микронаполнителей на усадочные деформации растворов для наливных полов	57
<i>Карпюк В.М., Крантовська О.М., Коцюрубенко О.М.</i> Оцінка несучої здатності похилих перерізів нерозрізних залізобетонних елементів	63
<i>Ланко А.О.</i> Спосіб визначення чисельності обслуговуючого персоналу в умовах обмеження кількості та зайнятості	71
<i>Бойнік А.Б., Сільник М.Я.</i> Дослідження тепловізійного контролю станційних пристроїв залізничної автоматики	76
<i>Пустовойтова О.М., Камчатна С.М., Псурцева Н.О., Литвинова Г.М.</i> Тривала міцність з'єднань бетонів при дії статичних навантажень	84
<i>Візняк Р.І., Чепурченко І.В., Яценко А.О.</i> Особливості визначення експлуатаційних навантажень кузова напіввагона та шляхи удосконалення його конструкції з метою забезпечення міцності і збереження	91

<i>Волков О.В.</i> Вплив постійного магнітного поля на процес зчеплення між колесом та рейкою	97
<i>Сафонюк І.Ю.</i> Вплив вмісту води у гідравлічній оливі на знос деталей тертя засобів транспорту	103
<i>Тулей Ю.Л.</i> Аналіз формування жорсткостей проміжних скріплень типів Д-2, Д-4, КППД-2 та СКД-65	109
<i>Мороз В.І., Братченко О.В., Громов В.І.</i> Розрахункове визначення кінематичних характеристик елементів конструкції технічних засобів транспорту методом перетворення координат	118

УДК 621.315.21

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА УМОВИ МІНІМАЛЬНОЇ ВАРТОСТІ

Кандидати техн. наук О.І. Акімов, Ю.О. Акімова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ УСЛОВИИ МИНИМАЛЬНОЙ СТОИМОСТИ

Кандидаты техн. наук А.И. Акимов, Ю.А. Акимова

DETERMINATION OF THE OPTIMAL MAINTENANCE INTERVALS OF MINIMUM COST CONDITIONS

Cand. of techn. sciences A.I. Akimov, Y.A. Akimova

У статті запропоновано для складних технічних комплексів залізниці, періодичне обслуговування яких вимагає великих економічних витрат, методику визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування (ТО) обладнання за умови мінімальної вартості.

До розрахунку прийнято ту частину експлуатаційних витрат, яка йде на профілактичне обслуговування під час проведення ТО та усунення несправностей у період між ТО.

Ключові слова: визначення, періодичність, технічне обслуговування, мінімальна вартість, методика розрахунку, експлуатація, період між технічними обслуговуваннями, строк проведення, відмова, час виконання, параметр потоку відмов.

В статті предложена методика определения оптимальной периодичности технического обслуживания оборудования при условии минимальной стоимости.

Ключевые слова: определение, периодичность, техническое обслуживание, минимальная стоимость, методика расчета, эксплуатация, период между техническими обслуживаниями, срок проведения, отказ, время выполнения, параметр потока отказов.

The article offered for complex technical railway, periodic maintenance required large economic costs, method of determining the optimal frequency of maintenance equipment with minimum cost.

The calculation adopted by the portion of operating costs, which comes to preventive maintenance during maintenance and troubleshooting between maintenance.

The cost of maintenance provided analytical dependence by performing maintenance, the cost per element is replaced and the number of items that are replaced during the period between maintenance.

In turn, the time to perform maintenance as expressed through time for maintenance provided equipment uptime, multiplied by the appropriate exponential function.

Thus obtained value maintenance.

Under the scheme proposed analytical expression for the cost of removal of failures between maintenance.

For expression failure flow parameter used by Laplace function.

After finding these components resulting expression for the maintenance of absolute value, and then - for its specific value.

The minimum value of this function will match the optimum size of the period between maintenance.

Keywords: *definition, periodicity, maintenance, minimum cost, method of calculation, period between the maintenance, refusal, run-time, the failure flow parameter.*

Постановка проблеми. Оснащеність технічних комплексів залізниці великою кількістю складного і коштовного обладнання, яке потребує періодичного обслуговування і вимагає великих економічних витрат, ставить актуальним питання про необхідність визначення оптимальної періодичності їх технічного обслуговування (ТО) з урахуванням мінімальних витрат сил та засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дана проблема розглядається у роботах [2, 7, 8]. Однак у цих дослідженнях час, необхідний для проведення ТО, взятий як деяка середня величина. Але у дійсності він залежить від частоти проведення ТО. Причому при вирішенні задачі враховувалися тільки відмови знішення, що обмежує застосування даної методики для розрахунку періодичності ТО.

У роботі [4] також розглядається задача визначення оптимальної періодичності контролю систем керування виробництвом із умови вартості, але в дещо іншому плані. Тут враховується тільки вартість продукції, що випускається.

Для визначення оптимального періоду між черговими ТО обладнання систем електропостачання комплексів залізниці такий підхід неприйнятний.

Мета статті. У зв'язку з викладеним вище виникає необхідність у розробленні методики розрахунку оптимальних строків між черговими ТО з урахуванням мінімальних витрат на експлуатацію обладнання.

Основна частина. При вирішенні цієї задачі до розрахунку приймається тільки та частина експлуатаційних витрат, яка йде на профілактичне обслуговування під час проведення ТО та усунення несправностей у період між ТО. Решта витрат на експлуатацію не враховуються, оскільки

вони не визначаються строками проведення ТО.

Вартість ТО обладнання складається:

– з вартості виконання ТО;

– вартості усунення відмов, що відбувалися в період між ТО, і вартості елементів та вузлів, які замінюються новими у зв'язку із закінченням гарантійного строку або виходу їх з ладу.

Вартість ТО $C_{ТО}$ відповідно до [2] можна зобразити такою залежністю:

$$C_{ТО} = (C_{П}T_{П} + C_{Н}N)m, \quad (1)$$

де $C_{П}$ – вартість виконання ТО, що припадає на одну годину робіт;

$T_{П}$ – час, який витрачається на виконання ТО;

$C_{Н}$ – вартість одного елемента, що замінюється;

N – кількість елементів, які замінюються в період між ТО;

m – кількість ТО за проміжок часу експлуатації обладнання, що розглядається.

Час, необхідний для виконання ТО, можна подати такою залежністю:

$$T_{П} = T_{ПО} e^{\alpha(T_{Р}-T_{О})}, \quad (2)$$

де $T_{ПО}$ – час, необхідний для проведення ТО при тривалості періоду між ТО, що дорівнює середньому часу безвідмовної роботи обладнання;

α – коефіцієнт, що визначає залежність тривалості ТО від величини періоду між ТО;

$T_{Р}$ – тривалість періоду між ТО;

$T_{О}$ – середній час безвідмовної роботи обладнання.

Кількість елементів, що замінюються під час ТО, можна подати такою залежністю:

$$N = N_0 e^{\beta(T_p - T_0)}, \quad (3)$$

де N_0 – кількість елементів, що замінюються під час ТО у випадку тривалості періоду між ТО, що дорівнює середньому часу безвідмовної роботи обладнання;

β – коефіцієнт, що визначає залежність кількості елементів, що замінюються, від тривалості періоду між ТО.

З урахуванням введених позначень, а також вважаючи $m = T_e / T_p$, де T_e – період експлуатації, вартість ТО можна записати в такому вигляді:

$$C_{TO} = \left(C_{II} T_{по} e^{\alpha(T_p - T_0)} + C_H N_0 e^{\beta(T_p - T_0)} \right) \frac{I}{T_p} T_e. \quad (4)$$

Визначимо вартість усунення раптових і поступових відмов для періоду експлуатації $T_e < T_0$.

Якщо припустити, що система після кожного ТО відновлюється до рівня надійності, що відповідає новому обладнанню, то вартість усунення відмов C_B^T за деякий період експлуатації T_e буде дорівнювати

$$C_B^T = (C_B T_B + C_H) n(T_e), \quad (5)$$

де C_B – вартість виконання робіт з усунення відмов, що припадає на одну годину робіт;

T_B – час відновлення відмови;

$n(T_e)$ – кількість відмов, що відбувалися за час T_e .

Кількість відмов, які відбувалися за час T_e , може бути записана у вигляді:

$$n(T_e) = n(T_p) \frac{T_e}{T_p}, \quad (6)$$

де $n(T_p)$ – кількість відмов за один період між ТО.

У свою чергу кількість відмов за період між ТО може бути знайдена за формулою

$$n(T_p) = N_0 \int_0^{T_p} \omega(t) dt, \quad (7)$$

де $\omega(t)$ – параметр потоку відмов.

Параметр потоку відмов за [5] дорівнює:

$$\omega(t) = C_1 \lambda + \frac{C_2 \sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi \left(\frac{t-T_0}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right)}, \quad (8)$$

де $\Phi \left(\frac{t-T_0}{\sigma \sqrt{2}} \right)$ – функція Лапласа;

σ – середньоквадратичне відхилення;

λ – інтенсивність раптових відмов;

C_1 і C_2 – коефіцієнти, що враховують раптові і поступові відмови.

Підставивши вираз для параметра потоку відмов у формулу (7), отримаємо

$$n(T_p) = N_0 \int_0^{T_p} \left(C_1 \lambda + \frac{C_2 \sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi \left(\frac{t-T_0}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right)} \right) dt. \quad (9)$$

Тоді з урахуванням (6) будемо мати:

$$n(T_e) = N_o C_1 \lambda \frac{T_e}{T_p} + \frac{T_e}{T_p} N_o C_2 \int_0^{T_p} \frac{\sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi\left(\frac{t-T_0}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right)} dt. \quad (10)$$

Підставивши значення $n(T_e)$ у формулу (5), отримаємо значення вартості усунення відмов у період між ТО:

$$C_B^T = (C_B T_B + C_H) \times \left[N_o C_1 \lambda \frac{T_e}{T_p} + \frac{T_e}{T_p} N_o C_2 \int_0^{T_p} \frac{\sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi\left(\frac{t-T_0}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right)} dt \right]. \quad (11)$$

Сумарна вартість ТО з урахуванням витрат на ТО і усунення відмов за період експлуатації $T_e < T_o$ буде дорівнювати

$$C = C_{TO} + C_B^T. \quad (12)$$

Підставивши у вираз (12) значення C_{TO} і C_B^T з формул (4) і (11) відповідно отримаємо

$$C = \left(C_{II} T_{II} e^{\alpha(T_p - T_o)} + C_H N_o e^{\beta(T_p - T_o)} \right) \frac{T_e}{T_p} + (C_B T_B + C_H) \times \left[N_o C_1 \lambda \frac{T_e}{T_p} + \frac{T_e}{T_p} N_o C_2 \int_0^{T_p} \frac{\sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi\left(\frac{t-T_0}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right)} dt \right]. \quad (13)$$

Оскільки для аналізу отриманого виразу більш зручно мати не абсолютну вартість ТО, а її питоме значення C_o , тобто

вартість, що припадає на одну годину експлуатації обладнання, то поділивши вираз (13) на T_e , отримаємо

$$C_o = \left(C_{II} T_{II} e^{\alpha(T_p - T_o)} + C_H N_o e^{\beta(T_p - T_o)} \right) \frac{1}{T_p} + N_o (C_B T_B + C_H) \times$$

$$\times \left[C_1 \lambda \frac{1}{T_P} + \frac{C_2}{T_P} \int_0^{T_P} \frac{\sqrt{2} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \sqrt{\pi} \left(1 - \Phi \left(\frac{t-T_0}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right)} dt \right]. \quad (14)$$

Оптимальна питома величина C_0 буде відповідати мінімальному значенню функції (14), а цьому значенню буде відповідати оптимальна величина періоду між ТО.

Висновки. Запропоновано методику, яка дає змогу визначити оптимальну періодичність технічного обслуговування обладнання за умови мінімальної вартості.

Список використаних джерел

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Текст]: утв. приказом М-ва топлива и энергетики № 258 от 25 июня 2006 г. (в редакции приказа М-ва энергетики и угольной промышленности № 91 от 13 февраля 2012 г.). – Харьков: Изд-во «Форт», 2012. – 404 с.
2. Шишенок, Н.А. Теория надежности и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Н.А. Шишенок. – М.: Сов. Радио, 1964. – 552 с.
3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.
4. Половко, А.Н. Основы теории надежности [Текст] / А.Н. Половко. – М.: Наука, 1964. – 446 с.
5. Теория и техника автоматических систем контроля и управления [Текст] / под ред. Е.А. Артеменко. – Харьков: ХВВУ, 1972. – 357 с.
6. Акімов, О.І. Вибір раціональної стратегії обслуговування електрообладнання [Текст] / О.І. Акімов, В.В. Панченко, Д.Л. Сушко, Д.А. Стояновський // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізн. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 103-107.
7. Nazarychev, A. Maintenance and repair electric equipment stations and substations taking into account the technical condition [Text] / A.Nazarychev // Power and Electrical Engineering / Scientific Proceedings of Riga Technical University. – Riga, Latvia, 2002. – Vol. 5. 5 P. 40 - 45.
8. Nigris, M. Application of modern techniques for the condition assessment of power transformers [Text] / M. de Nigris, R. Passaglia, R. Berti, L. Bergonzi, R. Maggi // CIGRE. – 2004. Report A2-209.

Рецензент д-р техн. наук, професор Я.В. Щербак

Акімов Олександр Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-75.
Акімова Юлія Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вищої математики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-38.

Akimov Alexander Ivanovich, cand. of techn. sciences, associated professor department of the automated systems of electric transport Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-75.
Akimova Yuliya Alexandrovna, cand. of techn. sciences, associated professor department of Mathematics Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-38.

Прийнята 10.02.2016 р.

УДК 656.212.2

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.38714

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ І УМОВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ БАГАЖУ ТА ПОШТОВИХ ВІДПРАВЛЕНЬ ЗАЛІЗНИЦЕЮ

Доктори техн. наук С.В. Панченко, О.В. Лаврухін, А.М. Котенко,
кандидати техн. наук А.О. Каграманян, В.І. Шевченко, асп. О.О. Пархоменко

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСЛОВИЙ ПЕРЕВОЗКИ БАГАЖА И ПОЧТОВЫХ ОТПРАВЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГОЙ

Доктора техн. наук С.В. Панченко, А.В. Лаврухин, А.М. Котенко,
кандидаты техн. наук А.А. Каграманян, В.И. Шевченко, асп. А.А. Пархоменко

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY AND CONDITIONS OF BAGGAGE AND PARCEL TRANSPORTATION BY RAILS

Doctors of Technical Sciences S.V. Panchenko, O.V. Lavrukhina, A.M. Kotenko,
Candidates of Technical Sciences A.A. Kagramanyan, V.I. Shevchenko,
a graduate student A.A. Parkhomenko

Необхідність підвищення ефективності роботи залізниць України вимагає застосування нових ефективних технологій перевезення вантажів, багажу та поштових відправлень, які дозволили б відновити їх перевезення залізницею, суттєво підвищити в першу чергу продуктивність праці та скоротити терміни їх доставки. Нові технології забезпечують принципові зміни у формуванні залізничних перевезень багажу та поштових відправлень, забезпечують швидкісне доставляння швидкопсувних, небезпечних і цінних вантажів за договірними тарифами. За запропонованою технологією передбачається перевезення багажу та поштових відправлень мобільним залізничним вагоном. Така технологія дозволить прискорити доставляння як багажу, так і поштових відправлень і зменшити транспортні витрати.

Ключові слова: технологія перевезень, багаж, пошта, спеціалізований мобільний поштово-багажний вагон.

Необходимость повышения эффективности работы железных дорог Украины требует применения новых эффективных технологий перевозки грузов, багажа и почтовых отправок, которые позволили бы восстановить их перевозки по железной дороге, существенно повысить в первую очередь производительность труда и сократить сроки их доставки. Новые технологии обеспечивают принципиальные изменения в формировании железнодорожных перевозок багажа и почтовых отправок, обеспечивают скоростную доставку скоропортящихся, опасных и ценных грузов по договорным тарифам. По предложенной технологии предполагается перевозка багажа и почтовых отправок мобильным железнодорожным вагоном. Такая технология позволит ускорить доставку как багажа, так и почтовых отправок и уменьшить транспортные расходы.

Ключевые слова: технология перевозок, багаж, почта, специализированный мобильный поштово-багажний вагон.

The need to improve the efficiency of railways of Ukraine requires the use of new efficient technologies cargo, baggage and mail, which would restore their transport by rail, significantly

increase primarily productivity and reduce the time of delivery. New technologies provide a fundamental change in the formation of rail transport of luggage and mail, provide fast delivery of perishable, dangerous and valuable goods at bargain prices. According to the proposed technology is supposed to carry luggage and mail mobile railcar. This technology will accelerate the delivery of both baggage and mail and reduce transport costs.

Key words: *transportation technology, baggage, mail, specialized mobile mail-baggage carriage.*

Аналіз досліджень і публікацій.

Відома технологія перевезення поштових відправлень залізничним транспортом СНД [1], за якою перевезення поштових і багажних відправлень здійснюється залізницею у спеціалізованих поштово-багажних вагонах, що курсують у складі загальномережевих поїздів. Спеціалізований поштово-багажний вагон включається до складу поїзда (окрім приміського). Завантаження поштових відправлень і багажу, їх обмін та вивантаження здійснюється у суворо визначений час стоянки поїзда на станції. Під час руху поїзда працівники поштово-багажного вагона виконують сортування та маркування поштових відправлень.

Недоліки цієї технології:

- наявність поштово-багажного вагона у складі поїзда збільшує час його формування;

- складність та обмеження у часі доставки поштових і багажних відправлень до вагона;

- неможливість поточного визначення місцезнаходження поштових і багажних відправлень;

- необхідність вручну виконувати маркування, сортування та приготування поштових відправлень до вивантаження призводить до помилок та затримок у доставці;

- зупинка поїзда не завжди збігається з необхідністю завантаження/вивантаження поштових і багажних відправлень (тільки на пасажирських станціях, на яких передбачена зупинка поїзда), що значно збільшує час та собівартість доставки.

У роботі [2] наведена математична модель руху мобільного поштового вагона у вигляді графа станів та системи диференціальних рівнянь акад. Колмогорова.

У роботі [3] на основі принципів логістики викладена технологія залізничних перевезень пошти і вантажобагажу.

У роботі [4] визначено умови відсутності простоїв процесів сортування і пакування поштових одиниць, які являють собою математичний опис зазначених процесів та дають можливість визначити середнє значення часу, що витрачається на простоях сортування або упакування. З проведених досліджень ефективності сортування і пакування поштових одиниць випливає, що при організації процесів сортування із звичайною упакувкою середнє значення реальної продуктивності сортування складає 75% від технічної внаслідок непередбачених простоїв сортування.

У роботі [5] проведено науковий аналіз й узагальнення діючих аспектів формування та впровадження інформаційних систем управління у поштовому зв'язку (в умовах впровадження новітніх інформаційних технологій), розвитку послуг поштового зв'язку в Україні. Обґрунтовано, що для оцінки економічної ефективності інформаційних систем управління в поштовому зв'язку доцільно використовувати метод експертного опитування.

Мета статті. Метою статті є розроблення нової технології перевезення багажу і пошти мобільним залізничним

вагоном з відновленням їх перевезень залізницями України.

Виклад основного матеріалу. Ця задача вирішується тим, що у відомій технології перевезення поштових відправлень і багажу залізничним транспортом, при якій у спеціалізовані мобільні вагони здійснюють завантаження та вивантаження багажу та поштових відправлень на необхідних зупиночних пунктах (пасажирських та вантажних станціях) у найбільш придатних місцях з використанням (за необхідності) автонавантажувача, маркування, сортування та приготування за допомогою автоматичної лінії, здійснюється поточне інформування власників та одержувачів

про місцезнаходження багажу та поштових відправлень.

Технологія пояснюється рисунком.

На рисунку показані такі позиції:

- 1 – відправник багажу і поштового відправлення;
- 2 – одержувач багажу і поштового відправлення;
- 3 – мережа передачі даних;
- 4 – мобільний поштово-багажний вагон;
- 5 – двигун;
- 6 – автонавантажувач;
- 7 – радіопередавач;
- 8 – автоматична лінія маркування та сортування поштових відправлень.

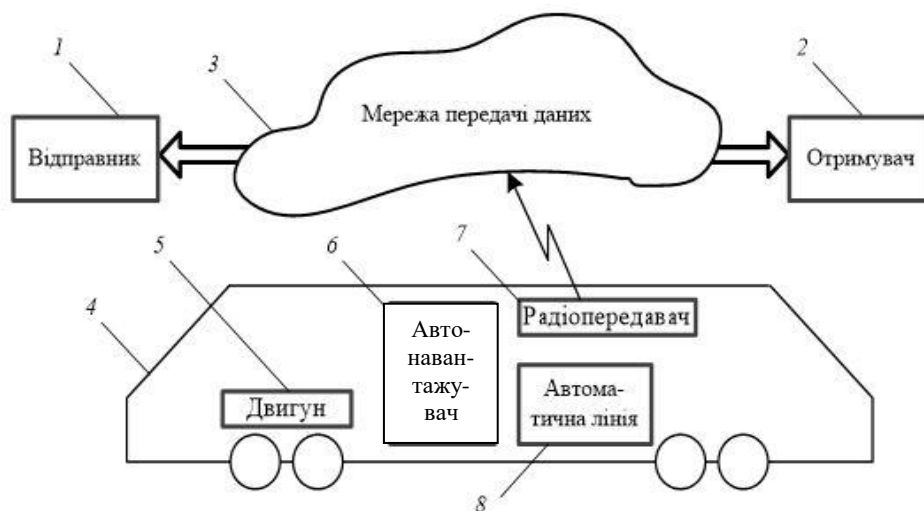


Рис. Схематичне подання технології перевезення багажу і пошти спеціалізованим мобільним поштовим вагоном

У мобільних поштово-багажних вагонах об'єднання поштового зв'язку можливо перевозити багаж і всі види поштових відправлень, а також службовий великогабаритний вантаж масою більше 20 кг (кожне місце), що відправляється підприємствами (філіалами) поштового зв'язку за дозволом об'єднання поштового зв'язку.

Загальна маса пошти і багажу не повинна перевищувати вантажопідйомної сили вагона, а окремого місця – вантажопідйомності навантажувача.

Пошта та багаж, що перевозиться в мобільних поштово-багажних вагонах, супроводжується працівниками поштового зв'язку (роз'їзною бригадою).

Відправка мобільних багажно-поштових вагонів оформляється дорожньою відомістю на пробіг поштового вагона, квитанцією на пробіг поштового вагона та корінцем квитанції на пробіг поштового вагона, що складаються для кожного вагона станцією відправлення на підставі заявок підприємств (філіалів) поштового зв'язку.

Мобільні багажно-поштові вагони, призначені для сумісної експлуатації їх Укрзалізницею і об'єднанням поштового зв'язку, знаходяться на балансі залізниць.

Порядок обслуговування і експлуатації багажно-поштових вагонів працівниками залізниць і працівниками поштового зв'язку встановлюється на місцях начальниками станцій разом з начальниками (директорами) підприємств (філіалів) поштового зв'язку.

Виділене відділення в багажно-поштовому вагоні для перевезення пошти, його устаткування та інвентар передаються залізницями за актом підприємствам (філіалам) поштового зв'язку, які несуть матеріальну відповідальність за їх збереження з моменту прийняття. Відділення, в якому перевозиться пошта, обслуговується працівниками поштового зв'язку, а багажне відділення – працівниками залізниць.

Поточний ремонт, постачання водою та паливом, обслуговування і ремонт системи електропостачання в пунктах формування і на шляху прямування, а також охорона багажно-поштових вагонів забезпечується залізницями.

Мобільні багажно-поштові вагони на станції обертання подаються під завантаження та вивантаження багажу і пошти згідно з технологічним процесом роботи станції. Черговість подачі багажно-поштових вагонів для завантаження, вивантаження багажу і пошти, а також тривалість знаходження вагона під цими операціями встановлюються начальником станції за узгодженням із начальником

(директором) відповідного підприємства (філіалу) поштового зв'язку.

Перевезення пошти в мобільних поштово-багажних вагонах залізниць, а також наданих в оренду підприємствам (філіалам) поштового зв'язку мобільних багажно-поштових вагонів здійснюється за договорами між підприємством залізничного транспорту і підприємством поштового зв'язку.

Подача орендованих мобільних багажно-поштових вагонів під завантаження та вивантаження здійснюється за графіком, погодженим підприємством (філіалом) поштового зв'язку з начальником станції.

Завантаження і вивантаження пошти здійснюється підприємствами (філіалами) поштового зв'язку. Затримка вагонів під вивантаженням або завантаженням тягне за собою відповідальність підприємств (філіалів) поштового зв'язку згідно із Статутом залізниць.

Визначення маси вантажу, пломбування, замикання вагона здійснюється підприємством (філіалом) поштового зв'язку згідно з вимогами Укрзалізниці.

При відправленні пошти і багажу на кожний пункт її здавання складаються накладні у двох примірниках і здавальний список у трьох примірниках за формами, що встановлюються Міністерством зв'язку та Укрзалізницею.

На адресних ярликах, які прикріплюються до поштових відправлень і закритих поштових речей, зазначається: на якій станції необхідно здати поштові відправлення (закриту поштову річ), місце призначення, звідки прямує поштові відправлення (поштова річ), вага та вихідний номер, номер поїзда. Ці самі дані вказуються в накладній.

Багаж і пошта для відправки здається працівниками поштового зв'язку в багажне відділення під розписку на другому примірнику здавального списку. За

прийняту пошту працівникам поштового зв'язку видається багажна квитанція.

За домовленістю з начальником станції багаж і пошта після оформлення документів здається працівниками поштового зв'язку безпосередньо у мобільний поштово-багажний вагон.

Із мобільного багажного вагона пошта приймається в пунктах здавання з перевіркою за здавальним списком. У випадку невідповідності фактичної кількості речей, приписаних до документів, або виявлення пошкодження упаковки складається акт у трьох примірниках, який підписується працівником поштового зв'язку та залізниці.

Акт складається працівником поштового зв'язку в присутності представника залізничної станції негайно. Перший примірник акта залишається у працівника поштового зв'язку, другий видається представнику залізничної станції у пункті складання акта, третій надсилається підприємству (філіалу) поштового зв'язку відправлення пошти для перевірки.

Перевезення багажу, вантажобагажу (далі – багажу) в мобільних поштових вагонах об'єднання поштового зв'язку здійснюється за окремими договорами між Укрзалізницею та об'єднанням поштового зв'язку.

Завантаження багажу безпосередньо у мобільний поштовий вагон та вивантаження з вагона здійснюється засобами залізниць.

На кожний пункт здавання багажу складається накладна в двох примірниках та здавальний список у трьох примірниках, запис в який здійснюється в порядку послідовності пунктів здавання багажу.

Багаж для відправки поштовим вагоном здається роз'їзній бригаді поштового вагона під розписку на другому примірнику здавального списку.

Із моменту завантаження багажу в поштово-багажний вагон до вантаження на станції призначення роз'їзна бригада

мобільного вагона несе за нього матеріальну відповідальність.

Виявлені під час видачі з мобільного вагона нестачі або пошкодження багажу, невідповідності кількості речей запису в документах або встановлені пошкодження упаковки оформлюються актом, який складається у трьох примірниках і підписується працівниками залізниці та поштового зв'язку. Видача багажу його власнику безпосередньо з вагона забороняється.

Всі мобільні вагони повинні бути приписані до вагонного депо пункту відправлення. Як виняток, з дозволу Укрзалізниці і об'єднання поштового зв'язку допускається приписка поштового вагона до депо в пункті обороту.

Контроль технічного стану вагонів відповідно до Правил технічної експлуатації залізниць України, їх огляд, технічне обслуговування, поточний ремонт у депо або в дорозі здійснюється підприємствами залізничного транспорту.

Підприємства (філіали) поштового зв'язку повинні мати на станціях формування та обороту парк технічно справних резервних мобільних поштових вагонів не менш як 20% від загальної кількості вагонів, що знаходяться в обороті, для забезпечення. При перевищенні в будь-якому пункті відправлення встановленої норми несправних вагонів залізниця зобов'язана за заявками підприємств (філіалів) поштового зв'язку здійснювати перенаправлення вагонів з іншого пункту.

Ремонт поштових вагонів здійснюється підприємствами залізничного транспорту за рахунок підприємств поштового зв'язку за тарифами відповідно до калькуляції витрат, згідно з планами і термінами, узгодженими між Укрзалізницею і об'єднанням поштового зв'язку, а також між ремонтними підприємствами залізниці і підприємствами (філіалами) поштового зв'язку.

Для управління рухом та нагляду за станом поштового вагона і забезпечення

безпечного руху в кожному поштово-вагоні повинен знаходитися механік.

Механік поштового вагона зобов'язаний перед відправленням перевірити наявність хвостових сигналів і забезпечити їх функціонування під час руху. У випадках, що загрожують безпеці руху поїздів, механік повинен вжити заходів до негайної зупинки мобільного вагона.

Механік вагона знаходиться в штаті підприємства (філіалу) поштового зв'язку і призначається на посаду після перевірки знань із Правил технічної експлуатації, Інструкції по сигналізації, маневрової роботи, техніки безпеки і опалення вагонів. Перевірка знань здійснюється підприємствами (філіалами) поштового зв'язку при участі представника залізниці.

Технологія роботи така: для завантаження-вивантаження багажу і поштових відправлень мобільний вагон (4), що приводиться у рух за допомогою двигуна (5), подається на платформу або у вантажний район. Для пришвидшення та полегшення завантаження-вивантаження багажу та поштових відправлень у вагоні (4) розміщено автотранспортувач (6). Для автоматизації маркування та сортування поштових відправлень використовується автоматична лінія (6). Відстеження поточного місцезнаходження поштового відправлення відправником та одержувачем здійснюється через мережу передачі даних (3), інформація до якої передається за допомогою радіопередавача (7).

Цей спосіб дозволить підвищити швидкість та зменшити собівартість перевезення багажу і поштових відправлень залізничним транспортом.

За рахунок автоматизації спосіб дозволяє виключити вплив людського

фактора при маркуванні багажу та сортуванні поштових відправлень. Це сприяє зниженню помилок та затримок у доставці.

Незалежність руху мобільного поштово-багажного вагона від руху поїздів та можливість використання автотранспортувача значно пришвидшує і полегшує завантаження-вивантаження багажу і поштових відправлень.

Висновки. Застосування технології спеціалізованих мобільних поштово-багажних вагонів не пов'язано з формуванням поїздів і не впливає на час їх формування та дозволяє відновити поштові та багажні перевезення залізницею.

З'являється можливість подачі спеціалізованих мобільних поштово-багажних вагонів безпосередньо на платформу чи у вантажний район до місця виконання вантажних операцій, що зменшує час та складність проведення завантаження-вивантаження поштових відправлень.

Наявність автотранспортувача зменшує час та складність проведення завантаження-вивантаження багажу і поштових відправлень.

За рахунок автоматизації зменшується вплив людського фактора при маркуванні багажу та сортуванні поштових відправлень, що сприяє зниженню помилок та затримок у доставці.

Відправник та одержувач може отримати інформацію про поточне місцезнаходження багажу та поштового відправлення.

Поштово-багажні вагони можуть бути використані для термінового доставляння швидкопсувних, небезпечних та цінних вантажів за договірними тарифами, що дозволить збільшити прибутки залізниці.

Список використаних джерел

1. Болотин, З.М. Почтовые вагоны и их эксплуатация [Текст] / З.М. Болотин. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.

2. Котенко, А.М. Математичне моделювання руху мобільного залізничного вагона при доставленні пошти і вантажобагажу в міжнародних сполученнях [Текст] / А.М. Котенко, П.С. Шилаєв, О.О. Пархоменко // ScienceRise. – 2015. – №3/2(8). – С.7-11.

3. Котенко, А.М. Технології залізничних перевезень пошти і вантажобагажу на основі принципів логістики [Текст] / А.М. Котенко, П.С. Шилаєв, О.О. Пархоменко // ScienceRise. – 2015. – №4/2(9). – С.19-23.

4. Осадчий, Е.Д. Оптимизация обработки письменной корреспонденции в объектах многоуровневой иерархической сети почтовой связи [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.12.02 / Е.Д. Осадчий. – Одесса, 2010. – 26 с.

5. Терешко, Ю.В. Методи оцінки ефективності впровадження інформаційних систем управління підприємством поштового зв'язку [Текст]: автореф. дис... канд. екон. наук: 08.00.04 / Ю.В. Терешко. – Одесса, 2008. – 26 с.

Панченко Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, ректор Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-13.

Лаврухін Олександр Валерійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-85.

Котенко Анатолій Миколайович, доктор технічних наук, професор, кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-85.

Каграманян Артур Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-07.

Шевченко Віталій Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(57) 730-10-85.

Пархоменко Олександр Олександрович, аспірант кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(57) 730-10-85.

Panchenko Sergey, PhD, Professor, Rector of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-13.

Lavrukhina Alexander V., PhD, Professor, Head of the Department of freight and commercial work. Tel. (057) 730-10-85.

Kotenko, Anatoliy, PhD, Professor, Department of cargo and commercial work. Tel. (057) 730-10-85.

Kahramanyan Arthur A., cand. tehn. Sciences, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-07.

Shevchenko Vitaly I., cand. tehn. Sciences, Associate Professor, Dept. of cargo and commercial work. Tel. (57) 730-10-85.

Parkhomenko Alexander, a graduate student, Department of cargo and commercial work. Tel. (057) 730-10-85.

Прийнята 11.02.2016 р.

УДК 666.983

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ В СВОБОДНОМ РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ СМЕСИТЕЛЕЙ ПОСЛЕ СХОДА С ЛОПАТОК ИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Д-р техн. наук И.А. Емельянова, кандидаты техн. наук А.П. Ковревский, В.В. Блажко (ХНУСА)

АНАЛІЗ РУХУ ЧАСТОК СУХОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ СУМІШІ У ВІЛЬНОМУ РОБОЧОМУ ПРОСТОРИ ЗМІШУВАЧІВ ПІСЛЯ СХОДЖЕННЯ З ЛОПАТОК ЇХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

Д-р техн. наук І.А. Ємельянова, кандидати техн. наук А.П. Ковревський, В.В. Блажко (ХНУБА)

ANALYSIS OF PARTICLE MOTION DRY MIXES FREE WORKSPACE MIXERS AFTER LEAVING THE BLADES OF THEIR WORKERS

Post Doc I.A. Emelyanova, Ph.D. A.P. Kovrevsky, V.V. Blazhko

Рассмотрены конструкции смесителей для приготовления сухих строительных смесей, работающих в каскадном режиме. Проанализированы результаты экспериментальных исследований по определению траекторий движения частиц сухих строительных смесей в рабочем пространстве смесителя нового конструктивного решения.

Предложена методика определения траекторий движения частиц строительной смеси в рабочем пространстве смесителей при их сходе с лопаток рабочих органов.

Ключевые слова: бетоносмеситель, сухая смесь, каскадный режим, траектория движения.

Розглянуто конструкції змішувачів для приготування сухих будівельних сумішей, що працюють у каскадному режимі. Проаналізовано результати експериментальних досліджень з визначення траєкторій руху часток сухих будівельних сумішей у робочому просторі змішувача нового конструктивного рішення.

Запропонована методика визначення траєкторій руху часток будівельної суміші в робочому просторі змішувачів при їх сході з лопаток робочих органів.

Ключові слова: бетонозмішувач, суха суміш, каскадний режим, траєкторія руху.

Increased consumption of dry mixes requires producers of equipment for factories producing dry mortar to enter the market with new designs and proposals that ensure high quality and reliability of the mechanical equipment.

Currently, many manufacturing companies issue of technological sets for the production of dry mortar.

At the same time, a wide range of technological packages and mini-mills are produced.

The outstanding issues in the process of preparation of dry mortar in the construction site are revealed based on the literature, patent, and information search.

Designs of mixers for the preparation of dry mixes, working in cascade mode. The results of experimental studies to determine the particle trajectories of dry building mixes in the working space of the mixer of the new constructive solutions.

The proposed method of determining the trajectories of particles in a mortar mixers workspace at their gathering with blades working bodies.

Keywords: *small-sized equipment set, dry mortar, concrete mixer, cascade mode, the trajectory of a particle mixture.*

Введение. В настоящее время в процессе приготовления сухих строительных смесей существует ряд нерешенных вопросов: повышенный износ рабочих органов и корпусов смесителей, длительное время на приготовление сложных композиций, наличие сегрегации во время приготовления смеси, а также сложности приготовления смесей непосредственно на строительной площадке [1-4].

Выделение не решенных ранее проблем. Многообразие существующего оборудования, а также технологических линий и комплектов не направлены на решение проблемы приготовления сухих строительных смесей непосредственно на строительной площадке.

Цель и задачи исследования. Создание эффективного малогабаритного оборудования для приготовления сухих смесей является актуальной задачей.

Результаты лабораторных и промышленных испытаний смесителей новой конструкции, работающих в каскадном режиме, подтверждают их эффективность при приготовлении сухих строительных смесей, что позволяет оснащать данными машинами технологические комплекты и комплексы [5, 6].

Среди известных конструкций бетоносмесителей как циклического, так и непрерывного действия в последнее время появились эффективные машины, которые позволяют создать стабильные условия для приготовления строительных смесей высокого качества. Это бетоносмесители, работающие в каскадном режиме [5, 6]. Эти машины являются широко универсальными, так как позволяют получать качественные строительные смеси различного назначения: подвижные и

малоподвижные, фибробетонные и с мелким заполнителем, сухие и строительные растворы [5-8].

Особого внимания заслуживают смесители, которые могут быть успешно использованы для приготовления сухих строительных смесей. К таким машинам следует отнести трехвальный бетоносмеситель (рис. 1), двухроторный турбулентный смеситель (рис. 2), бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия (рис. 3).

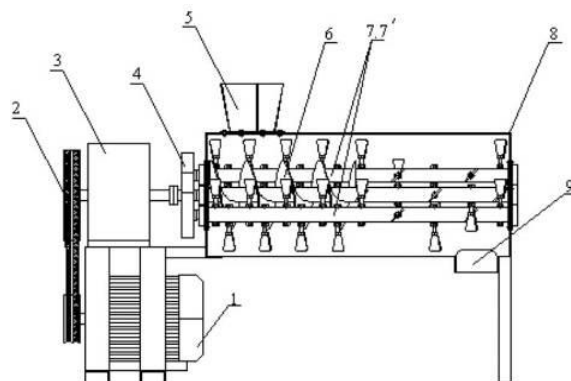


Рис. 1. Схема трехвального бетоносмесителя:

1 – двигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – редуктор; 4 – открытая зубчатая передача; 5 – загрузочный бункер; 6 – шнековый вал; 7 – лопастные валы; 8 – разгрузочный патрубок; 9 – рама

Для всех этих машин должны быть характерны стабильные условия для взаимодействия всех рабочих органов с компонентами бетонных смесей (растворов), поступающими из загрузочных бункеров.

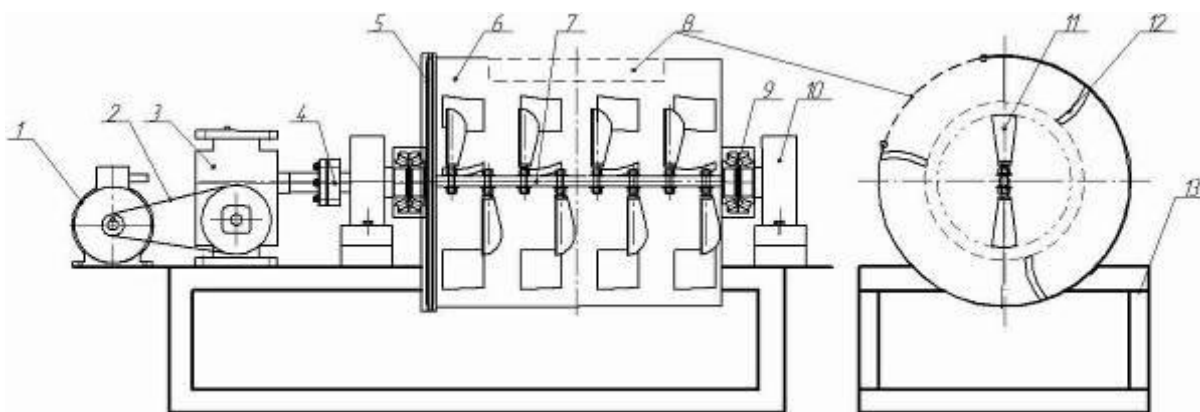


Рис. 2. Схема смесителя гравитационно-принудительного действия:
 1 – рама смесителя; 2 – барабан; 3 – вал; 4 – лопатки вала; 5 – лопатки корпуса; 6,7 – подшипниковые опоры; 8 – муфта; 9 – редуктор; 10 – клиноременная передача; 11 – электродвигатель; 12 – цепная передача; 13 – загрузочно-разгрузочный люк

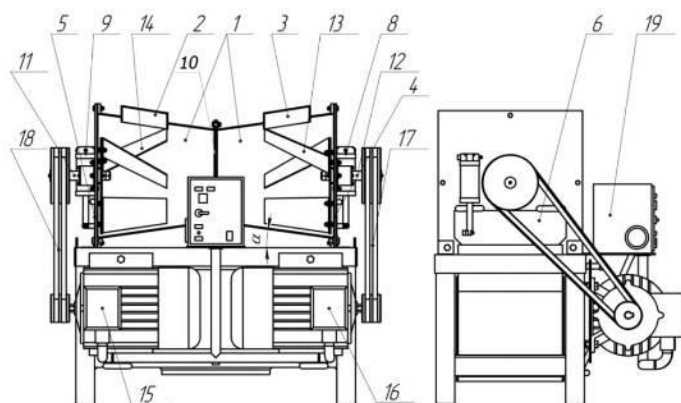


Рис. 3. Схема двухроторного турбулентного смесителя:
 1 – корпус; 2, 3 – загрузочные отверстия; 4,5 – разгрузочные отверстия; 6,7 – заслонки; 8, 9 – пневмоцилиндры; 10 – фланцы; 11, 12 – валы; 13,14 – роторы с лопастями; 15, 16 – электродвигатели; 17, 18 – ременные передачи; 19 – блок управления

К таким условиям следует отнести:

- при наличии каскадного режима обеспечение траекторий движения частиц смеси, которые обеспечивают постоянство работы системы (смеситель – смесь (раствор));

- в силу конструктивных особенностей новых смесителей отсутствие мертвых зон в их рабочем пространстве;

- по возможности ограничение столкновений частиц смеси разных размеров в процессе их движения в

рабочем пространстве при наличии каскадного перемещения.

Эти условия могут быть доступны в результате глубокого анализа траекторий движения частиц смесей, которые учитывают их форму.

В данном направлении проведен ряд исследований на примере работы двухроторного турбулентного смесителя при приготовлении сухих строительных смесей, который позволил оценить влияние на дисперсию однородности распределения частиц в процессе движения в свободном

пространстве корпуса машины [5-8]. В результате проведенных исследований выявлены параметры, влияющие на качество приготавливаемых строительных смесей (растворов): диаметр частиц d , мм, частота вращения рабочих органов n , мин^{-1} , длина лопаток l , мм.

Анализируя графические зависимости (рис. 4), следует отметить, что характер траекторий движения частиц после схода с лопаток рабочего органа на графиках не

зафиксировал моменты их столкновения. Кроме того, характер их движения иллюстрирует влияние на перенос частиц смеси двух факторов: частоты вращения рабочего органа и длины его лопаток. Следует отметить, что полученные результаты исследований справедливы и для других смесителей, работающих в каскадном режиме, где также имеет место взаимодействие лопаток с частицами смеси (раствора).

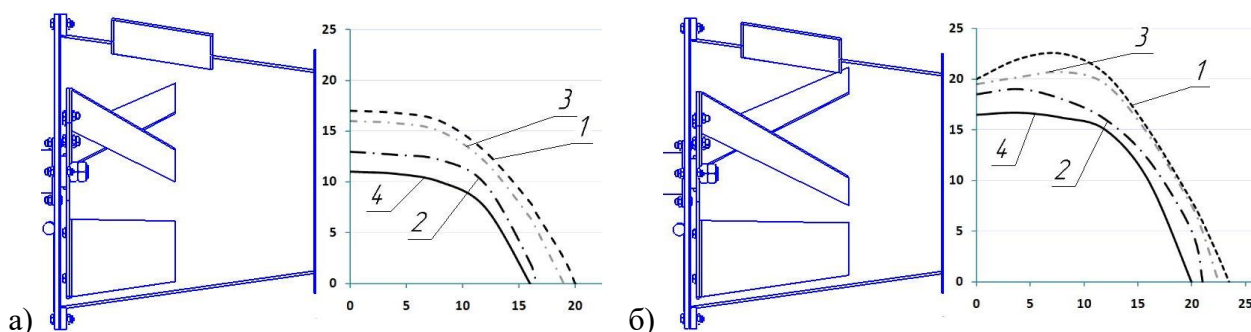


Рис. 4. Результаты предварительных исследований влияния частоты вращения рабочего органа ($n=300 \text{ мин}^{-1}$) и длины лопаток рабочего органа ($l_1=104, l_2=160 \text{ мм}$) на траекторию движения частиц смеси

Однако при работе таких машин не исключена возможность в процессе движения столкновения частиц смеси различного диаметра. При этом характер траекторий движения частиц может быть нарушен, что соответственно отрицательно отразится на условиях стабилизации процесса приготовления смесей, а, следовательно, и на их качестве. Поэтому необходимо заранее создать такие условия для перемешивания компонентов, чтобы число соударений было минимальным.

Такие условия зависят от формы и угла установки лопаток на рабочем органе, а также от их длины и шага установки. Траектории движения частиц должны быть таковыми, чтобы не создавались условия для возможного попадания их в мертвые зоны.

При создании рациональных траекторий движения частиц смеси в свободном рабочем пространстве необходимо прежде

всего, чтобы скорости их схода с лопаток рабочих органов смесителей удовлетворяли вышеуказанным условиям.

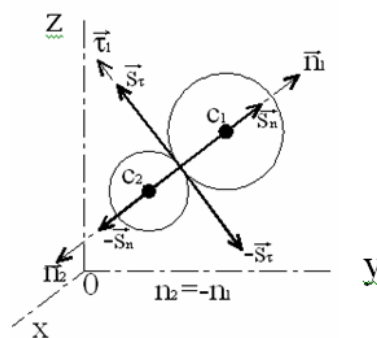


Рис. 5. Расчетная схема для определения скоростей движения частиц смеси после столкновения

Рассматривается случай столкновения частиц смеси (раствора) при следующих допущениях (рис. 5):

- сталкивающиеся частицы смеси имеют форму шаров с радиусом r_1 и r_2 ;

- возможность вращательного движения частиц исключается;

- при радиусах шаров r_1 и r_2 условие столкновения имеет вид: $l_0 \leq r$, где $r = r_1 + r_2$;

- расстояние между центрами частиц смеси $l_0 = \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2 + (z_1 + z_2)^2}$.

Для начальных исследований принимаются следующие обозначения: m_1 и m_2 – соответственно массы сталкивающихся частиц смеси, ε – коэффициент восстановления, f – коэффициент трения.

Скорости движения частиц смеси в свободном пространстве после схода с лопаток рабочих органов смесителей до соударения имеют вид $\vec{v}_1(\vec{v}_{1x}, \vec{v}_{1y}, \vec{v}_{1z})$ и $\vec{v}_2(\vec{v}_{2x}, \vec{v}_{2y}, \vec{v}_{2z})$.

После столкновения на каждую частицу действует ударный импульс $\vec{S} = \vec{S}_n + \vec{S}_\tau$, при этом

$$S_\tau = f S_n. \quad (1)$$

При фиксированных координатах центров частиц в момент соударения проекции орта \vec{n}_1 в системе координат (рис. 5) могут быть представлены следующим образом:

$$\begin{cases} n_{1x} = \cos \alpha = \frac{x_1 - x_2}{l_0} \\ n_{1y} = \cos \beta = \frac{y_1 - y_2}{l_0} \\ n_{1z} = \cos \gamma = \frac{z_1 - z_2}{l_0} \end{cases} \quad (2)$$

Для определения требуемых послеударных скоростей движения частиц смеси согласно теории импульсов с учетом коэффициента восстановления следует воспользоваться следующими зависимостями:

$$m_1(\vec{V}_2 - \vec{v}_1) = \vec{S}_n - \vec{S}_\tau, \quad (3)$$

$$m_2(\vec{V}_2 - \vec{v}_2) = -\vec{S}_n - \vec{S}_\tau, \quad (4)$$

$$\vec{V}_1 \cdot \vec{n}_1 + \vec{V}_2 \cdot \vec{n}_2 = -\varepsilon \cdot (\vec{v}_{1x} \cdot \vec{n}_{1x} + \vec{v}_{1x} \cdot \vec{n}_{1x}). \quad (5)$$

При проектировании на оси O_x , O_y , O_z послеударные скорости следует рассматривать как:

$$V_{1x} - v_{1x} = \frac{1}{m_1} (S_n \cdot n_{1x} - f S_n \cdot \tau_x), \quad (6)$$

$$V_{1y} - v_{1y} = \frac{1}{m_1} (S_n \cdot n_{1y} - f S_n \cdot \tau_y), \quad (7)$$

$$V_{1z} - v_{1z} = \frac{1}{m_1} (S_n \cdot n_{1z} - f S_n \cdot \tau_z), \quad (8)$$

$$V_{2x} - v_{2x} = \frac{1}{m_2} (S_n \cdot n_{2x} - f S_n \cdot \tau_x), \quad (9)$$

$$V_{2y} - v_{2y} = \frac{1}{m_2} (S_n \cdot n_{2y} - f S_n \cdot \tau_y), \quad (10)$$

$$V_{2z} - v_{2z} = \frac{1}{m_2} (S_n \cdot n_{2z} - f S_n \cdot \tau_z), \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & V_{1x} \cdot n_{1x} + V_{1y} \cdot n_{1y} + V_{1z} \cdot n_{1z} - V_{2x} \cdot n_{1x} - V_{2y} \cdot n_{1y} + V_{2z} \cdot n_{1z} = \\ & -\varepsilon (V_{1x} \cdot n_{1x} + V_{1y} \cdot n_{1y} + V_{1z} \cdot n_{1z} - V_{2x} \cdot n_{1x} - V_{2y} \cdot n_{1y} + V_{2z} \cdot n_{1z}). \end{aligned} \quad (12)$$

Орт $\vec{\tau}$ лежит в плоскости, перпендикулярной \vec{n}_1 . Его положение на этой плоскости определяется относительной скоростью частицы m_2 по отношению к частице m_1 .

Для определения импульса \vec{S}_τ останавливают условно движение частицы m_1 . В таком случае относительная скорость частицы m_2 определяется как (рис. 6)

$$\vec{v}'_2 = \vec{v}_2 - \vec{v}_1, \quad (13)$$

где \vec{v}'_2 – относительная скорость движения частицы m_2 .

Расчетная схема для определения орта $\vec{\tau}$ представлена на рис. 6.

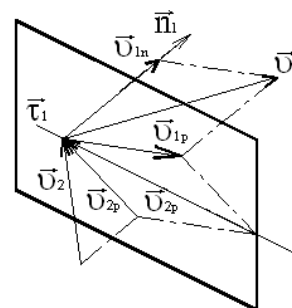


Рис. 6. Расчетная схема для определения орта $\vec{\tau}$

Орт $\vec{\tau}$ определяется как отношение

$$\frac{\vec{v}'_{2p}}{|\vec{v}'_{2p}|},$$

где

$$\vec{v}'_{2p} = \vec{v}_2 \cdot \vec{n}_1 = v_{2x} \cdot n_{1x} + v_{2y} \cdot n_{1y} + v_{2z} \cdot n_{1z}; \quad (14)$$

$|\vec{v}'_{2p}|^2$ – квадрат модуля относительной скорости движения частицы m_2 .

$$|\vec{v}'_{2p}|^2 = (v_{2x} - v_{1x})^2 + (v_{2y} - v_{1y})^2 + (v_{2z} - v_{1z})^2 - (v_{2n} - v_{1n})^2. \quad (15)$$

В конечном итоге проекции орта $\vec{\tau}$ на оси O_x, O_y, O_z определяются как

$$\tau_x = \frac{\vec{v}'_{2px}}{|\vec{v}'_{2p}|}, \quad \tau_y = \frac{\vec{v}'_{2py}}{|\vec{v}'_{2p}|}, \quad \tau_z = \frac{\vec{v}'_{2pz}}{|\vec{v}'_{2p}|}. \quad (16)$$

Для определения послеударных скоростей $\vec{V}_{1x}, \vec{V}_{1y}, \vec{V}_{1z}, V_{2x}, V_{2y}, V_{2z}$ через ударный импульс S_n следует воспользоваться уравнением (13):

$$S_n \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \cdot [1 - f(\tau_x n_{1x} + \tau_y n_{1y} + \tau_z n_{1z})] = - (1 + \varepsilon) \cdot [(v_{1x} v_{2x}) n_{1x} + (v_{1y} - v_{2y}) n_{1y} + (v_{1z} - v_{2z}) n_{1z}] \quad (17)$$

Таким образом, зависимость (17) дает возможность, исходя из уравнений (6)...(11), определить скорости движения частиц, которые имеют массы m_1 и m_2 . Следовательно, зная эти скорости, есть возможность построить их траектории движения в рабочем пространстве смесителей и проанализировать влияние ранее исследованных технологических параметров на поведение частиц после соударения в разных ситуациях.

Результаты проведенных исследований позволяют далее досконально изучить движение частиц смеси в свободном рабочем пространстве после возможных соударений, выявить варианты движения частиц при сходе с лопаток рабочих органов с минимальным количеством соударений с исключением их попадания в мертвые зоны.

В конечном итоге это даст возможность составить рекомендации для создания машин, работающих в каскадном

режиме, с максимальной эффективностью при минимальных затратах энергии.

Выводы:

1. Указаны условия, обеспечивающие работу смесителей каскадного режима с максимальной эффективностью и минимальными энергозатратами.

2. Приведены результаты предварительных исследований, позволяющие определить технологические параметры, оказывающие влияние на качество приготовления сухих строительных смесей (растворов).

3. Рассмотрен случай соударения частиц смеси после схода с лопаток рабочих органов смесителей и дальнейшего их движения в свободном пространстве машины.

4. Показан путь определения послеударных скоростей движения частиц в свободном пространстве смесителя.

Список использованных источников

1. Блажко, В.В. Трехвальный бетоносмеситель для приготовления малоподвижных бетонных смесей [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.05.02 / В.В. Блажко. – Харьков, 2007. – 164 с.
2. Анищенко, А.И. Разработка бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия для приготовления бетонных смесей различной подвижности [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.05.02 / А.И. Анищенко. – Харьков, 2013. – 193 с.
3. Kudrolli A. Saze separation in vibrated granular matter/ A. Kudrolli // Reports on progress in physics. – 2004. – Т.67(3). – Р. 209-247.
4. Campbell, C.S. Rapid granular flows / C.S. Campbell // Annual Revue of Fluid Mechanics. – 1990. – Т.22. – Р. 57-92.
5. Бетоносмесители, работающие в каскадном режиме [Текст]: монография / И.А. Емельянова, А.И. Анищенко, С.М. Евель [и др.]. – Харьков: Тим Паблиш Груп, 2012. – 146 с.
6. Емельянова, И.А. Современные строительные смеси и оборудование для их приготовления [Текст]: учеб. пособие / И.А. Емельянова, О.В. Доброходова, А.И. Анищенко. – Харьков: Тимченко, 2010. – 146 с.
7. Analysis of the operation of concrete mixer with gravitational and forced action [Text] / И.А. Емельянова, В.В. Блажко, А.И. Анищенко, О.В. Доброходова // Proceedings «HEAVY MACHINERY – HV 2011» – The seventh international triennial conference. – Kraljevo, Serbia, 2011. – Session B: S. 11 – 14.
8. General classification for small-sized technological sets for production of dry bilding mixtures [Text] / И.А. Емельянова, В.В. Блажко, А.И. Анищенко, О.В. Доброходова //

Proceedings «HEAVY MACHINERY – HV 2014» – The seventh international triennial conference: – Kraljevo, Serbia, 2014. – Session B: S. 35 – 38.

Блажко Володимир Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел. (057)700-02-82. E-mail: blagko-2008@ukr.net.

Смельянова Інга Анатоліївна, доктор технічних наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел. (057)700-02-82. E-mail: blagko-2008@ukr.net.

Ковревський Артур Петрович, кандидат технічних наук, професор кафедри теоретичної механіки Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел. (057)700-02-82. E-mail: blagko-2008@ukr.net.

Blazhko Vladimir, cand. of techn. sciences, assistant professor Department Mechanization Building Processes of the Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel. (057)700-02-82. E-mail: blagko-2008@ukr.net.

Emelyanova Inga A., doctor of technical sciences, professor of department of mechanization of construction processes of the Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel. (057)700-02-82. E-mail: blagko-2008@ukr.net.

Kovrevsky Arthur P., cand. of techn. sciences., professor of theoretical mechanics of Kharkov National University of Construction and Architecture. Tel. (057) 700-02-82. E-mail: blagko-2008@ukr.net.

Прийнята 12.02.2016 р.

УДК 656.259.12

ОЦЕНКА АСИММЕТРИИ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЧАСТОТ ТОНАЛЬНОГО СПЕКТРА

Ассист. А.Ю. Журавлев

ОЦІНКА АСИМЕТРІЇ РЕЙКОВОЇ ЛІНІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЧАСТОТ ТОНАЛЬНОГО СПЕКТРА

Асист. А.Ю. Журавльов

EVALUATION OF ASYMMETRY OF RAILWAY LINE, OF INFORMATION FREQUENCY OF TONAL SPECTRUM

Assistant A.Y. Zhuravlev

В статье рассмотрена методика оценки асимметрии рельсовой линии, дополненной расчетами гармоник низкочастотного и тонального спектра с учетом сопротивлений рельсов и стальных рельсовых соединителей. Используемые уравнения учитывают взаимодействия трех цепей с распределенными параметрами, связанных взаимной индуктивностью: первый, второй рельс – земля и контактный провод – земля, каждая цепь имеет собственную проводимость и удельное сопротивление току с частотой рассчитываемой гармоники, цепи связаны взаимной индуктивностью и проводимостью по

поверхности шпал. Оценка уровней гармоник важна для разработки защитных средств от помех в тяговой сети.

Ключевые слова: асимметрия, рельсовая цепь, рельсовая линия, гармоника, тяговый ток, электромагнитное влияние, взаимная индуктивность, контактный провод.

У статті розглянуто методіку оцінки асиметрії рейкової лінії, доповненої розрахунками гармонік низькочастотного і тонального спектра з урахуванням опорів рейок і сталевих рейкових з'єднувачів. Використовувані рівняння враховують взаємодії трьох кіл з розподіленими параметрами, пов'язаних взаємною індуктивністю: перша, друга рейка – земля і контактний провід – земля, кожне коло має власну провідність і питомий опір струму з частотою гармоніки, яка розраховується, кола пов'язані взаємною індуктивністю і провідністю по поверхні шпал. Оцінка рівнів гармонік важлива для розроблення захисних засобів від перешкод у тяговій мережі.

Ключові слова: асиметрія, рейкове коло, рейкова лінія, гармоніка, тяговий струм, електромагнітний вплив, взаємна індуктивність, контактний провід.

In this connection the estimation of levels of harmonics is conducted in the article, in a range from low to the tonal frequencies applied in the rail chains of the systems of railway automatic and teleautomatics. Reviewed methodology of decision of the problem - evaluation of track circuit, asymmetry, supplemented with estimates of harmonic of low-frequency and tonal spectrum, taking into account the resistances of rails and steel rail connectors. Equations for rating of harmonics of current traction taking into account is the interaction of three circuits with distributed parameters associated mutual induction: the first track - ground, the second track - ground and contact wire - ground. Each chain "track - ground" has its own conductivity and resistivity current to the frequency calculated harmonics, both chains are connected by mutual inductance and conductivity on surface sleepers. Chain "contact wire - ground" has resistivity and connected with the tracks mutual inductance. Assessment of levels of harmonics is important for the development of protective equipment from interference made traction current, and ensure stable operations of the track circuits and systems of railway automation and telemechanics in general.

Key words: asymmetry, track circuits, railway line, harmonic, traction current, electromagnetic interference, mutual inductance, contact wire.

Введение. Применение в последние годы тяговых двигателей электровозов и электропоездов по системе трехфазного тока привело к обогащению спектра тягового тока в рельсовой линии (РЛ). В связи с этим представляется актуальным проведение оценки уровней гармоник в диапазоне от низких (25 Гц) до тональных частот (420-780 Гц), применяемых в рельсовых цепях (РЦ) систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ). Это важно также и для разработки защитных средств аппаратуры от помех, мешающих влиянию тягового тока, и обеспечения устойчивой работы РЦ.

Решением МЭК №77 от 1976 г. электромагнитная совместимость (ЭМС) определяется как способность устройств правильно функционировать в данной электромагнитной среде без внесения чрезмерных возмущений в эту среду. Отмечено далее, что проблема качества электроэнергии (КЭ) – составная часть проблемы ЭМС. В равной мере принято считать, что проблема высших гармоник (ВГ) – одна из важнейших составляющих КЭ и ЭМС. Круг вопросов проблемы ВГ – оценка ЭДС источника ВГ, их влияние на электрооборудование и возникающий при этом электромеханический ущерб, прогноз значений ВГ как электромагнитных помех в различных узлах электрических сетей

автоматики и связи, коррекция уровней помех (ГОСТ 13109-97).

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Сейчас прогрессивно распространяются на транспорте и промпредприятиях нагрузки, вебер- или вольт-амперные характеристики которых нелинейные (четырёхквadrантные и другие преобразователи частоты, силовые трансформаторы, сталеплавильные инверторные печи и т. п.). Они потребляют из сети ток с несинусоидальной или непериодической кривой, вызывая при этом нелинейные искажения напряжения. Такие несинусоидальные режимы оказывают отрицательное воздействие на (электрооборудование) средства автоматики и связи.

Наличие в тяговой и рельсовой сети ВГ на информационных частотах создает мешающее и опасное воздействие на рельсовые цепи СЖАТ и безопасность движения поездов.

По уровням гармоник тягового тока: требуется сделать сравнения расчетных амплитуд гармоник с амплитудами допустимых уровней в общем токе, потребляемом электровозом из контактной сети.

Опыт эксплуатации СЖАТ показывает, что наибольшему влиянию

обратного тягового тока подвержены РЦ, к которым подключается отсасывающий фидер тяговой подстанции (ТП). На рис. 1 представлена схема на участке между электровозом и подстанцией с обозначениями токов, напряжений, проводимостей утечек токов в землю и других элементов, обеспечивающих протекание тяговых токов. В частности, I_K – ток в контактном проводе и в цепи электровоза, токи I_O , I_{II} в узле подключения фидера к РЛ справа и слева от ТП – токи I_L , I_1 , I_2 и т. д. Другие параметры схемы замещения: q_0 – проводимость подключаемых опор к одному рельсу, напряжение U_1 , U_2 – рельс-земля, U_0 , U_e – потенциалы узлов в точке стекания токов электровоза и в точке протекания к фидеру подстанции. Назначение неперечисленных параметров СЗ (рис. 1) не требует пояснений.

Анализ последних исследований и публикаций. Рассматриваемая здесь методика решения проблемы – оценки асимметрии РЛ – [1] дополнена расчетами для гармоник тонального спектра, с учетом сопротивлений рельсов типа Р65 и стальных рельсовых соединителей.

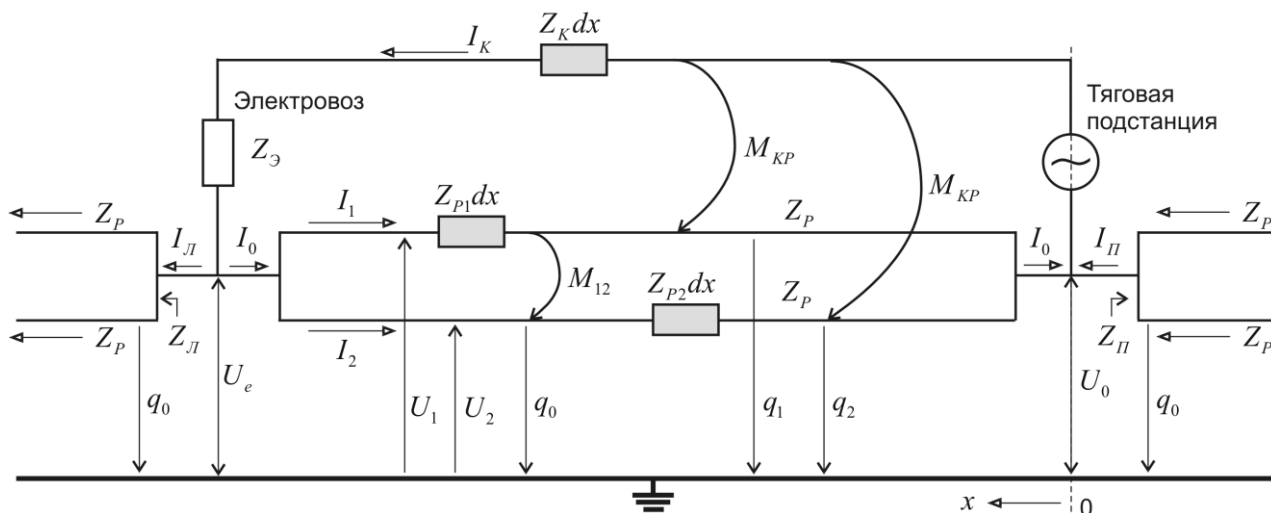


Рис. 1. Распределение токов и напряжений в рельсовой линии на участке электровоз – тяговая подстанция

Заметим, что приведенные в работе [1] уравнения охватывают основные воздействия тягового тока на аппаратуру РЦ при различных климатических факторах. Уравнения для оценки гармоник тягового тока учитывают взаимодействия трех цепей с распределенными параметрами, связанных взаимной индуктивностью: первый рельс – земля, второй рельс-земля и контактный провод – земля. При этом каждая цепь рельс-земля имеет проводимость g_1 или g_2 и удельное сопротивление Z_p току с частотой рассчитываемой гармоники, причем обе

цепи связаны взаимной индуктивностью M_{12} и имеют проводимость g_{12} по поверхности шпал (рис. 2). Цепь контактный провод – земля имеет удельное сопротивление Z_k и связана с рельсами взаимной индуктивностью M_{kp} (рис. 2). Величина тока в контактном проводе зависит в основном от нагрузки электровоза и мало зависит от параметров рельсовой линии, поэтому в расчетах ток I_k в наиболее тяжелом режиме тяги (рекуперативное торможение, набор скорости) задавался постоянной величиной.

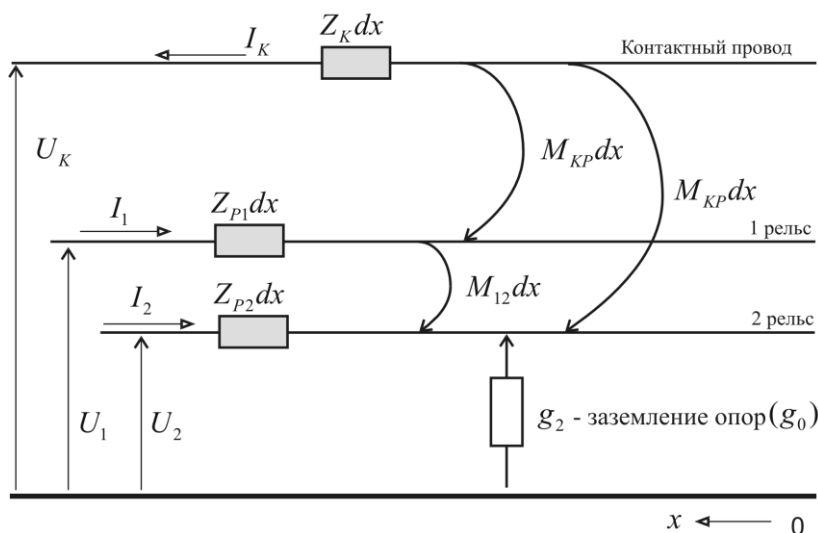


Рис. 2. Схема замещения участка dx

Определение цели и задачи исследования. Методика расчета асимметрии по уравнениям [1] довольно сложная и трудоемкая. Между тем, практика показывает, что наибольшая асимметрия гармоник тягового тока в РЛ наблюдается зимой, где один из рельсов пути используется для заземления опор контактной сети. В этом случае, без существенных потерь точности, проводимостью одного рельса по отношению к земле g_1 и проводимостью между рельсами g_{12} можно пренебречь, а принять лишь во внимание довольно

высокую удельную проводимость другой рельсовой нити g_0 за счет подключения опор контактной сети, которая, как показали измерения, в течение года мало меняется по величине [2]. Для дальнейшего упрощения расчетов (например, поиска постоянных интегрирования при расчете по каждой гармонике) в случае применения двухниточных РЦ, считаем, что сопротивление нагрузки существенно меньше входного сопротивления рельсовых нитей, поэтому можно решать задачу распределения токов в рельсовых нитях при их коротком замыкании по концам цепи (рис. 3).

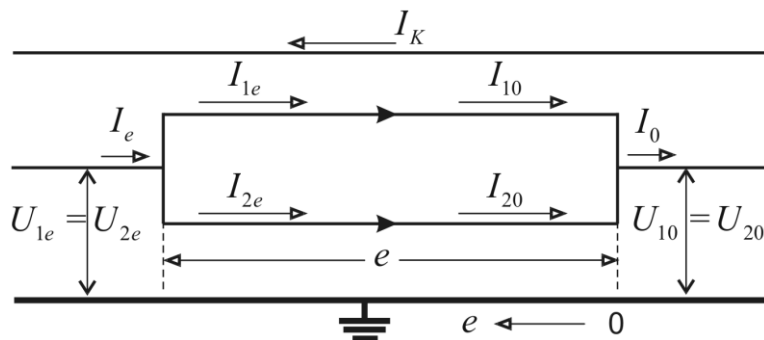


Рис. 3. Распределение токов и напряжений при КЗ по концам цепи

Из расчетной схемы замещения для рассматриваемого случая (рис. 1) видно, что ток I_K в контактном проводе течет в рельсах как на участке между электровозом и подстанцией, так и через заземления в рельсовых цепях, находящихся слева от

электровоза I_L и справа I_{II} от тяговой подстанции.

Основная часть исследования. С учетом принятых допущений в рельсовой цепи длиной ℓ граничные условия выражаются так:

$$I_K = I_0 + I_{II} \text{ при } x=0; I_K = I_e + I_L \text{ при } x=\ell, I_{II} = U_0/Z_{II}, I_L = U_1/Z_L, \quad (1)$$

где Z_{II} и Z_L – входные сопротивления рельсовой цепи по отношению к земле справа от подстанции и слева от локомотива соответственно.

Дифференциальные уравнения расчетной схемы (типа Гельмгольца), относительно тока I_2 опущены (рис. 1), а постоянные интегрирования уравнения, выраженные через величину тока I_K , рассчитываются по формулам:

$$A_1 = \frac{I_K}{P} \left(1 - 2 \frac{Z_{KP}}{Z_P + Z_M} \right) \left(\sinh(\gamma_0 \ell) + \frac{z_0}{Z_L} + \frac{z_0}{Z_{II}} \cosh(\gamma_0 \ell) \right), \quad (2)$$

$$B_1 = \frac{I_K}{P} \left(1 - 2 \frac{Z_{KP}}{Z_P + Z_M} \right) \left(\cosh(\gamma_0 \ell) - 1 + \frac{z_0}{Z_{II}} \sinh(\gamma_0 \ell) \right), \quad (3)$$

где $\gamma_0 = \sqrt{q_0 Z_P}$, $z_0 = \sqrt{\frac{Z_P}{q_0}}$ – постоянная распространения сигнала и характеристическое сопротивление;

$$P = \sinh(\gamma_0 \ell) + 2 \frac{Z_P - Z_M}{Z_P + Z_M} \cdot \frac{\cosh(\gamma_0 \ell) - 1}{\gamma_0 \ell} + \left(\cosh(\gamma_0 \ell) + \frac{Z_P - Z_M}{Z_P + Z_M} \cdot \frac{\sinh(\gamma_0 \ell)}{\gamma_0 \ell} \right) \times \left(\frac{z_0}{Z_L} + \frac{z_0}{Z_{II}} \right) + \frac{z_0^2}{Z_L Z_{II}} \sinh(\gamma_0 \ell).$$

Входное сопротивление цепи длиной ℓ_{Π} с проводимостью опор $\gamma_{оп}$ справа от подстанции выражается уравнением

$$Z_{\Pi} = z_0 \frac{\cosh(\gamma_{оп}\ell_{\Pi}) + \frac{Z_P - Z_M}{Z_P + Z_M} \cdot \frac{\sinh(\gamma_{оп}\ell_{\Pi})}{\gamma_{оп}\ell_{\Pi}}}{\sinh(\gamma_{оп}\ell_{\Pi}) + 2 \frac{Z_P - Z_M}{Z_P + Z_M} \cdot \frac{\cosh(\gamma_{оп}\ell_{\Pi}) - 1}{\gamma_{оп}\ell_{\Pi}}}, \quad (4)$$

а слева от электровоза таким же уравнением, но с учетом соответствующей длины цепи и проводимости опор.

Разность токов, создающая помеху около электровоза при $x = \ell$ в цепи между подстанцией и поездом, определяется по формуле [1]

$$(I_2 - I_1)_{\ell} = \frac{I_K}{P} \left(1 - 2 \frac{Z_{KP}}{Z_P + Z_M} \right) \left[\frac{\sinh(\gamma_0 \ell) - 2 \frac{\cosh(\gamma_0 \ell) - 1}{\gamma_0 \ell}}{\gamma_0 \ell} + \frac{z_0}{Z_{\Pi}} \left(1 - \frac{\sinh(\gamma_0 \ell)}{\gamma_0 \ell} \right) + \frac{z_0}{Z_{\Pi}} \left(\cosh(\gamma_0 \ell) - \frac{\sinh(\gamma_0 \ell)}{\gamma_0 \ell} \right) \right], \quad (5)$$

а около тяговой подстанции при $x = 0$

$$(I_2 - I_1)_0 = \frac{I_K}{P} \left(1 - 2 \frac{Z_K}{Z_P + Z_M} \right) \left[\frac{\sinh(\gamma_0 \ell) - 2 \frac{\cosh(\gamma_0 \ell) - 1}{\gamma_0 \ell}}{\gamma_0 \ell} + \frac{z_0}{Z_{\Pi}} \left(1 - \frac{\sinh(\gamma_0 \ell)}{\gamma_0 \ell} \right) + \frac{z_0}{Z_{\Pi}} \left(\cosh(\gamma_0 \ell) - \frac{\sinh(\gamma_0 \ell)}{\gamma_0 \ell} \right) \right]. \quad (6)$$

В рельсовой цепи справа от подстанции, у места подключения отсасывающего фидера, разность токов определяется так:

$$(I_2 - I_1)_{оп} = I_{\Pi} \frac{\sinh(\gamma_{оп}\ell_{\Pi}) - 2 \frac{Z_M}{Z_P + Z_M} \cdot \frac{\cosh(\gamma_{оп}\ell_{\Pi}) - 1}{\gamma_{оп}\ell_{\Pi}}}{\sinh(\gamma_{оп}\ell_{\Pi}) + 2 \frac{Z_P - Z_M}{Z_P + Z_M} \cdot \frac{\cosh(\gamma_{оп}\ell_{\Pi}) - 1}{\gamma_{оп}\ell_{\Pi}}}, \quad (7)$$

где суммарный ток I_{Π} в рельсовой цепи справа от подстанции находится по формуле:

$$I_{\Pi} = \frac{I_K}{P} \left(1 - 2 \frac{Z_{KP}}{Z_P + Z_M} \right) \frac{z_0}{Z_{\Pi}} \left(\cosh(\gamma_0 \ell) + \frac{z_0}{Z_{\Pi}} \sinh(\gamma_0 \ell) \right). \quad (8)$$

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Расчетные данные, характеризующие численные значения

гармоник тягового тока, представлены на рис. 4 в виде коэффициентов K_0 и K_{Π} , как это выполнено в [1] для двухниточных РЦ. Эти коэффициенты представляют собой

отношение полуразности токов гармоник на концах РЦ к току этой гармоники в контактном проводе I_K в зависимости от длины РЦ, частоты гармоники ω_i и удельной проводимости опор контактной сети g_0 . Коэффициенты, таким образом, показывают долю тока гармоники в контактном проводе и этого тока, содержащегося в РЛ при максимальном сопротивлении изоляции рельсов от земли, т. е. $g \rightarrow \min$.

Коэффициент

$$K_0 = \frac{(I_2 - I_1)_0}{2I_K} \quad (9)$$

относится к РЦ, примыкающей к фидеру тяговой подстанции и находящейся на участке между электровозом и ТП, а коэффициент

$$K_{II} = \frac{(I_2 - I_1)_{0II}}{2I_K} \quad (10)$$

определяет помеху в РЦ, примыкающей к фидеру тяговой подстанции с противоположной от электровоза стороны.

Уровни помех рассчитаны по приведенным формулам (5) – (8) для каждого значения проводимости q_0 (0,25; 0,5 и 1 $1/ОМ \cdot км$), РЦ имеют одну длину ($l = 0,5 - 0,8 - 1,0$ и 1,5 км) и одну проводимость g_0 всех РЦ.

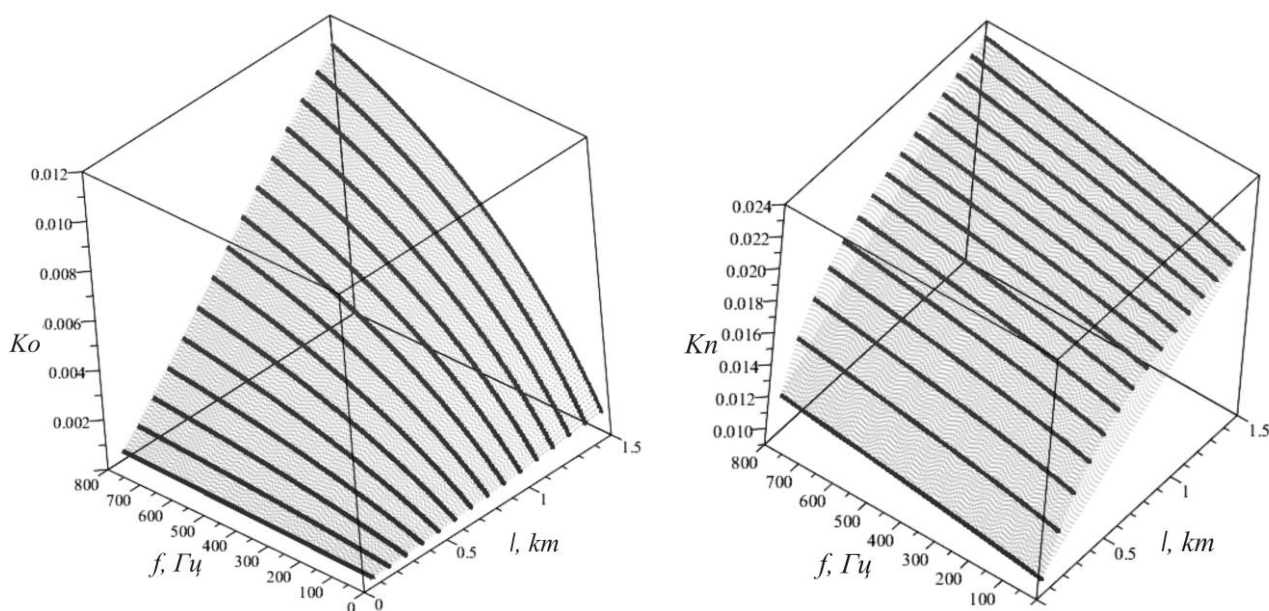


Рис. 4. Зависимости изменения коэффициента асимметрии K_0, K_{II} от частоты и длины РЦ при $q_0 = 0,25$

Параметры рельсовых линий рассчитаны для рельсов типа Р65 при температуре $20^{\circ}C$ и наибольшей проводимости земли (для зимних условий $g \Rightarrow 1 \text{ См}/км$), при которой ожидается максимальная помеха, создаваемая каждой гармоникой.

Из приведенных рисунков следует, что коэффициенты помех монотонно

растут: при росте величины частоты гармоник, при увеличении постоянной распространения γ_0 с учетом опор контактной сети, а также с увеличением длины РЦ. При этом, при частотах ТРЦ до 800 Гц скорость возрастания помехи при заданной длине РЦ замедляется. Рост коэффициентов помех в зависимости от

упомянутых факторов объясняется тем, что с ростом γ_0 растет та часть тока гармоник, которая протекает к тяговой подстанции через землю и создает тем самым асимметрию токов в рельсовых нитях.

Коэффициент K_0 при прочих равных условиях меньше по величине, чем коэффициент K_{II} , несмотря на то, что ток I_0 , текущий по рельсам между электровозом и тяговой подстанцией, больше тока I_{II} , попадающего в соседнюю РЛ с фидером тяговой подстанции РЦ через землю. Этот эффект объясняется явлением индуктирования тока в рельсы из контактного провода, способствуя тем самым уравниванию токов в РЦ, хотя одна из нитей имеет большую проводимость в несколько раз за счет заземлений опор.

С ростом $q_0 \ell$ достигаются предельные значения коэффициентов, поскольку из формул (5) и (7) следует, что при $\ell \rightarrow \infty$, $K_0 \rightarrow \frac{1}{4} \left(1 - 2 \cdot \frac{Z_P}{Z_P + Z_M} \right)$, причем слагаемое

$\frac{Z_P}{Z_P + Z_M}$ мало зависит от частоты и примерно равно 0,26, а максимум коэффициента $K_0 \rightarrow 0,13 \div 0,14 \approx K_0 + K_{II}$.

Заметим, что на двухниточном перегоне при симметричном подключении путей к отсасывающему фидеру обратный ток электровозов от подстанции, протекающий в каждой из четырех примыкающих к фидеру рельсовых цепей, равен $I_{КС} = \frac{I_{ТП(1\text{путный})}}{2} = \frac{I_{ТП(2\text{путный})}}{4}$ (рис. 5),

причем на однопутном участке расчетный ток контактной сети равен половине тока подстанции. Иначе говоря, токи между рельсовыми нитями на каждом пути остаются одинаковыми, не зависимо от того, есть ли второй путь с расчетным током в контактном проводе или один путь с теми же токами. При этом, как показывают измерения, достаточно оценить влияние помех при двух электровозах,двигающихся по одному пути.

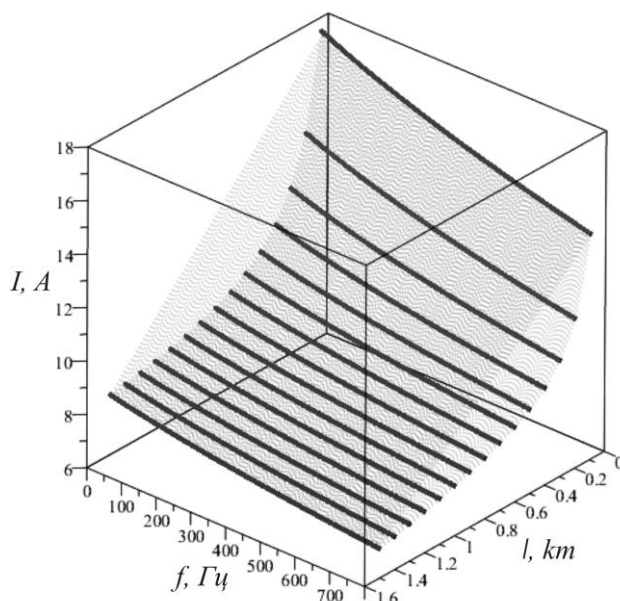


Рис. 5. Зависимости изменения тока помехи от частоты и длины РЦ при $q_0 = 0,25$

Заметим также, что расчеты уровней помех, выполненных выше, не учитывают

равности фазных напряжений, т. е. их несимметрию как по форме, так и по

величине. Особенно это касается участков стыкования электротяги постоянного и переменного токов. Отсюда следует, что

уровни помех могут иметь и большие уровни значений.

Список использованных источников

1. Брылеев, А.М. Устройства и работа рельсовых цепей [Текст] / А.М. Брылеев, А.В. Шишляков, Ю.А. Кравцов. – М.: Транспорт, 1966. – 264 с.
2. Вахнин, М.И. Устройства СЦБ при электрической тяге переменного тока [Текст] / М.И. Вахнин, Н.Ф. Пенкин, М.А. Покровский // Тр. ВНИИЖТ. – 1956. – № 126. – 217 с.
3. Купфмюллер, К. Основы теоретической электротехники [Текст] / К. Купфмюллер. – М.: ГЭИ, 1960. – 217 с.
4. Разгонов, А.П. Защита рельсовых цепей в зоне стыкования систем электротяги [Текст] / А.П. Разгонов, В.А. Дьяков, А.Ю. Журавлев, С.А. Разгонов // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 9. — С. 19-22.
5. Рельсовые цепи магистральных железных дорог [Текст]: справочник / под ред. В.С. Аркатова. – М.: Миссия-М, 2006. – 496 с.
6. Разгонов, А.П. О влиянии электрической дуги на токосъемники электровоза при гололёде на рельсовые цепи [Текст] / А.П. Разгонов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1998. – № 6. – С. 36-39.
7. Щека, В.І. Дослідження впливу зворотного тягового струму на режими роботи тональних рейкових кіл [Текст] / В.І. Щека, І.О. Романцев, К.І. Ящук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 24-28.
8. Mohamed, F.P. A novel approach in the measurement of high frequency disturbances from very large electrical systems [Text] / F.P. Mohamed, W.H. Siew, K.Y. Liu. // Electromagnetic Compatibility Magazine, IEEE 3.2. – 2014. pp. 46-50. doi: 10.1109/MEMC.2014.6849543.
9. Place, C. Managing rolling stock EMC [Text] / C. Place, D. Hayes // Electromagnetic Compatibility in Railways. IET Seminar. – London. – 2009. – P. 1-8.
10. Holmstrom, F.R. Rail transit EMI-EMC Electromagnetic Compatibility [Text] / F.R. Holmstrom, D. Turner, E. Fernald // Magazine IEEE. – 2012. - Vol. 1. – Iss. 1. - P. 79–82. doi: 10.1109/MEMC.2012.6244954.
11. Ogunsola A., Mariscotti A. Electromagnetic Compatibility in Railways: Analysis and Management. Springer-Verlag, Berlin, 2013. – 528 p.
12. Rhee, Eugene, Changjae Kim. Electromagnetic Compatibility Analysis for the Railway Telecommunication Intra-subsystem [Text] // International Journal of Software Engineering & Its Applications. Vol.8, No.5. - 2014. pp.115-126. doi: 10.14257/ijseia.2014.8.5.10
13. Test Analysis and Modeling of Power Frequency Magnetic-Field Environment in Carbodies of Electrified Trains [Text] / F ZHU, LIU Guanghui, YE Jiaquan, DU Hui // J. of Southwest Jiaotong University. –2015. – Vol. 50. – P. 400–404. doi: 10.3969/j.issn.0258-2724.2015.03.002.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.І. Гаврилюк

Журавльов Антон Юрійович, асистент кафедри автоматички, телемеханіки та зв'язку Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. Тел. (067) 990-76-51. E-mail: anton.zhuravlev@gmail.com, ORCID 0000-0001-6885-5177.

Zhuravlev Anton Yuryevich, assistant of the dep. «Automation, remote control and communication», Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan. Tel. (067) 990-76-51. E-mail: anton.zhuravlev@gmail.com, ORCID 0000-0001-6885-5177.

Прийнята 12.02.2016 р.

УДК 004.89

**БЕСПОРШНЕВЫЕ УНИВЕРСАЛЬНЫЕ БЕТОНОНАСОСЫ НОВОГО
КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ
УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ**

Д-р техн. наук И.А. Емельянова, асп. Д.О. Чайка

**БЕЗПОРШНЕВІ УНІВЕРСАЛЬНІ БЕТОНОНАСОСИ НОВОГО
КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ УМОВ
БУДІВЕЛЬНОГО МАЙДАНЧИКА**

Д-р техн. наук І.А. Ємельянова, асп. Д.О. Чайка

**NOT PISTONS UNIVERSAL CONCRETE PUMP NEW CONSTRUCTIVE SOLUTIONS
WITH HYDRAULIC ACTUATORS FOR THE CONSTRUCTION SITE.**

Doct. of techn. I.A. Emeljanova, graduate student D.O. Chayka

Целью написанной статьи явилось представление новой конструкции беспоршневого универсального бетононасоса с гидравлическим приводом и предлагаемым подходом к определению его работоспособности.

Разработана гидравлическая схема для управления универсальным шланговым бетононасосом и описана сущность ее работы.

***Ключевые слова:** универсальный шланговый бетононасос, гидравлический привод, крутящий момент, работоспособность, подвижность смеси.*

Метою написаної статті стало подання нової конструкції беспоршневого універсального бетононасоса з гідравлічним приводом і пропонуванім підходом для визначення його працездатності.

Розроблена гідравлічна схема для управління універсальним шланговим бетононасосом і описана сутність її роботи.

***Ключові слова:** універсальний шланговий бетононасос, гідравлічний привод, крутний момент, працездатність, рухливість суміші.*

Presents a new universal design without piston concrete pump with hydraulic drive.

A distinctive feature of the hydraulic circuit is the ability to control the operating parameters of the concrete pump when used for work on a different performance ($Q = 1 \dots 15$) according to the diameter of interchangeable hoses ($D = 32 \dots 75$ mm).

A hydraulic circuit for controlling a universal concrete pump hose and described the essence of her work.

The flow pattern used by the application of high-torque motors, which allow you to work, if necessary, concrete pump at low speeds.

The possibility of analysis of its performance in accordance with the above procedure.

***Keywords:** Universal hose concrete pump, hydraulic drive, torque, efficiency condition, the mobility of the mixture.*

Для выполнения ремонтов и укрепления горных массивов реконструкции действующих зданий и рекомендуется использование комплектов сооружений, строительства тоннелей, малогабаритного оборудования для

проведення торкрет-работ мокрым способом, которые разработаны в Харьковском национальном университете строительства и архитектуры, изготовлены и прошли широкую апробацию в условиях строительства на различных объектах Харькова и других городов Украины [1,2]. В настоящее время создается беспоршневой универсальный бетононасос нового конструктивного решения с гидравлическим приводом, который также может быть рекомендован для решения вышеуказанных проблем [3].

В основу работы бетононасоса положена концепция механической мышцы – когда под действием силы прижатия ролика изменяется проходное сечение упругого шланга и бетонная смесь проталкивается от входа шланга к его выходу, создавая, таким образом, за роликом зону пониженного давления, в которую поступает бетонная смесь из бункера.

На рис. 1 представлен беспоршневой бетононасос, на который установлен гидравлический привод.

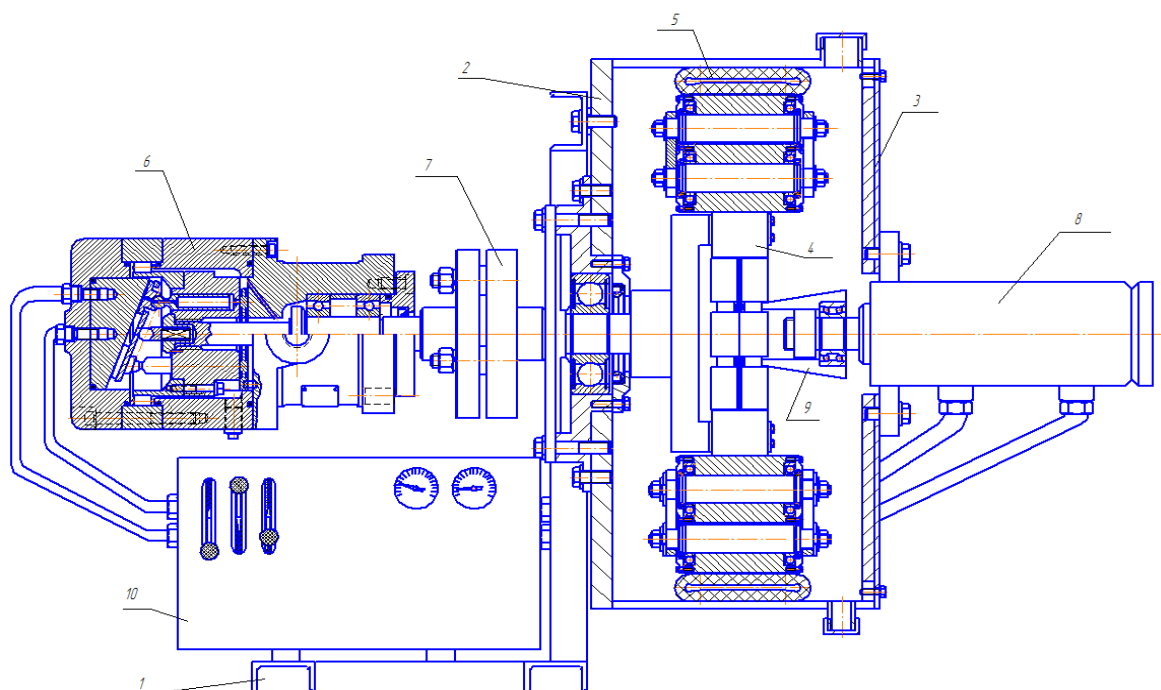


Рис. 1. Схема беспоршневого универсального бетононасоса нового конструктивного решения с гидравлическим приводом:

- 1 – рама; 2 – корпус насоса; 3 – крышка корпуса; 4 – ротор с роликами; 5 – гибкий шланг; 6 – гидромотор; 7 – муфта; 8 – гидроцилиндр; 9 – конический наконечник; 10 – гидрораспределительный узел

На рис. 2 показана предлагаемая гидравлическая схема для беспоршневого универсального бетононасоса нового конструктивного решения.

Гидравлическая схема работает следующим образом.

При включении электродвигателя *M* приводится во вращение вал насоса *H* и

рабочая жидкость при выходе через гидрораспределитель *P4* сливается в бак *B*. Этим обеспечивается минимальный нагрев рабочей жидкости при неработающей гидросистеме. Золотник *P4* находится в таком положении, как показано на рис. 2. При запуске бетононасоса подается ток на электромагнит *Y7* и золотник

гидрораспределителя *P4* смещается влево, перекрывая слив рабочей жидкости в бак *Б*. Таким образом, насос будет запущен без

рывков и пикового повышения давления при нагнетании масла.

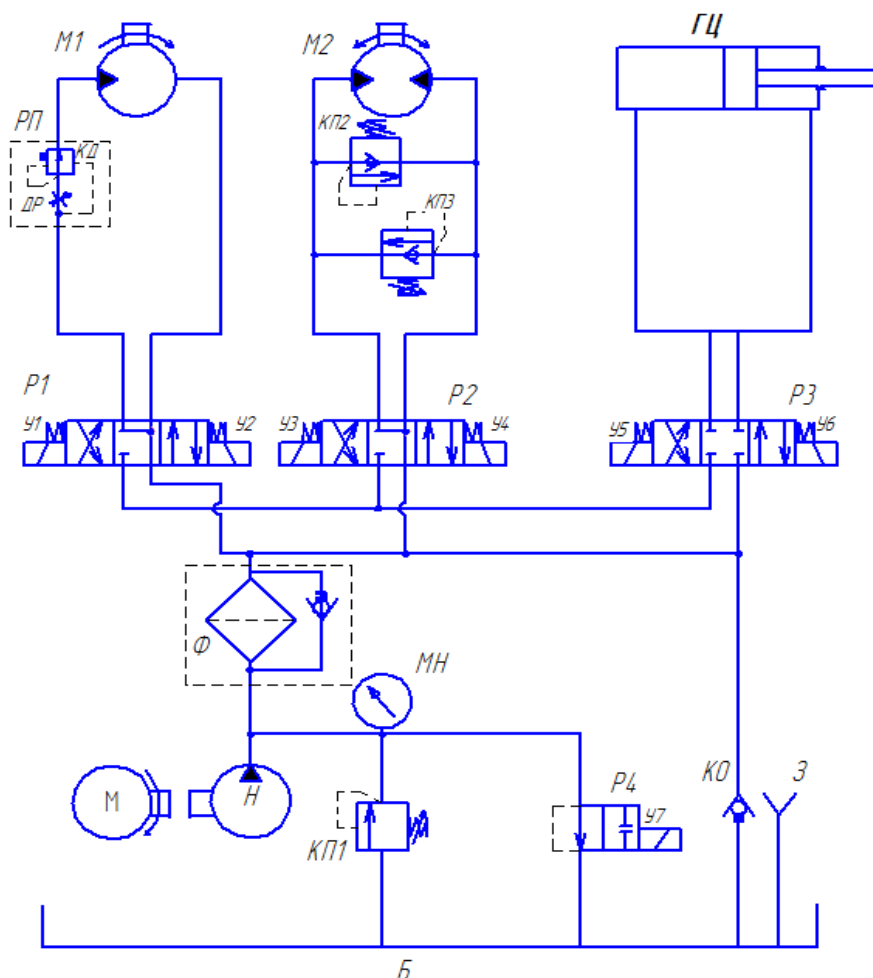


Рис. 2. Гидравлическая схема бетононасоса:

Н – насос; *M1*, *M2* – высокомоментные гидромоторы; *РП* – регулятор потока; *МН* – манометр; *КП1* – клапан предохранительный; *КП2*, *КП3* – антикавитационные клапана; *P1*, *P2*, *P3*, *P4* – распределитель; *КО* – клапан обратный; *ГЦ* – гидроцилиндр; *Ф* – фильтр

Настройку давления в гидросистеме производят предохранительным клапаном *КП1* и контролируют манометром *МН*. Рабочая жидкость при выходе из насоса *Н* через фильтр *Ф* поступает на входы гидрораспределителей *P1*, *P2*, *P3* с электромагнитным управлением. Линии слива *P1*, *P2* и *P3* соединены через обратный клапан *ОК*, настроенный на давление 0,05 МПа, с баком *Б*. Таким

образом, обеспечивается плавное включение в работу гидромоторов *M1*, *M2* и гидроцилиндра *ГЦ*.

Гидромотор *M1* приводит в действие вал ворошителя, расположенного в загрузочном бункере бетононасоса. Регулятор потока *РП* поддерживает с помощью дросселя *ДР* стабильную работу гидромотора *M1*, независимо от перепада давления подводимого и отводимого

потоков рабочей жидкости, обеспечивая, таким образом, требуемую частоту вращения вала ворошителя. Регулирование частоты вращения гидромотора $M1$ осуществляется настройкой дросселя $ДР$ регулятора потока $РП$.

Включение гидромотора $M2$, который приводит в действие ротор бетононасоса, обеспечивается подачей тока на электромагниты $У3$ или $У4$ гидрораспределителя $Р2$, при этом в зависимости от наличия тока на управляющих электромагнитах гидромотор $M2$ вращается влево или вправо. В этом случае магистраль питания гидросистемы соединяется с одной из полостей гидромотора $M2$, а вторая его полость – со сливом. Для защиты от перегрузок

(забросов давления) при резком разгоне или торможении бетононасоса магистрали подвода – отвода рабочей жидкости гидромотора $M2$ снабжены предохранительно антикавитационными клапанами $КП2$ и $КП3$. Регулирование частоты вращения гидромотора $M2$ осуществляется регулированием давления в гидросистеме бетононасоса с помощью предохранительного клапана $КП$.

Через гидрораспределитель $Р3$ обеспечивается работа гидроцилиндра $ГЦ$, шток которого управляет механизмом прижатия роликов ротора бетононасоса к шлангу подачи бетонной смеси.

На рис. 3 представлена расчетная схема для определения крутящего момента на валу ротора бетононасоса.

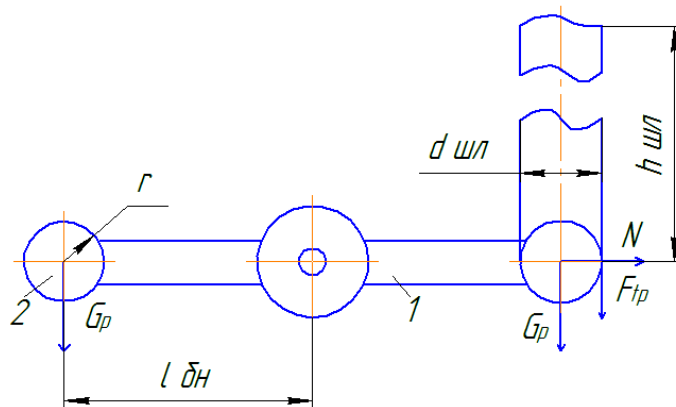


Рис. 3. Расчетная схема для определения крутящего момента на валу ротора бетононасоса:
1 – рычаг; 2 – ролик

Согласно расчетной схеме определяется крутящий момент на валу ротора бетононасоса:

$$M_{кр\ в\ бн} = F_g l_{бн} + F_{тр\ шл} (l_{бн} + r_p) \quad (1)$$

где F_g – сила, обусловленная весом бетонной смеси, находящейся в шланге;

$F_{тр\ шл}$ – сила трения между роликом и шлангом;

$F_{пр}$ – сила прижима ролика к шлангу.

$$F_g = \frac{\pi d_{шл}^2}{4} \rho_0 g h_{шл} \quad (2)$$

где $d_{шл}$ – внутренний диаметр шланга, м;
 ρ_0 – плотность бетона, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;
 $h_{шл}$ – максимальная высота подачи бетонной смеси насосом по шлангу, м.

$$F_{тр\ шл} = \frac{k_{тр\ шл}}{r_p} F_{пр}, \quad (3)$$

где $k_{тр\ шл}$ – коэффициент трения, имеющий место в результате взаимодействия роликов вращающегося ротора с внешней поверхностью шланга, м;

$k_{тр\ шл} = 15 \dots 35$ мм [4], принимаем,
 $k_{тр\ шл} = 25$ мм;
 r_p – радиус ролика, м.

$$F_{пр} = c_{шл} d_{шл}, \quad (4)$$

$$n_{\min} = (0,75 \dots 1,5) \frac{10^3 Q_{ут}}{q_{гм}} = (0,75 \dots 1,5) \frac{10^3 (1 - \eta_{обгм}) Q_{номгм}}{q_{гм}}, \quad (6)$$

где $Q_{ут}$ – суммарные утечки в гидромоторе, л/мин;

$\eta_{обгм}$ и $Q_{номгм}$ – соответственно объемный КПД и номинальный расход гидромотора, л/мин.

где $c_{шл}$ – приведенная жесткость шланга, Н/м.

Зная крутящий момент на валу ротора, определяются основные параметры работы выбранного гидромотора [6].

Рабочий объем гидромотора:

$$q'_{гм} = \frac{2\pi M_{кр\ max} \eta'_{гм\ o}}{\Delta p_{гм\ n\ пред} \eta'_{гм}}, \quad (5)$$

где $\Delta p_{гм\ n\ пред}$ – существующий перепад давлений в гидросистеме бетононасоса от гидромотора $M2$, Па = 21 ... 25 МПа [7].

Определение минимальной частоты вращения вала гидромотора производится согласно зависимости

На рис. 4 представлена расчетная схема для проверки работоспособности шлангового беспоршневого бетононасоса.

Работоспособность шлангового бетононасоса определяется исходя из условий перепада давлений в транспортном трубопроводе при всасывании бетонной смеси из загрузочного бункера.

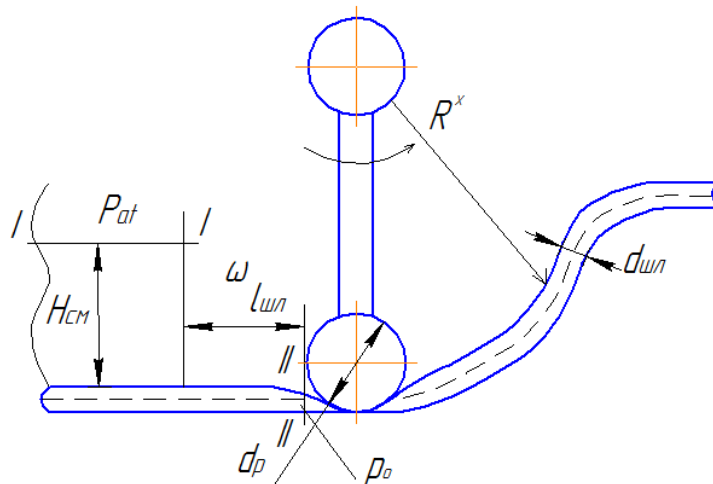


Рис. 4. Расчетная схема для определения работоспособности бетононасоса

Для проверки работоспособности использовано уравнение Бернулли относительно сечений I-I, II-II

$$H_{\text{см}} = \frac{p_0 - p_{\text{ат}}}{\rho_{\text{б}} g} + (1 + \zeta_{\Sigma}) \frac{v_{\text{см}}^2}{2g}, \quad (7)$$

где $H_{\text{см}}$ – высота столба бетонной смеси в бункере, м, $H_{\text{см}} = 0,255$ м;

p_0 и $p_{\text{ат}}$ – соответственно давление за роликом и атмосферное давление, Па;

$\rho_{\text{б}}$ – плотность бетонной смеси, кг/м³;

ζ_{Σ} и $v_{\text{см}}$ – соответственно суммарные потери давления и скорость движения бетонной смеси в трубопроводе [9], м/с.

Из уравнения (7) определяется p_0

$$p_0 = \rho_{\text{б}} g H_{\text{см}} + p_{\text{ат}} - (1 + \zeta_{\Sigma}) \rho_{\text{б}} \frac{v_{\text{см}}^2}{2}; \quad (8)$$

$p_0 = -0,8338215$ Мпа;

$p_{0I} = -0,011277$ Мпа;

Вакуум – 0,113 кг/см².

В конечном итоге проверка бетононасоса на его работоспособность производится как:

$$\rho_{\text{б}} g H_{\text{см}} + p_{\text{ат}} \geq (1 + \zeta_{\Sigma}) \rho_{\text{б}} \frac{v_{\text{см}}^2}{2}. \quad (9)$$

Выводы

1. Разработаны принципиальная схема шлангового бетононасоса и гидравлическая схема управления его работой. Отличительной особенностью гидросхемы является использование высокомоментных гидромоторов, что позволяет отказаться от механического привода, благодаря чему повышается надежность и долговечность работы бетононасоса.

2. Впервые определены условия работоспособности шлангового беспоршневого бетононасоса с гидравлическим приводом.

Список использованных источников

1. Малогабаритное оборудование для транспортирования бетонных смесей и выполнения торкрет-работ [Текст] / И.А. Емельянова, А.И. Анищенко, Н.А. Меленцов, А.Т. Гордиенко // Вестник МСГУ: Науч.-техн. журнал. – 2013. – №5. – С.87-95.
2. Универсальное малогабаритное оборудование для условий ремонта и реконструкции действующих зданий и сооружений различного назначения [Текст] / И.А. Емельянова, А.И. Онищенко, В.Ю. Шевченко, Н.А. Меленцов // Наука в центральной России: науч.-производств. периодич. журнал. – Тамбов, 2013. – №4. – С.5-13.
3. Емельянова, И.А. Универсальный шланговый бетононасос нового конструктивного решения [Текст] / И.А. Емельянова, Д.О. Чайка // Материалы международной научно-технической конференции «Интерстроймех – 2015». – Казань, 2015. – С.81-85.
4. Онищенко, О.Г. Структура кинематика и динамика механизмов [Текст] / О.Г. Онищенко, Б.А. Коробко, К.М. Ващенко. – Полтава: ПолНТУ, 2010. – 274 с.
5. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы; справочник [Текст] / В.К. Свешников, А.А. Усов. – М.: Машиностроение, 1988. – 456 с.
6. Расчет, проектирование и эксплуатация объемного гидропривода [Текст] / З.Л. Финкельштейн, О.М. Яхно [и др.]. – К.: НТУ «КПИ», 2006. – 216 с.
7. Аврунин, Г.А. Гидравлическое оборудование строительных и дорожных машин [Текст] / Г.А. Аврунин, И.Г. Кириченко, В.Б. Самородов; под ред. Г.А. Аврунина. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 464 с.
8. Аврунин, Г.А. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика [Текст]: учеб. пособие / Г.А. Аврунин, И.В. Грицай, И.Г. Кириченко [и др.]. – Харьков: ХНАДУ, 2008. – 412 с.

9. Приходько, О.А. Технічна аерогідромеханіка [Текст]: навч. посібник / О.А. Приходько, Д.О. Сьомін. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2002. – 170 с.

Смельянова Инга Анатоліївна, доктор технічних наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057) 700-17-84. E-mail: emeljanova-inga@rambler.ru.

Чайка Деніс Олегович аспірант, кафедра механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. E-mail: d.chayka93@mail.ru.

Emeljanova Inga A. Ph.D., Professor Department of mechanization of construction processes Kharkov National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 700-17-84. E-mail: emeljanova-inga@rambler.ru.

Chayka Denis O. graduate student, department of mechanization of construction processes Kharkov National University of Construction and Architecture.

Прийнята 13.02.2016 р.

УДК 666.9.022

ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН НА МЕХАНОАКТИВИРОВАННОМ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ

Асп. О.С. Щербина, д-р техн. наук И.В. Барабаш, канд. техн. наук Л.Н. Ксёншкевич

ДИСПЕРСНО-АРМОВАНІЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН НА МЕХАНОАКТИВОВАНОМУ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ

Асп.О. С. Щербина, д-р техн. наук І.В. Барабаш, канд. техн. наук Л.М. Ксьоншкевич

DISPERSE-REINFORCED CLAYDATE-CONCRETE ON MECHANOACTIVATED PORTLANDCEMENT

Graduate st. O.S. Sherbina, doct. of techn. sciens I.V. Barabash, cand. of techn. sciens L.N. Ksenshkevich

В статье рассмотрены вопросы влияния базальтовой фибры на изменение прочностных характеристик керамзитобетона на механоактивированном вяжущем. Установлено, что введение базальтовой фибры в механоактивированное вяжущее позволяет ускорить процесс набора прочности бетона в ранние сроки твердения (3 суток), а также повысить прочность в 28-суточном возрасте. Выявлено положительное влияние базальтовой фибры на истираемость керамзитобетона.

Ключевые слова: керамзитобетон, механоактивация, базальтовая фибра, поликарбосилатный суперпластификатор, истираемость.

У статті розглянуто питання впливу базальтової фібри на зміну міцнісних характеристик керамзитобетону на механоактивованому в'язучому. Установлено, що введення базальтової фібри в механоактивоване в'язуче дає змогу прискорити процес набору міцності бетону на ранніх термінах твердіння (3 доби), а також підвищити

міцність у 28-добовому віці. Виявлено позитивний вплив базальтової фібри на стираність керамзитобетону.

Ключові слова: керамзитобетон, механоактивація, базальтова фібра, полікарбоксилатний суперпластифікатор, стираність.

The problems of the basalt fiber's effect to a change in the strength characteristics of ceramsite concrete mechanically activated binder are considered in the article. It was defined that the introduction of basalt fibers in mechanically activated binder can intensify the process of curing concrete in the early stages of hardening (3 days), and to increase the strength of 28 day-old-age. A positive impact of basalt fiber on abrasion of ceramsite concrete is revealed. It was determined that ceramsite concrete on mechanically activated binder shows a greater efficiency from the point of view of increasing the abrasion of concrete compared to traditional technology of preparation of concrete mixture. In general, due to increasing of the amount of plasticizer additives polycarboxylate type in the mechanoactivated Portland cement binder, consumption of mechanically activated binder and injection of basalt fiber the ceramsite concrete abrasion resistance can be improved more than 3 times.

Keywords: claydate-concrete, mechanically activated, basalt fiber, polycarboxylate superplasticizer, abrasion

Вступлення. Повышение эффективности строительных материалов зависит от роста их качества при снижении ресурсных и энергетических затрат на производство. В работе решение вопроса о повышении эффективности востребованных в строительстве легких бетонов связано с применением литьевой технологии приготовления бетонных смесей, которая позволяет резко снизить трудоемкость и энергоемкость процесса укладки бетонной смеси, повысить уровень механизации работ, значительно улучшить условия труда за счет снижения шумовых и вибрационных воздействий. Применение таких бетонов позволяет снизить массу зданий и конструкций до 30 %, что позволяет достигнуть ряда положительных технико-экономических показателей. В качестве пористого заполнителя для легкого бетона в основном применяется керамзитовый гравий, обладающий сравнительно низкой насыпной плотностью 400...800 кг/м³ [1,2].

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями. Крайне важным является обеспечение высоких темпов роста строительства объектов, что

требует интенсивного набора прочности бетона, а также повышения его механических характеристик [3,4]. Более интенсивный набор прочности бетона может быть осуществлен путем целенаправленного изменения структуры цементной матрицы как за счет активации зерен цемента в условиях интенсивных гидродинамических воздействий на них, так и за счет модификации их ПАВ [5-7]. Возможность ускорения процессов структурообразования приобретает особое значение для монолитных бетонов, твердеющих в условиях строительной площадки.

Анализ последних исследований и публикаций. Работами [8-10] установлено, что управление структурообразованием цементного камня в бетоне и получение материалов заданного качества основывается на оптимизации технологических процессов их изготовления. Это в свою очередь подразумевает установление зависимостей, определяющих влияние на прочность легкого бетона рецептурных и технологических факторов [11, 12].

В последнее время делаются попытки применения дисперсного армирования цементной матрицы с помощью

базальтовых волокон [13-15]. Базальтовые волокна существенно снижают риск деформации цементного теста (2-6 часов после укладки), а также резко уменьшают опасность образования усадочных трещин на ранней стадии твердения [16].

Определение целей и задач исследований. Выяснить влияние добавки базальтовой фибры к механоактивированному портландцементу с добавкой молотого доменного шлака на прочность и истираемость керамзитобетона.

Основная часть исследований. Основным объектом исследований были выбраны литые керамзитобетонные смеси, для приготовления которых в качестве вяжущего использовался портландцемент с добавкой молотого доменного шлака ($S_{уд.} = 350 \text{ м}^2/\text{кг}$) в количестве 45 %. Вяжущее подвергалось механической активации в скоростном трибосмесителе.

Исследовалось влияние механоактивации вяжущего и концентрации базальтовой фибры в нем на кинетику набора прочности керамзитобетона, твердеющего в нормальных условиях. Базальтовая фибра представляла собой волокна длиной 12 мм, диаметром 20 мкм. Для снижения водопоглощения базальтовая фибра обрабатывалась кремнийорганическим гидрофобизатором ГКЖ-11. Расход базальтового волокна варьировался в количестве от 0 до 1 % массы вяжущего.

Исследования проводились по стандартному трехфакторному плану, содержащему 15 экспериментальных точек. Независимыми рецептурно-технологическими факторами были приняты:

$X_1 - 450 \pm 100 \text{ кг/м}^3$ – количество вяжущего;

$X_2 - 1 \pm 0,5 \%$ – количество пластификатора Супер-ПК;

$X_3 - 0,5 \pm 0,5 \%$ – количество базальтовой фибры.

В качестве заполнителя применялись кварцевый песок с $M_{кр} = 2,2$ и керамзи-

товый гравий, предварительно обработанный гидрофобизатором ГКЖ-11. Расход кварцевого песка колебался в диапазоне от 727 до 812 кг/м^3 , керамзитового гравия от 630 до 715 л/м^3 .

Приготовление бетонной смеси осуществлялось как по отдельной (с применением механоактивации вяжущего в трибоактиваторе), так и по традиционной технологии. При приготовлении бетонных смесей по отдельной технологии суспензия вяжущего, предварительно полученная совместным смешением последовательно вводимых в скоростной трибосмеситель воды, добавки Супер-ПК, портландцемента и базальтовой фибры, смешивалась с песком и керамзитовым гравием в тихоходной бетономешалке. Традиционная технология предусматривала приготовление бетонных смесей в тихоходной бетономешалке без предварительной активации вяжущего.

Следует отметить, что подвижность бетонной смеси определялась по расплыву конуса Абрамса. Для этого перевернутый конус заполнялся свежеприготовленной бетонной смесью без уплотнения. Не позже 90 с после наполнения конус поднимался вверх.

Подвижность бетонной смеси в каждой строчке плана эксперимента (как по отдельной, так и по традиционной технологии) принималась равной 50 см.

Заданная подвижность смеси достигалась корректировкой количества воды затворения. Формование образцов осуществлялось путем заливки легкобетонной смеси в формы-тройчатки с размером ребра 10 см. Влияние рецептурных факторов на прочность керамзитобетона в возрасте 3, 7 и 28 суток (индекс 3, 7 и 28 соответственно) для приготовленного по отдельной (индекс «s») и традиционной (индекс «t») технологиям описывают приведенные ниже экспериментально-статистические модели (1) – (6):

$$f_{ck.cube3}^s = 14,4 + 3,6x_1 - 0,7x_1^2 + 0,1x_1x_2 + 0,9x_2 - 0,3x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 0,8x_3 - 0,4x_3^2 \quad (1)$$

$$f_{ck.cube3}^t = 10,1 + 2,5x_1 - 0,4x_1^2 + 0,1x_1x_2 + 0,7x_2 - 0,2x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 0,6x_3 - 0,3x_3^2 \quad (2)$$

$$f_{ck.cube7}^s = 22,5 + 5,4x_1 - 0,5x_1^2 + 1,4x_2 - 0,8x_2^2 + 0,3x_2x_3 + 1,3x_3 - 0,9x_3^2 \quad (3)$$

$$f_{ck.cube7}^t = 18,7 + 4,7x_1 - 0,9x_1^2 + 1,3x_2 - 0,2x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 0,9x_3 - 0,8x_3^2 \quad (4)$$

$$f_{ck.cube28}^s = 22,7 + 5,9x_1 - 0,1x_1^2 + 0,1x_1x_2 - 0,1x_1x_3 + 1,5x_2 - 0,5x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 1,1x_3 \quad (5)$$

$$f_{ck.cube28}^t = 20,8 + 5,7x_1 - 0,7x_1^2 + 0,1x_1x_2 - 0,3x_1x_3 + 5,7x_2 - 0,3x_2^2 + 1,0x_3 \quad (6)$$

Средняя плотность керамзитобетона в заданном факторном пространстве колебалась от 1700 до 1800 кг/м³.

Анализ моделей показывает, что прочность бетонов, приготовленных по раздельной технологии, выше прочности бетонов, приготовленных по традиционной технологии, за весь исследуемый период твердения на 10-30 %.

Экспериментально установлено, что прочность бетонов, смеси которых готовились по раздельной технологии, на третьи сутки твердения в 1,5 раза выше, чем у контрольных образцов (вяжущее механоактивации не подвергалось). В дальнейшем скорость набора прочности керамзитобетона на механоактивированном вяжущем замедляется и к 28-суточному возрасту прирост прочности не превышает 10-15 % (рис. 1).

Графическая интерпретация модели (5), описывающая влияние рецептурных факторов на прочность бетонов, твердеющих в нормальных условиях на механоактивированном вяжущем, представлена на рис. 2.

Анализ графических зависимостей свидетельствует о значительном влиянии расхода вяжущего на прочность бетона. С увеличением содержания вяжущего от 350 до 550 кг/м³ прочность бетона повышается с 17,8 до 29,5 МПа, т.е. более чем в 1,5 раза.

Следует отметить влияние на прочность бетона количества вводимого пластификатора Супер-ПК. Так, увеличение его концентрации от 0,5 до 1,5 % приводит к увеличению прочности с 24,2 до 27,5 МПа, т.е. почти на 13 %.

Совместное воздействие на портландцемент механоактивации, добавки Супер-ПК и базальтовой фибры приводит к

повищенню прочности в 28-суточном возрасте бетона по сравнению с контролем (бетон на немеханоактивированном

портландцементе, Супер-ПК и базальтовая фибра отсутствуют) с 11,3 до 29,5 МПа, т.е. более чем в 2,5 раза.

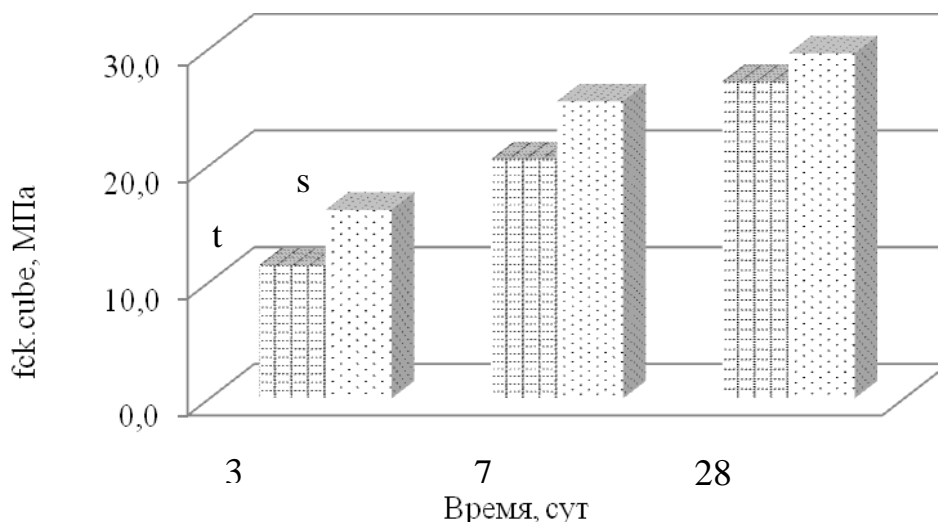


Рис. 1. Влияние времени твердения на кинетику набора прочности керамзитобетона состава: цемент – 550 кг/м³; песок – 727 кг/м³; кер. гравий₅₋₁₀ – 385 л/м³; кер. гравий₁₀₋₂₀ – 245 л/м³; В/Ц_{РТ} = 0,42; В/Ц_{ТТ} = 0,43; СПК – 1,5 %; фибра – 1 %; t – традиционная технология; s – раздельная технология

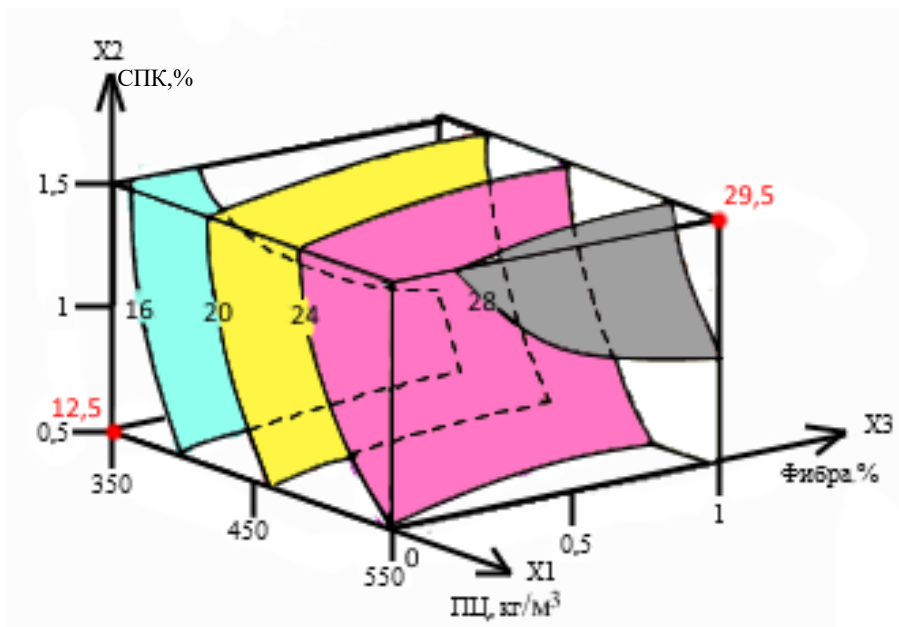


Рис. 2. Влияние рецептурных факторов на прочность бетона, МПа, приготовленного по раздельной технологии

Важним свойством бетонов является их истираемость.

ЭС-модели, отображающие влияние рецептурных факторов состава керамзито-

бетона в возрасте 28 суток, приготовленного по отдельной (индекс «s») и традиционной (индекс «t») технологиям, на уровень его истираемости, имеют вид:

$$G_{1.s} \text{ (г/см}^2\text{)} = 0.243 - 0.033x_1 + 0.002 x_1^2 + 0.008 x_1x_3 - 0.010x_2 - 0.003 x_2^2 - 0.107x_3 + 0.032x_3^2 \quad (7)$$

$$G_{1.t} \text{ (г/см}^2\text{)} = 0.274 - 0.033x_1 + 0.008x_1x_3 - 0.01x_2 - 0.006x_2^2 - 0.108x_3 + 0.034x_3^2 \quad (8)$$

Максимальной истираемостью $G_{1.t.\max} = 0,46 \text{ г/см}^2$, $G_{1.s.\max} = 0,43 \text{ г/см}^2$ согласно данных ЭС-моделей (7) и (8) характеризуются составы в точке с координатами $x_1 = x_2 = x_3 = -1$, т.е. при минимальном количестве пластификатора, портландцемента и без фибры. Минимальной истираемостью соответственно $G_{1.t.\min} = 0,16 \text{ г/см}^2$ и $G_{1.s.\min} = 0,13 \text{ г/см}^2$ характеризуются составы в точке с координатами $x_1 = x_2 = x_3 = 1$, т.е. при максимальном количестве добавки Супер-ПК, портландцемента и базальтовой фибры.

На рис. 3 показаны построенные по ЭС-моделям (7) и (8) совмещенные диаграммы, отображающие влияние количества вяжущего и базальтовой фибры на истираемость керамзитобетона.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что увеличение количества вводимой базальтовой фибры в бетон приводит к снижению истираемости с $0,44 \text{ г/см}^2$ (фибра отсутствует) до $0,16 \text{ г/см}^2$ (количество фибры 1 %), то есть более чем в 2,5 раза. Снижение истираемости, на наш взгляд, объясняется армирующими свойствами волокна, удерживающими отдельные блоки хрупкой цементно-песчаной матрицы при истирающих воздействиях. Аналогичное влияние базальтовой фибры на истираемость бетона отмечено в работах [17, 18].

Следует отметить, что влияние дозировки фибры на уровень G_1 имеет нелинейный характер: при введении 0,5 % волокна от массы вяжущего истираемость снижается на 30..36 %, тогда как введение ее в количестве 1 % приводит к снижению G_1 на 50..60 %.

Установлено, что в рамках проведенного эксперимента эффективность применения фибры в незначительной степени зависит от количества добавки – пластификатора (рис. 4).

Как видно из диаграммы (рис. 4), при повышении количества добавки Супер-ПК с 0,5 до 1,5 % от массы вяжущего истираемость бетона снижается на $0,02-0,03 \text{ г/см}^2$, что объясняется общим упрочнением структуры за счет снижения В/Ц смеси равной подвижности. При этом по мере увеличения количества базальтовой фибры эффективность повышения дозировки добавки возрастает.

Керамзитобетон на механоактивированном вяжущем показывает большую эффективность, с точки зрения повышения износостойкости бетона по сравнению с традиционной технологией приготовления бетонной смеси, что можно объяснить снижением его водопотребности. В целом за счет повышения количества добавки пластификатора поликарбоксилатного типа в механоактивированный портландцемент,

расхода вяжущего и введения базальтовой фибры износостойкость керамзитобетона

может быть повышена более чем в 3 раза.

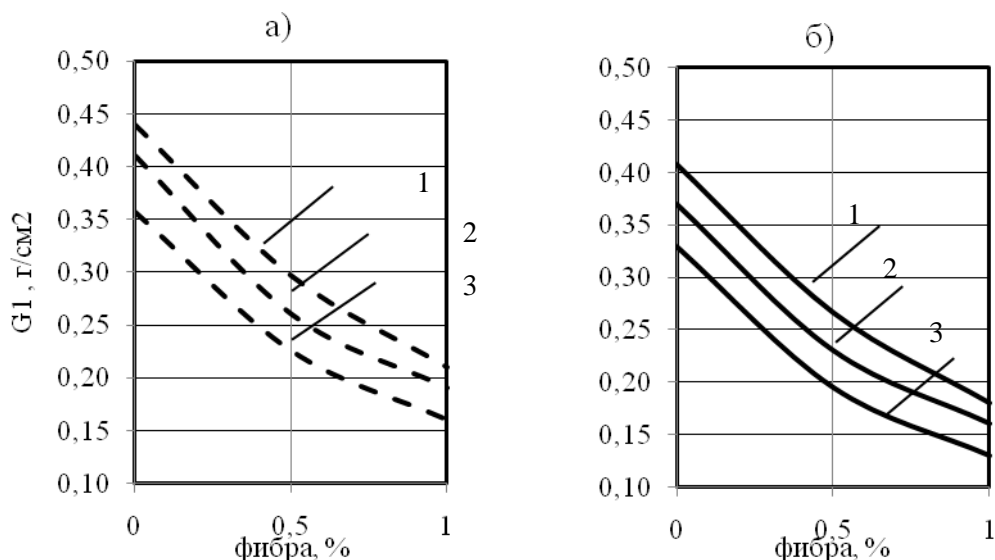


Рис. 3. Влияние содержания базальтовой фибры в вяжущем на истираемость керамзитобетона:

1,2,3 – расход вяжущего на 1 м^3 бетона 350, 450 и 550 кг/м^3 соответственно.

а – контроль (механоактивация вяжущего отсутствует);

б – бетон на механоактивированном вяжущем

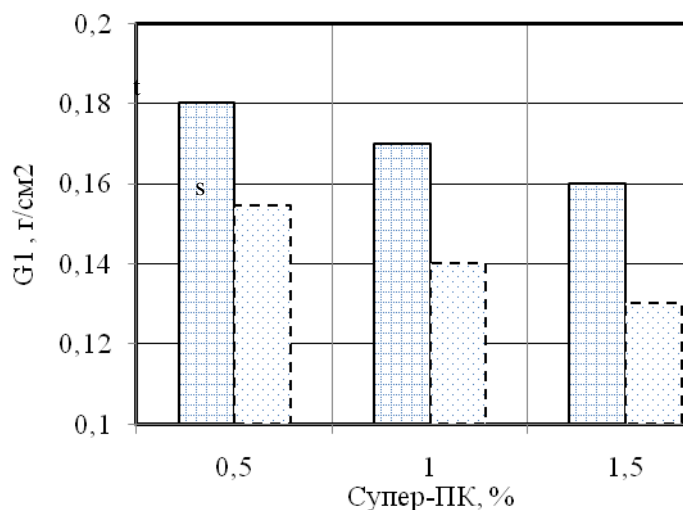


Рис. 4. Влияние количества пластификатора Супер-ПК на истираемость керамзитобетона:

t – традиционная технология; s – раздельная технология

Выводы из исследований и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Механоактивация

вяжущего приводит к повышению прочности бетона в 3-суточном возрасте с 11,4 до 16,2 МПа, т.е. более чем на 40 % по

сравнению с контролем. Введение базальтовой фибры в количестве 1 % от массы механоактивированного вяжущего, в зависимости от состава бетонной смеси, снижает показатель истираемости керамзитобетона в 2-3 раза.

Целью дальнейших исследований является исследование долговечности керамзитобетонов на механоактивированном вяжущем с добавкой базальтовой фибры по критериям морозостойкости, трещиностойкости и т. п.

Список использованных источников

1. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсноармированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции [Текст]: монография / Ф.Н. Рабинович. – М.: АСВ, 2004. – 560 с.
2. Пухаренко, Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук / Ю.В. Пухаренко. – СПб., 2004. – 46 с.
3. Пащенко, А.А. Армирование цементного камня минеральным волокном [Текст] / А.А. Пащенко, В.П. Сербин. – К.: УкрНИИНТИ, 1970. – С. 78-79.
4. Бужевич, Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях [Текст] / Г.А. Бужевич. – М.: Стройиздат, 1976. – 236 с.
5. Иванов, И.А. Технология легких бетонов на искусственных пористых заполнителях [Текст] / И.А. Иванов. – М.: Стройиздат, 1974. – 287 с.
6. Комиссаренко, Б.С. Исследование прочностных и деформативных характеристик керамзитовых гранул в бетоне [Текст] / Б.С. Комиссаренко // Известия вузов. Строительство. – 2013. – № 4. – С. 21-26.
7. Choi Yun Wang, Kim Yong Jic, Shin Hwa Cheol, Moon Han Young An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high – strength lightweight self – compacting concrete [Текст] // Cement And Concrete Research. – 2006. – № 9(36). – P.1595-1602.
8. Барабаш, І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин [Текст]: навч. посібник / І.В. Барабаш. – Одеса: Астропрінт, 2002. – 100 с.
9. Барабаш, И.В. Моделирование механизмов структурообразования механоактивированных грубодисперсных систем [Текст] / И.В. Барабаш // Материалы к 39-му Международному симпозиуму по моделированию и оптимизации композитов. МОК-39. – Одесса, 2000. – С. 75.
10. Орендлихер, Л.П. XXI век – век легких бетонов [Текст] / Л.П. Орендлихер // Актуальные проблемы современного строительства: материалы Всероссийской 31-й научно-техн. конф., Пенза, 25-27 апреля 2001 г. Ч.4. Строительные материалы и изделия. – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2001. – С. 76-77.
11. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст] / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
12. Соломатов, В.И. Физические особенности формирования структуры композиционных строительных материалов [Текст] / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1984. – № 8. – С. 59-64.
13. Ветров, Ю.И. Базальтовые вариации [Текст] / Ю.И. Ветров, А.Г. Новицкий // Капитальное строительство. — 2002. – 145 с.
14. Боровских, И.В. Высокопрочный тонкозернистый базальтобетон [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / Боровских Игорь Викторович. – Казань, 2009. – 24 с.

15. Artemenko, S.E., 2003/Polymer Composite Materials Made from Carbon, Basalt and Glass Fiber. Structure and Properties, Fiber Chemistry 35(3), pp. 226-229.
 16. Дворкин, Л.И. Цементные бетоны с минеральными наполнителями [Текст] / Л.И. Дворкин, В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, С.М. Чудновский. – К.: Будивельник, 1991. – 137 с.
 17. Довжик, В.Г. Технология высокопрочного керамзитобетона [Текст] / В.Г. Довжик, В.А. Дорф, В.П. Петров. – М.: Стройиздат, 1976. – 136 с.
 18. Okamura Hajime, Ouchi Masahiro Self-Compacting Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. – 2003. – vol. 1, №1. – P. 5-15.
-

Щербина Олег Сергійович, аспірант кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Барабаш Іван Васильович, д-р техн. наук, професор кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Ксьоншкевич Любов Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Barabash Ivan Vasilyevich, Dr., Prof., Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Sherbina O.S. Graduate st. Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Ksenshkevich L.N., Cand. Sc., Associate Prof. Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Прийнята 15.02.2016 р.

УДК 621.873

ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ МОСТОВОГО КРАНА ПОВЫШЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ С УЧЕТОМ ВАРИАЦИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Канд. техн. наук А.В. Лобяк, исп. директор ООО «КЭП» Ю.И. Зайцев

ОЦІНКА СЕЙСМОСТІЙКОСТІ МОСТОВОГО КРАНА ПІДВИЩЕНОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ З УРАХУВАННЯМ ВАРІАЦІЙ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Канд. техн. наук А.В. Лобяк, вик. директор ТОВ «КЕП» Ю.І. Зайцев

ASSESSMENT OF SEISMIC RESISTANCE OF BRIDGE CRANE LARGE PAYLOAD TAKING INTO ACCOUNT TO THE VARIATION OF DYNAMIC PARAMETERS

Cand. of techn. sciences A. Lobiak, Ex. Director «CED» Ltd. Y. Zaytsev

Выполнено описание уточненного подхода к оценке сейсмостойкости подъемных сооружений на основе линейно-спектральной теории и метода конечных элементов. Предложенная методика предполагает корректировку исходных поэтажных спектров отклика путем предварительного модального анализа системы. Предложенный подход

продемонстрирован на примере мостового крана повышенной грузоподъемности. Для заданных сейсмических воздействий выполнен анализ динамических параметров, несущей способности и подробного напряженно-деформированного состояния крана.

Ключевые слова: кран, тележка, сейсмостойкость, землетрясение, спектр-отклик, метод конечных элементов.

Виконано опис уточненого підходу до оцінки сейсмостійкості підйомних споруд на основі лінійно-спектральної теорії і методу скінченних елементів. Запропонована методика передбачає коригування вихідних поповерхових спектрів відгуку шляхом попереднього модального аналізу системи. Запропонований підхід продемонстрований на прикладі мостового крана підвищеної вантажопідйомності. Для заданих сейсмічних впливів виконано аналіз динамічних параметрів, несучої здатності і детального напружено-деформованого стану крана.

Ключові слова: кран, візок, сейсмостійкість, землетрус, спектр-відгук, метод скінченних елементів.

Shown improved approach to the assessment of seismic stability of cranes based on the linear-spectral theory and finite element method. The method involves adjusting the original spectra of the response by a prior modal analysis of the system. The proposed approach is demonstrated on the example of a bridge crane is a large lifting capacity. Verification of the seismic stability of the crane in the present work, based on the requirement to preserve the carrying capacity for strength, stability and limit deformation. Another positive result of the evaluation of seismic stability made is the exclusion of the vanishing of the crane, truck or falling loads during an earthquake. To account for the influence of the variability of the dynamic parameters of the spectra have been smoothed, and the major peaks are expanded by analyzing the changes of the natural frequencies of the system when deviations of the original data. For seismic analysis the dynamic characteristics, bearing capacity and detail of stress-strain state of the crane. Evaluation of bearing capacity and operational safety was carried out according to the method of limit states. The allowable stress is determined for each item on the calculated resistance of steel and the coefficient of working conditions.

Keywords: crane, truck, seismic, earthquake, response spectrum, finite element method.

Введение. Обеспечение необходимой степени устойчивости грузоподъемных устройств к землетрясениям является одной из актуальных проблем современного проектирования. Накопленный опыт в этой области свидетельствует о необходимости совершенствования конструкций и методов расчета подъемных сооружений для обеспечения сопротивляемости к заданным сейсмическим воздействиям в пределах допустимого риска.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Действующие в Украине ДБН В.1.1-12:2014 [1] и ГОСТ 30546.1-98 [2] устанавливают требования одновременно для целого ряда

сооружений и представляют только общие положения расчета грузоподъемных кранов. В соответствии с правилами строительства и безопасной эксплуатации НПА ОП 0.00-1.01-07 [3] вводится обязательное требование по сейсмостойкому исполнению конструкции кранов, эксплуатируемых в районах с сейсмикой 7 и более. При этом конкретных рекомендаций по проектированию основной конструкции кранов или элементов сейсмозащиты не приводится.

Анализ последних исследований и публикаций. Для сейсмических расчетов конструкций в настоящее время наиболее широко применяется линейно-спектральная теория сейсмостойкости [4, 5]. В качестве

исходной сейсмологической информации в ней применяются поэтажные спектры отклика, представляющие собой зависимости максимальных значений модулей абсолютных ускорений осциллятора от его круговой частоты и коэффициента диссипации энергии. При этом полученные значения и законы распределения инерционных нагрузок будут зависеть от собственных частот и форм колебания конструкции. Далее эти нагрузки представляются как статические, что определяет линейно-спектральный метод квазистатическим [6].

Определение цели и задачи исследования. Данная статья направлена

на описание уточненного подхода к оценке сейсмостойкости подъемных сооружений на основе линейно-спектральной теории и метода конечных элементов применительно к мостовому крану повышенной грузоподъемности.

Мост рассматриваемого крана в плане представляет собой раму, состоящую из двух главных и концевых балок (рис. 1). Главные балки пролетом 24.5 м имеют коробчатую сварную конструкцию прямоугольной формы, образованную листовой сталью с толщиной поясов 36 мм и 14-20 мм для стенок.

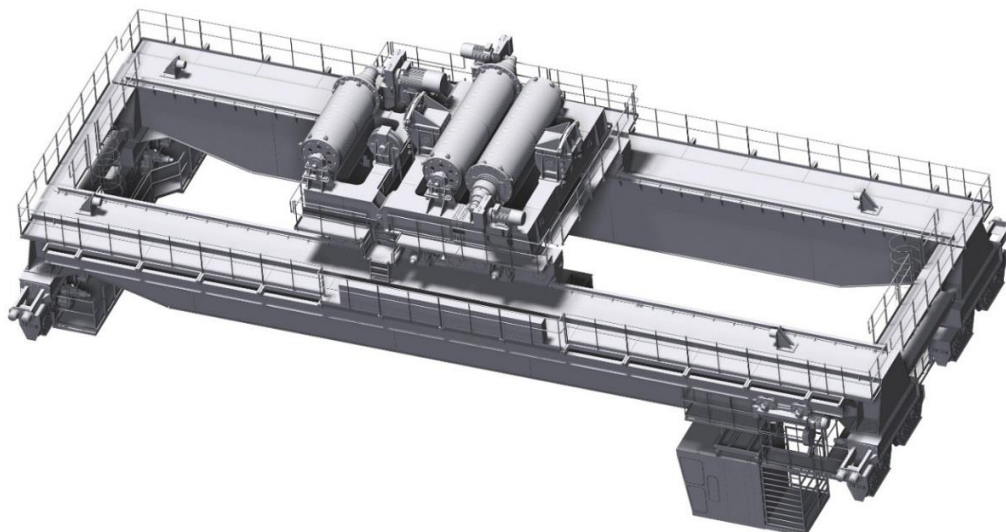


Рис. 1. Мостовой кран грузоподъемностью 500/80 т

Концевые балки также имеют коробчатое сечение с толщиной поясов 40 мм и стенок – 20 мм. Опираие балок выполнено на восемь ходовых колес, соединённых попарно балансирами. Главные и концевые балки соединены на сварке.

Тележка крана выполнена по разрезной схеме с двумя пролетами, объединёнными шарнирно, включает два механизма подъема усилиями 500 т и 80 т, а также механизм передвижения на десяти ходовых колесах (рис. 2).

Проверка сейсмостойкости крана в данной работе выполнена исходя из требований сохранения конструкцией несущей способности по прочности, устойчивости и предельным деформациям. Также положительным результатом оценки сейсмостойкости принято исключение возможности схода крана, грузовой тележки или падения груза при землетрясении. Оценка несущей способности и эксплуатационной безопасности выполнялась по методу предельных состояний.

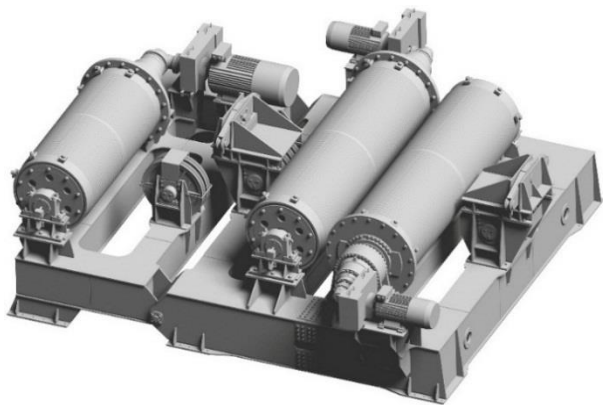


Рис. 2. Грузовая тележка

Основная часть исследования.

Сейсмический расчет мостового крана в предлагаемой постановке можно условно разделить на два этапа:

1) модальный анализ крана по упрощенной расчетной схеме с переменными параметрами и корректировкой исходных поэтажных спектров отклика для учета изменчивости динамических параметров;

2) оценка сейсмостойкости крана по подробной расчетной схеме с откорректированными спектрами отклика, детальным анализом напряженно-деформированного состояния и проверкой возможности схода тележки, крана или падения груза.

На сегодняшний момент при проектировании грузоподъемных сооружений эффективно применение вычислительных комплексов в качестве основного инструмента компьютерного моделирования [7, 8]. Предложенная методика в полной мере реализуется средствами программного комплекса «Лира-САПР» [9]. Обширная библиотека конечных элементов (КЭ), поддержка различных моделей сейсмического воздействия и мощные инструменты анализа обеспечивают необходимую функциональность при численном анализе конструкций мостовых кранов.

На каждом этапе расчета при формировании сочетаний нагрузок принимались вес моста, тележки, груза и оборудования. Динамические нагрузки от работы оборудования, тормозные и боковые усилия при оценке сейсмостойкости не учитывались, так как их совпадение с землетрясением маловероятно. Также принято, что действующая на груз горизонтальная сила инерции не передается далее через подвеску, а вертикальная – принимается равной грузоподъемности крана с понижающим коэффициентом 0.3 [1].

В процессе расчета по упрощенной схеме с переменными параметрами распределения масс (положение грузовой тележки, загрузка основного или второстепенного подъема) определены собственные частоты свободных колебаний в трех взаимных плоскостях, найдены реакции в связях моста и тележки, выполнена оценка сейсмостойкости конструкции в первом приближении.

Построение расчетной схемы выполнено стержневыми КЭ, а опорные устройства моделировались двухузловыми КЭ упругих связей (рис. 3, а).

Для учета влияния изменчивости динамических параметров исходные поэтажные спектры сглаживались (рис. 3, б-г), а основные пики расширялись путем анализа вариаций собственных частот системы при отклонениях исходных данных. При этом полная величина расширения Δf_i для i -й пиковой частоты принимается в зависимости от среднего значения всех собственных частот f_i , расширений в зависимости от положения грузовой тележки Δf_{it} , наличия груза подвески главного Δf_{im} и второстепенного Δf_{is} подъема:

$$\Delta f_i = \sqrt{(0.05f_i)^2 + \Delta f_{it}^2 + \Delta f_{im}^2 + \Delta f_{is}^2}.$$

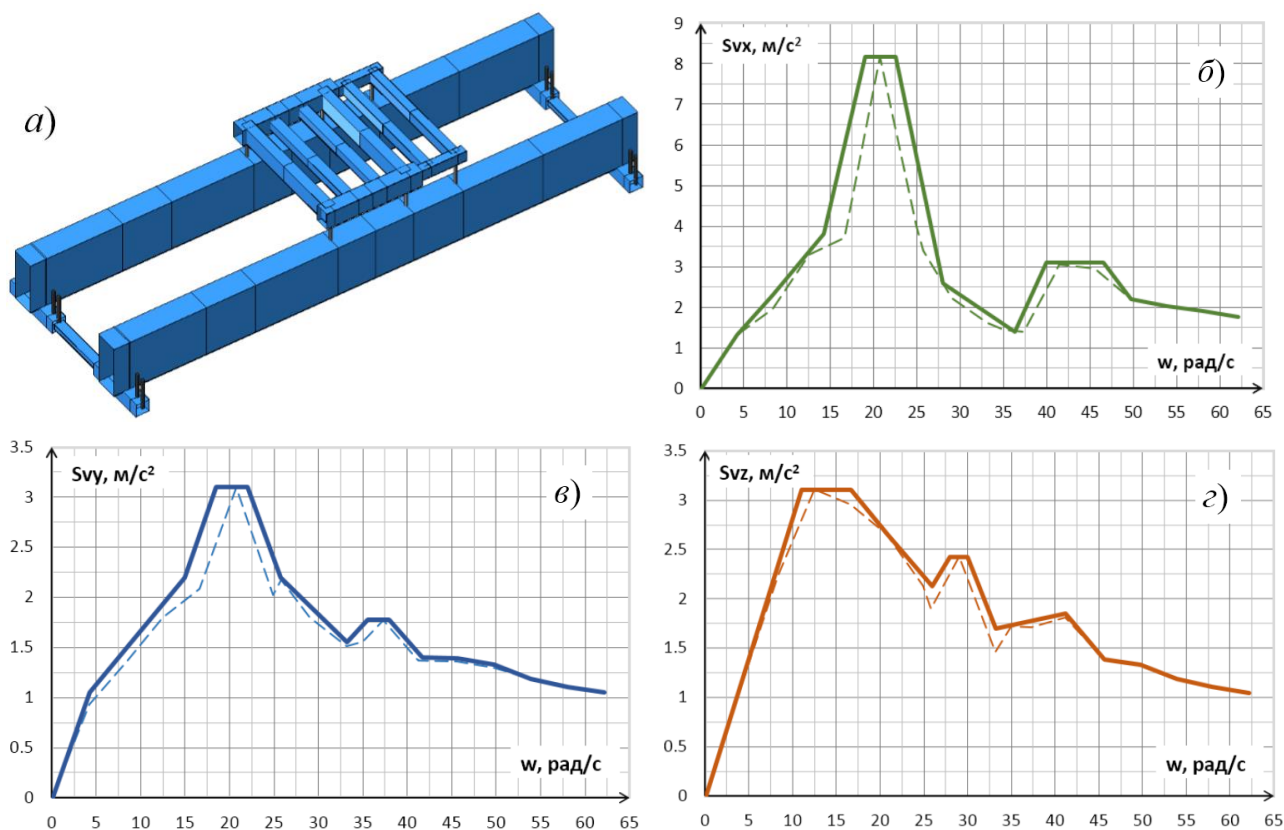


Рис. 3. Расчётная схема и поэтажные спектры отклика:
 а – расчетная модель; б, в, г – спектры отклика по осям x, y и z

Далее по спектрам отклика в зависимости от собственных частот и форм определялись модальные реакции конструкции в виде перемещений и внутренних усилий. Затем вычислялся равнодействующий сейсмический отклик как квадратный корень из суммы квадратов модальных откликов, учитываемых в расчете собственных форм системы. После чего, используя суммарный отклик в соответствующей комбинации с другими расчетными нагрузками, оценивается сейсмостойкость конструкции. Найденные усилия и деформации в элементах конструкции принимались для оценки несущей способности, а направлением опорных реакций проверялась возможность схода тележки и крана.

Расчеты на втором этапе выполнялись с учетом принципиально важных

особенностей конструкций моста и тележки. При этом главные и концевые балки построены при помощи универсальных КЭ оболочки различной формы и жесткости, с учетом особенностей их стыковки и совместной работы (рис. 4).

Рельсовый путь тележки моделировался стержневыми КЭ с вертикальным и горизонтальным (поперек подтележечных путей) опиранием на главные балки посредством упругих связей (рис. 5). Вертикальные связи заданы в каждый узел по длине контакта, горизонтальные поперечные связи установлены только по осям диафрагм и ребер, а в направлении вдоль подтележечных путей работа контакта между рельсом и поясом учтена с проскальзыванием.

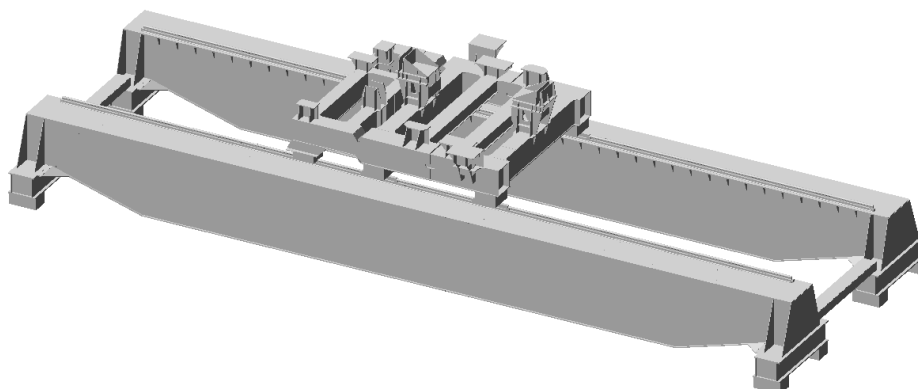


Рис. 4. Общий вид конечно-элементной модели

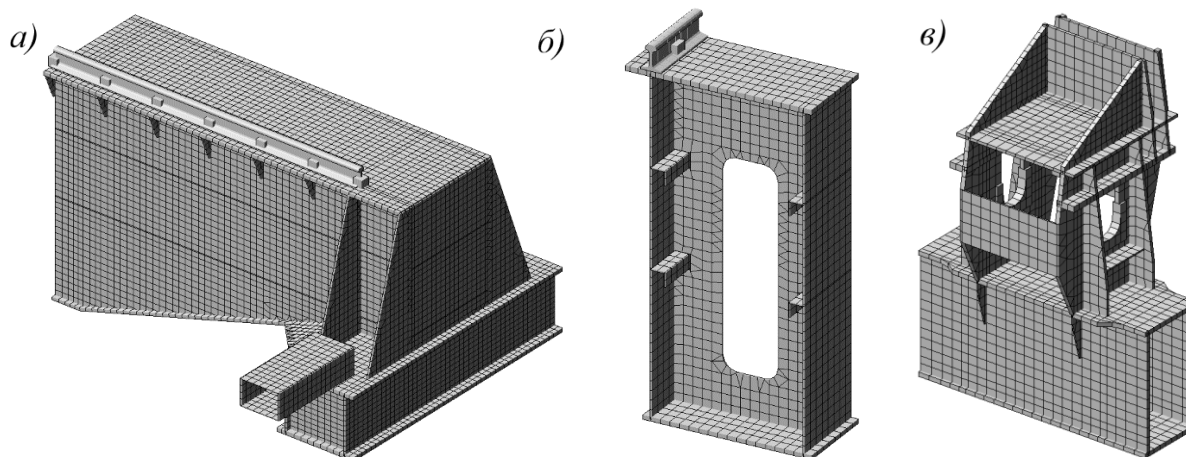


Рис. 5. Отдельные фрагменты конечно-элементной модели:
а – узел стыковки ГБ и КБ моста; б – поперечное сечение ГБ моста;
в – опорный столик блока главного подъема грузовой тележки

Всего при проектировании в расчет принималось три группы сочетаний: эксплуатационные; статические с учетом деформаций перекоса рамы тележки из-за неточностей изготовления; квазистатические с инерционными нагрузками. Из трёх перечисленных в статье рассмотрена только последняя группа сочетаний.

Рассматривается три случая направления сейсмического воздействия и два положения тележки (табл. 1). Направление сеймонагрузок принималось знакопеременным в горизонтальной плоскости (вдоль и поперек подкранового пути) и по вертикали сверху вниз.

Параметры сейсмоздействия задавались откорректированными поэтажными спектрами отклика (рис. 3, б-г).

Отдельной задачей второго этапа было проведение рационализации динамических параметров с целью сокращения машинного времени. Известно, что точность полученного равнодействующего сейсмического отклика системы зависит от количества учитываемых собственных форм системы. В этом смысле всегда приходится решать задачу поиска рационального компромисса между временем расчета и точностью решения. В данной работе реализован

алгоритм постепенного снижения числа учитываемых форм до того момента, пока неучтенные собственные формы не будут увеличивать отклик системы на 10 %. Определив таким образом число собственных форм для одного сочетания нагрузок, в последующих расчетах оно обосновано принималось как рациональное.

Результаты расчета грузовой тележки и моста крана сведены соответственно в табл. 2 и 3. Отдельные результаты также показаны графически на полях напряжений (рис. 6, 7). Допускаемые напряжения определялись по расчетному сопротивлению стали 09Г2С и коэффициенту условий работы.

Таблица 1

Расчетные нагрузки и их сочетания

Описание нагрузки		РСН и тип расчетной схемы						
		a	c	e	g	b	d	f
		Тележка в центре				Тележка у КБ		
Статические нагрузки								
G _{кр}	Расчетный вес крана, 1 449 кН	+	+	+	+	+	+	+
G _т	Расчетный вес тележки, 1102.5 кН	+	+	+	+	+	+	+
G _{г.гп}	Расчетный вес груза ГП, 5500 кН	+	+	+		+	+	+
G _{г.вп}	Расчетный вес груза ВП, 880 кН				+			
Динамические сейсмонагрузки от веса крана и тележки								
D _{г.в.с}	Горизонтальная вдоль крановых путей (тележка в центре моста крана)	+						
D _{г.в.к}	Горизонтальная вдоль крановых путей (тележка вблизи КБ)					+		
D _{г.р.с}	Горизонтальная поперек крановых путей (тележка в центре моста крана)		+					
D _{г.р.к}	Горизонтальная поперек крановых путей (тележка вблизи КБ)						+	
D _{в.р.с}	Вертикальная (тележка в центре)			+	+			
D _{в.р.к}	Вертикальная (тележка вблизи КБ)							+
Динамические сейсмонагрузки от веса груза								
D _{в.г.гп}	Вертикальная от груза ГП			+				+
D _{в.г.вп}	Вертикальная от груза ВП				+			

Таблица 2

Результаты расчета тележки в зависимости от РСН

Эл-т конструкции	a	c	e	g	b	d	f
Напряжения, МПа (эквивалентные/касательные)							
Продольные балки	110/38.5	113/39.7	116/40.5	120/45.6	109/38.2	111/39	113/39.5
Поперечные балки	155/66.8	153/65.1	165/68.6	107/43	153/65.4	151/62.1	160/67.6
Опорные столики	179/44.4	164/45.5	172/36.1	97/28	175/44.3	163/43.4	183/45.6
Вертикальные деформации, мм							
Продольные балки	0.82	0.84	0.96	0.62	0.81	0.83	0.96
Поперечные балки	3.45	3.5	3.6	1.7	3.5	3.2	3.7

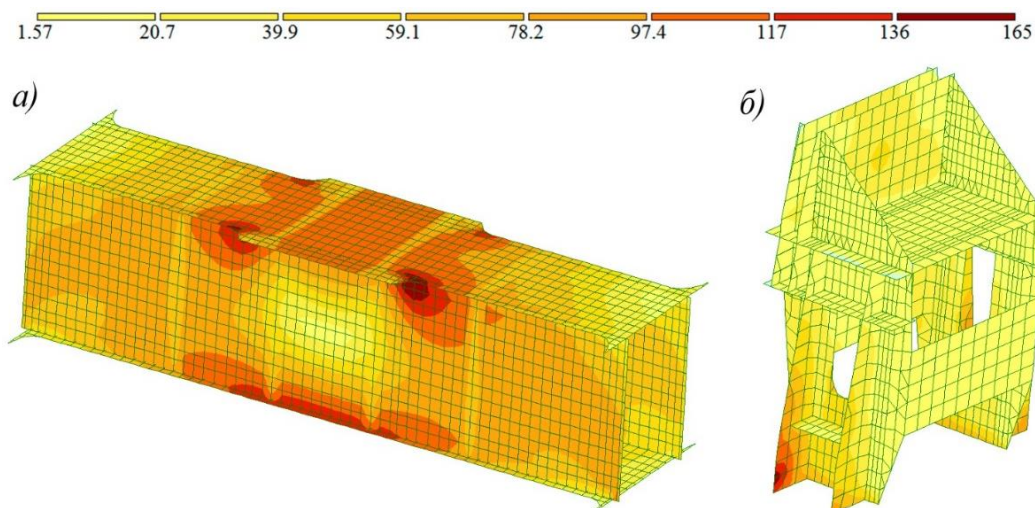


Рис. 6. Эквивалентные напряжения в элементах тележки, МПа (сочетание «е»):
 а – поперечная балка; б – опорный столик блока главного подъема

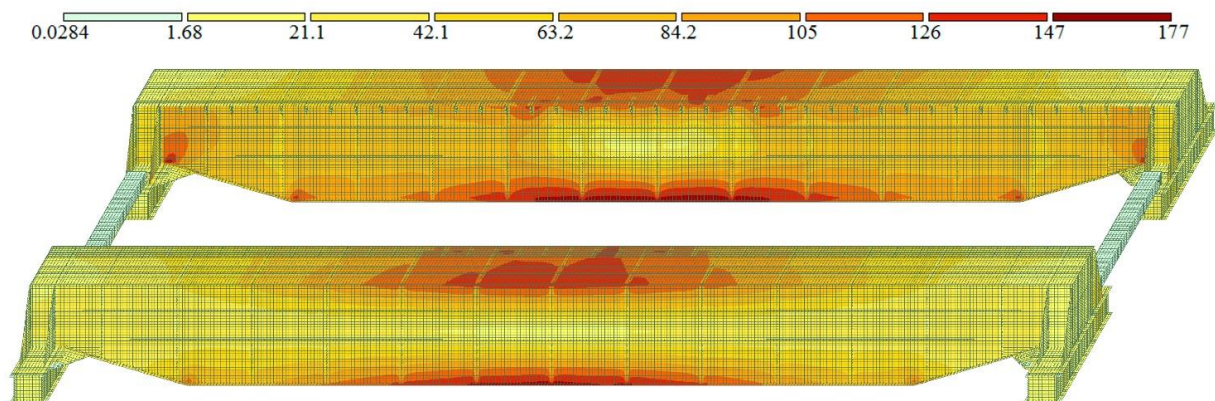


Рис. 7. Эквивалентные напряжения моста крана, МПа (сочетание «а»)

Анализ данных показывает:

1. Из элементов тележки максимальные эквивалентные напряжения (до 165 МПа) возникают в поясах поперечных балок под блоками главного подъема и в ребрах соответствующих опорных столиков (рис. 6).

2. В целом прочность элементов металлоконструкции тележки обеспечивается с коэффициентами запаса 1.08 (показатель прочности 92 %).

3. В поясах главных балок моста крана (рис. 7) прочность обеспечивается с коэффициентом запаса 1.05 (показатель прочности 95 %), в стенках главных балок

коэффициент запаса не менее 1.03 (показатель прочности 96 %).

4. В концевых балках моста напряжения не превышают 132 МПа (рис. 8, а), что соответствует коэффициенту запаса 1.37 (показатель прочности 72 %).

5. Из элементов моста крана максимальные эквивалентные напряжения (до 192 МПа) возникают в окрестности стыковки стенок главных балок с концевыми балками при сочетаниях нагрузок, соответствующих положению тележки в крайнем эксплуатационном положении (рис. 8, б).

6. Прогибы поперечных балок тележки не превышают допускаемых значений из условия нормальной эксплуатации, вертикальные деформации не превышают 3.7 мм, что составляет 85 % исчерпания жесткости.

7. Прогибы моста крана также не превышают предельных значений, вертикальные деформации составляют 72 % исчерпания жесткости.

Таблица 3

Результаты расчета моста крана в зависимости от РСН

Эл-т конструкции	a	c	e	g	b	d	f
Напряжения, МПа (эквивалентные/касательные)							
Продольные балки	177/61	150/71	158/71	65.8/30	179/101	191/106	192/106
Концевые балки	122/64	90.2/39	92/39.2	38/15.3	128/66	132/56	124/51
Соединительные элементы КБ	22.5/5.6	3.2/0.9	2.4/0.7	2.8/1.1	12.6/3.2	6.1/1.7	5.6/1.7
Вертикальные деформации, мм							
Продольные балки	34.7	33.6	37.3	15.1	18.2	16.9	18.6
Горизонтальные деформации, мм							
Продольные балки	13.6	5.2	5.2	1.74	6.3	3.7	3.6

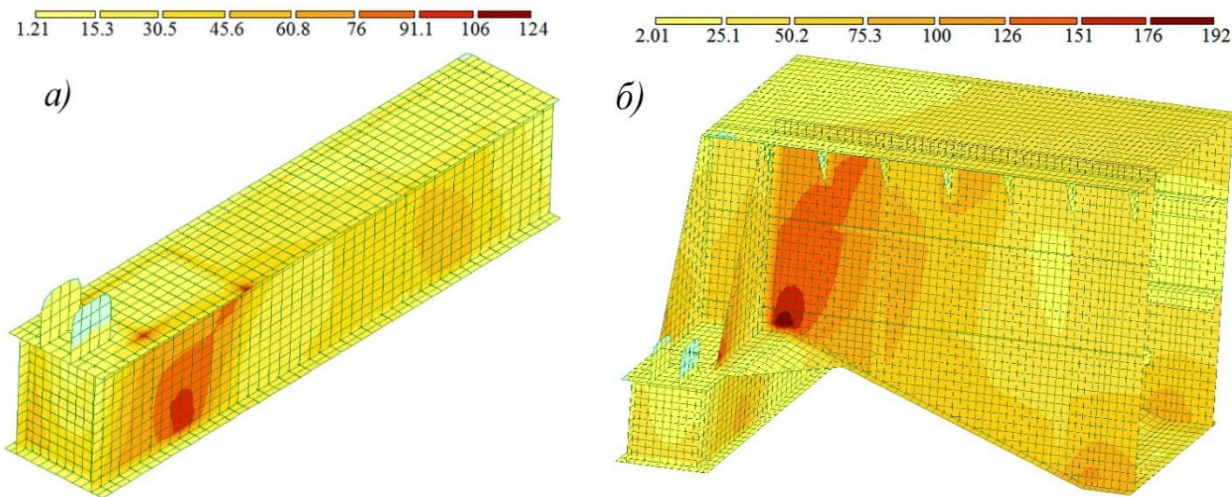


Рис. 8. Эквивалентные напряжения в элементах моста, МПа (сочетание «f»):
a – поперечная балка; *б* – опорный столик блока главного подъема

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

1. Предложен подход к оценке сейсмостойкости мостовых двухбалочных кранов повышенной грузоподъемности,

предполагающий применение двух расчетных схем и корректировку исходных поэтажных спектров отклика путем модального анализа крана с переменными условиями распределения масс.

2. Рассмотрен пример расчета мостового крана грузоподъемностью 500/80 т и обоснован ряд рекомендаций по моделированию его конструкции и исследованию его динамических параметров.

3. По предложенной методике определено напряженно-деформированное состояние элементов конструкции крана, выполнена оценка его эксплуатационной безопасности по методу предельных состояний.

Список использованных источников

1. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України [Текст]: чинний з 01.10.2014. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 110 с.
2. ГОСТ 30546.1-98. Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости [Текст]. – Действующий с 23.05.1998. Межгосударственный стандарт. – Минск: МССМС, 1998. – 58 с.
3. Правила будови та безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів [Текст]: НПАОП 0.00-1.01-07: Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду: чинний з 01.09.2007, 2007. – 261 с.
4. Бирбраер, А.Н. Расчет конструкции на сейсмостойкость [Текст] / А.Н. Бирбраер. – СПб.: Изд-во «Наука», 1998. – 255 с.
5. Panasenko N. The Calculated Justification of Seismic Stability of Load-Lifting Cranes [Текст] / N. Panasenko, A. Sinelshchikov, V. Rabey. – WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics, ISSN: 2224-3429, Vol. 9, 2014, pp. 104-123.
6. Бирбраер, А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения [Текст] / А.Н. Бирбраер, А.Ю. Роleder. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 594 с.
7. Alkin C. Solid Modeling and Finite Element Analysis of an Overhead Crane Bridge [Текст] / C. Alkin, C. E. Imrak, H. Kocabas. – Acta Polytechnica, ISSN: 1805-2363, Vol. 45 No. 3, 2005, pp. 61-67.
8. Pinca C. Application of finite element method to an overhead crane bridge [Текст] / Camelia Bretotean Pinca, Gelu Ovidiu Tirian, Ana Josan. – WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics, ISSN: 1991-8747, Vol. 4, 2009, pp. 64-73.
9. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Изд-во «Факт», 2007. – 394 с.

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

Лобяк Олексій Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної механіки та гідравлики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-70.

E-mail: Lobiak@ukr.net.

Зайцев Юрій Іванович, виконавчий директор ТОВ "Крановий електропривод". Тел.: (057) 751-67-03.

E-mail: zaycevy.krel@ukr.net. Офіційний сайт: <http://www.kep.kh.ua>.

Lobiak Alexey, Ph. D., Department of structural mechanics and hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-70. E-mail: Lobiak@ukr.net.

Zaytsev Yury, Executive Director of "Electric Crane" Ltd. Tel.: (057) 751-67-03.

E-mail: zaycevy.krel@ukr.net. Official website: <http://www.kep.kh.ua>.

Прийнята 20.02.2016 р.

УДК 666.972.16

ВЛИЯНИЕ МИКРОНАПОЛНИТЕЛЕЙ НА УСАДОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РАСТВОРОВ ДЛЯ НАЛИВНЫХ ПОЛОВ

Канд. техн. наук И.Э. Казимагомедов, асп. С.Ю. Шептун

ВПЛИВ МІКРОНАПОВНЮВАЧІВ НА УСАДОЧНІ ДЕФОРМАЦІЇ РОЗЧИНІВ ДЛЯ НАЛИВНИХ ПІДЛОГ

Канд. техн. наук І.Е. Казімагомедов, асп. С.Ю. Шептун

MICROFILLERS INFLUENCE ON SHRINKAGE DEFORMATION OF SELF-LEVELING FLOORS

Cand. of Engineering Sciences I. Kazimagomedov, Postgraduate S.Y. Sheptun

Исследовано влияние использования шлама от мокрых газоочисток производства ферросилиция, керамзитовой пыли и шлама водоумягчения Харьковской ТЭЦ-5 на усадочные деформации раствора для наливных полов. В статье предоставлены результаты исследований, проведенных на образцах – балочках размерами 40x40x160 мм. Предложен оптимальный состав сухой строительной смеси с применением отходов производства.

Ключевые слова: сухая строительная смесь, наливной пол, микронаполнитель, шлам, керамзитовая пыль, усадка, отходы производства.

Досліджено вплив використання шламу від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію, керамзитового пилу і шламу водопом'якшення Харківської ТЕЦ-5 на усадочні деформації розчину для наливних підлог. У статті надані результати досліджень, що проводились на зразках-балочках розміром 40x40x160 мм. Запропоновано оптимальний склад сухої будівельної суміші із застосуванням відходів виробництва.

Ключові слова: суха будівельна суміш, наливна підлога, мікронаповнювач, шлам, керамзитовий пил, усадка, відходи виробництва.

We Studied the effect of the use sludge from wet gas cleaning ferrosilicon production, expanded clay dust and sludge water softening Kharkov CHP – 5 on shrinkage deformation solution for self-leveling floors. Using the sludge from wet gas cleaning ferrosilicon production promotes formation of a dense material structure in dry mortar, whereby in addition to increasing the strength characteristics of reduced permeability, increased frost resistance, abrasion resistance and erosion, as well as stability of the material to different types of corrosion, which ultimately determines its durability. Adding mineral modifier sludge water softening Kharkov CHP - 5 increases the porosity of the stone, with a decrease in the size of the capillary pores and increase their homogeneity. As a result, facilitate the binding stone reduced the probability failure of layers based on them under its own weight, which is important in finishing, as well as improved thermal and acoustic performance. Addition of expanded clay dust to the dry mix mortar increases the plasticity of the mix facilitates the spray mixture on the coated surface and solves the problem of disposal waste. Proposed an optimal composition of the dry mortar with production waste.

Keywords: dry mortar, self-leveling floor, shrinkage, waste production.

Введение. В сложившейся экономической ситуации в нашей стране потребители все больше задумываются над оптимизацией своих затрат при проведении строительных и ремонтных работ. Устройство наливных полов может быть одним из направлений возможной экономии. Поскольку их доля в общей сметной стоимости достаточно высока, в качестве одного из способов экономии может быть устройство самовыравнивающихся наливных полов.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. После укладки раствора наливного пола при его твердении на поверхности могут появляться нежелательные усадочные явления, которые могут привести к разрушению покрытия, потере его целостности и гладкости поверхности, понижению прочностных характеристик. Использование шлама от мокрых газоочисток производства ферросилиция, керамзитовой пыли и шлама водоумягчения ТЭЦ может помочь решить вышеуказанные проблемы и одновременно повысить экологическую эффективность промышленных предприятий.

Обзор последних источников исследований и публикаций. Условия твердения и эксплуатации таких тонкослойных цементных покрытий, как наливные полы, определяют образование в них усадки, что может вызывать растрескивание материала.

Для понижения усадочных деформаций можно сокращать расход цемента, одновременно повышая количество заполнителей в бетоне, уменьшать водоцементное отношение, использовать цемент с пониженным содержанием C_3A и C_3S [1].

Согласно работе [2], зола уноса может существенно уменьшить аутогенную усадку в раннем возрасте бетона. Влияние минеральных наполнителей связано с их количеством и тонкостью помола. Авторы

[3] считают, что если удельная поверхность летучей золы превышает $4000 \text{ см}^2/\text{г}$, аутогенная усадка будет возрастать с увеличением количества добавки. Смесь летучей золы и шлака значительно уменьшает аутогенную усадку и ползучесть цементного камня.

Автор [4] предлагает для уменьшения усадки добавлять поликарбоксилаты. Благодаря их применению усадка уменьшилась на 10-15 %. В работе [5] для снижения усадки рекомендуется применять вместе с противоусадочной добавкой расширяющий компонент. В то же время автором отмечается, что совместное введение в цементную смесь двух и более добавок может как усилить, так и ослабить их индивидуальное влияние на усадку.

Авторы [3,6] предлагают использовать для противодействия усадки противоусадочные добавки Estrifan Additive RCL и Denka CSA 20 соответственно. В своих исследованиях они выявили, что эти добавки эффективно противодействуют усадочным деформациям цементного раствора при дозировке не более 2 %. Повышение дозировки добавок более 2 % приводит к увеличению размеров образцов в начальный период твердения, а в более поздние сроки – значительному повышению усадочных деформаций. Также установлено, что повышенное содержание противоусадочных добавок может вызвать понижение прочности затвердевшего цементного камня.

Авторами [7,8] предлагается использование металлической фибры в качестве дополнительного армирования. Так, наиболее эффективными параметрами армирующего компонента в ранние сроки твердения являются $l = 5 \text{ мм}$, $d = 20 \text{ мкм}$, $\mu = 0,4 \%$, позволяющие снизить деформативные свойства на 15-25 % и увеличить прочностные показатели на 30-40 %, и соответственно в возрасте 28 суток: $l = 12 \text{ мм}$, $d = 20 \text{ мкм}$, $\mu = 0,4\%$.

По [9] многие добавки, модифицирующие свойства твердеющего

цементного камня, например, замедлители схватывания, разжижители, оказывают на цементный камень побочные отрицательные действия. Замедлители схватывания могут не только интенсифицировать, но и инициировать возникновение усадочных трещин, причем это влияние выражено тем сильнее, чем больше интервал времени между началом и концом схватывания. Отмечается, что такие замедлители схватывания, как сахароза и гидроксикарбоновые кислоты, в меньшей степени замедляющие начало, чем конец схватывания, оказываются, с точки зрения возникновения трещин, более опасными, чем, например фосфаты, замедляющие в равной степени начало и конец схватывания. Разжижители раствора в зависимости от его консистенции действуют различно. Для цементного раствора с высокой величиной В/Ц, которые сами по себе склонны к образованию трещин, введение разжижителей может уменьшать склонность, а для растворов со средней величиной В/Ц, которые при твердении обычно не образуют трещин, опасность их появления может увеличиваться. Склонность цементного камня к образованию трещин при твердении уменьшается при введении в состав бетона добавок жирных спиртов. Введение указанных добавок в раствор с высокой величиной В/Ц делает его таким же стойким к образованию трещин, как и цементный камень со средней величиной В/Ц.

Для предотвращения появления усадочных трещин в наливном покрытии устраивают комплексные усадочные швы. Наилучшие результаты достигаются при нарезании швов в свежеложенной смеси с помощью специального резчика.

В ходе изучения литературы была выявлена нехватка исследований по изучению влияния отходов металлургического производства на свойства сухих строительных смесей, в особенности

шламов от мокрых газоочисток производства ферросилиция. До начала этого века данный вид отходов считался непригодным к применению в цементных растворах. Поэтому более детальное изучение влияния шлама на цементный раствор является актуальным.

Определение цели и задачи исследования. Целью нашего исследования является уменьшение усадочных деформаций раствора сухой строительной смеси за счет использования отходов промышленности. Одновременно ставится задача понизить себестоимость производства сухой строительной смеси и утилизировать большие залежи промышленных отходов.

Основная часть исследования. Использование отходов производств должно не только удешевить себестоимость смесей, но и способствовать решению экологических проблем. Применение отходов будет способствовать повышению экономической и экологической эффективности как металлургического производства, так и строительства.

Шлам мокрой газоочистки Стахановского завода образуется при выплавке ферросилиция, во время очистки исходящего ферросплавного газа от пыли по технологии мокрой газоочистки. На протяжении многих лет складирования он, под воздействием атмосферных явлений, превратился в цельную глыбу. Поэтому его необходимо перед использованием измельчить. Измельчение шлама проводится на дезинтеграторе после предварительной его сушки в электрическом сушильном шкафу. В результате измельчения был получен микронаполнитель со средней плотностью $180-250 \text{ кг/м}^3$ и удельной поверхностью $15000-25000 \text{ см}^2/\text{г}$ [10]. Химический состав шлама от мокрых газоочисток производства ферросилиция представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав шлама

Шлам	Содержание компонентов, %										
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO	P ₂ O ₅	MnO	п. п. п.
Более 20-летней давности после производства	81,3	3,6	3,5	1,2	1,0	0,9	0,65	0,1	0,03	0,01	7,71

Керамзитовая пыль, образующаяся при обжиге керамзитового гравия, также является отходом производства. Она представляет собой мелкодисперсный коричневого цвета кремнеземсодержащий

материал, обладающий свойствами активных минеральных добавок, плотностью 600-700 кг/м³ и удельной поверхностью 2500-4000 см²/г. Химический состав керамзитовой пыли представлен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав керамзитовой пыли

Материал	Содержание компонентов, %											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	п. п. п.
Керамзитовая пыль	61,65	16,2	7,8	1,76	3,11	2,46	1,19	1,16	0,94	0,31	0,28	3,14

Минеральный модификатор в виде шлама водоумягчения Харьковской ТЭЦ-5 является высокодисперсным материалом с удельной поверхностью более 2870 см²/г. Химический состав шлама водоумягчения ТЭЦ-5 следующий: CaCO₃ – 58,2 %, порландита – 33,4 %, остальное – примеси. Введение шлама водоумягчения в раствор сухой строительной смеси позволяет повысить эффективность работы

пластификатора, модифицированной целлюлозы и редиспергируемого сополимерного порошка.

Составы сухих строительных смесей, по которым осуществлялась оценка влияния на усадку твердеющего раствора сочетаний шлама от мокрых газоочисток производства ферросилиция, керамзитовой пыли и шлама водоумягчения Харьковской ТЭЦ-5, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Состав разработанных смесей

Материал	Номер состава					
	Контр.	Контр.2	1	2	3	4
Цемент Пц-500, мас. ч.	33					
Песок, мас. ч.	65,0					
Добавки, мас. ч.	2					
Шлам 25 лет, в процентах от цемента	-	15	15	15	15	15
Керамзит, в процентах от цемента	-	-	-	-	5	10
Шлам ТЭЦ-5, в процентах от цемента	-	-	5	10	-	-
Вода, В/Ц	0,5		0,6			

Испытание на усадку проводились в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-126:2011 “Суміші будівельні сухі модифіковані” и ДСТУ Б В.2.7-216:2009

“Методи визначення деформацій усадки та повзучості”. Результаты испытания представлены в табл. 4.

Таблица 4

Усадка испытуемых составов

Возраст образцов	Номер состава					
	Контр.	Контр.2	1	2	3	4
	Усадка, мм					
Начало измерений	0	0	0	0	0	0
1-е сутки	0,096	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
3-и сутки	0,336	0,240	0,288	0,336	0,192	0,192
7-е сутки	0,721	0,577	0,673	0,721	0,529	0,529
14-е сутки	1,155	1,058	1,082	1,106	0,914	0,866
28-е сутки	1,443	1,251	1,274	1,299	1,058	1,010
45-е сутки	1,588	1,347	1,383	1,417	1,203	1,155
60-е сутки	1,684	1,443	1,487	1,494	1,299	1,251
75-е сутки	1,732	1,491	1,533	1,558	1,347	1,299
90-е сутки	1,780	1,54	1,581	1,597	1,395	1,347
105-е сутки	1,828	1,588	1,636	1,653	1,443	1,395
120-е сутки	1,876	1,636	1,683	1,695	1,491	1,443

Из таблицы видно, что наименьше усадочные деформации проявляют себя в составах с добавлением шлама от ферросплавной промышленности и керамзитовой пыли. В то же время добавление к шламу ферросплавной промышленности шлама водоумягчения Харьковской ТЭЦ-5 привело к повышению усадки по сравнению с образцом с добавлением только шлама от ферросплавной промышленности. Причины этого явления требуют дальнейших исследований.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Применение в составах сухих строительных смесей

шламов и керамзитовой пыли позволяет уменьшить расход цемента и уменьшить негативное воздействие промышленности на окружающую среду. Благодаря своей микроструктуре они плотно упаковывают пространство между более крупными частицами цемента и песка, что уменьшает количество пустот, в которых может находиться вода. Таким образом, при испарении воды меньше образуется пустот, в которые проседает незатвердевший раствор. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку оптимальной технологической схемы для производства сухих строительных смесей с добавлением отходов производств.

Список использованных источников

1. Тейлор, Х. Химия цемента [Текст]: пер. с англ. / Х. Тейлор. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
2. Usharov-Marshak A.V., Sopov V.P., Kurdowski W. Studies of capillary porosity of clinker phases during hydration // J. of Therm. Analysis and Calorimetry, 1999, Vol. 55. – pp. 1031-1037.

3. Барабанщиков, Ю.Г. О влиянии суперпластификатора на эффективность противосадочной добавки [Текст] / Ю.Г. Барабанщиков, А.А. Архаров, М.В. Терновский. – СПб.: СПбПУ, Magazine of Civil Engineering, 2014. – № 7. – С. 23-30.
4. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны [Текст] / В.Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
5. Corcella, C.M. Parameters influencing the performance of shrinkage-compensating concrete [Text]/ C.M. Corcella, C. Cereda, S. Tavano [et. al.] // American Concrete Institute, ACI Special Publication, 2012. – №289.
6. Ушеров-Маршак, А.В. Калориметрический анализ взаимодействия в дисперсных системах на примере вяжущих веществ [Текст] / А.В. Ушеров-Маршак, В.П. Сопов // Неорганические материалы. – 1996. – Т. 32, №2. – С. 249-253.
7. Саламаха, Л.В. Сухі будівельні суміші з базальтовими волокнами для влаштування елементів підлоги [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.05 “Будівельні матеріали і вироби”/ Л.В. Саламаха; Держ. вищ. навч. закл. “Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт.”. – Вінниця, 2011. – 19 с.
8. Деревянко, В.Н. Дисперсно армированные промышленные полы [Текст] / В.Н. Деревянко, Л.В. Скидан // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2007. – Вип. 27. – С. 142-145.
9. Features of early hydration and formation of cements structure with additives / A. Usherov-Marshak, V. Sopov, I. Zaluzkaya, L. Reshetnik // Chemine technologija, Kaunas. – 2004. – Nr. 3(33). – S. 66-70.
10. Казимагомедов, И.Э. Сухие строительные смеси, наполненные шламами мокрых газоочисток производства ферросилиция [Текст] / И.Э. Казимагомедов, С.Ю. Шептун // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: материалы IX Международной конференции молодых учёных. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 176 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор А.Г. Вандоловский

Шептун Сергій Юрійович, аспірант кафедри будівельних матеріалів та виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. 94-38-32. E-mail: zoooms@ukr.net.
Казімагомедов Ібрагім Емірчубанович, канд. техн. наук, кафедра будівельних матеріалів та виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. 706-20-73.

Sheptun Sergey Yurievich, Postgraduate at the Department of building materials and products Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel. 94-38-32. E-mail: zoooms@ukr.net.
Kazimagomedov Ibrahim, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of building materials and products Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Tel. 706-20-73.

Прийнята 21.02.2016 р.

УДК 624.012.25

ОЦІНКА НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗІВ НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Д-р техн. наук В.М. Карпюк, канд. техн. наук О.М. Крантовська,
асп. О.М. Коцюрубенко

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д-р техн. наук В.М. Карпюк, канд. техн. наук Е.Н. Крантовская,
асп. О.Н. Коцюрубенко

STRENGTH ESTIMATE OF INCLINED SECTIONS OF CONTINUOUS RC BEAMS

Doct. of techn. sciences V. Karpiuk, Cand. of techn. sciences O. Krantovska,
PhD Student O. Kotsiurubenko

Розглянуто принципи розрахунку залізобетонних балок на дію зосередженої поперечної сили за нормативними методиками, що закладені у чинні вітчизняні, міжнародні та деякі закордонні нормативні документи. Виконано аналіз розрахункових моделей на основі порівняння результатів розрахунку за нормативними методиками з результатами натурних експериментів, виконаних в лабораторії Одеської державної академії будівництва та архітектури (ОДАБА).

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

Рассмотрены принципы расчета железобетонных балок на действие сосредоточенной поперечной силы по нормативным методикам, заложенным в действующие отечественные, международные и некоторые иностранные нормативные документы. Выполнен анализ расчётных моделей на основе сравнения результатов расчета по нормативным методикам с результатами натурных экспериментов, выполненных в лаборатории Одесской государственной академии строительства и архитектуры (ОГАСА).

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

The principles of calculation of reinforced concrete beams subjected to shear according the methods laid down in the existing ДСТУ Б В.2.6-156:2010, СНБ 5.03.01-2002, СНуП 52-01-2003, Eurocode 2 EN 1992-1-1:2004, ACI 318-2014, and СНуП 2.03.01-84 are considered. The analysis of computational models is done based on comparing the results of the calculation by the codes with the test data fulfilled in the laboratory of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (OGASA). The continuous two-span beams were used as study reinforced concrete elements with five studied factors: the shear span to depth ratio, concrete strength, transverse reinforcement, longitudinal upper and lower reinforcement.*

Comparison of test results with the results of calculations showed their unsatisfactory convergence: the coefficient of variation v is 43 ... 97%. It was revealed with the help of calculations result and test data that the method of inclined sections reflects the physical work of the reinforced concrete element better comparing with the method of analogous truss. Results are

presented in diagrams which show the dependency of bearing capacity of inclined section due to five studied factors.

Theoretical studies of estimation the bearing capacity of continuous reinforced concrete elements completed at this stage did not conclusively assert the computation formulas recommended by the modern design methods of reinforced concrete structures as congruent and require further developments in this direction.

Keywords: reinforced concrete members; bearing capacity; strength; experiment; calculation methods; building codes.

Вступ. Як відомо, проблема забезпечення міцності похилих перерізів прогінних залізобетонних конструкцій впродовж тривалого часу залишалася поза увагою дослідників серед інших проблем проектування та розрахунку залізобетонних конструкцій, на відміну від, наприклад, дослідження міцності нормальних перерізів. Так, метод похилих перерізів з часу своєї появи вдосконалювався переважно введенням емпіричних і напівемпіричних коефіцієнтів, а модель фермової аналогії, що використовується у багатьох національних і міжнародних нормах, має обмежені напрямки розвитку. На сьогодні склалася ситуація, коли нормативні методи не задовольняють сучасним вимогам, а нові методи розрахунку ще не досягли свого рівня розвитку для впровадження їх як нормативних.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Теорію представлення прогінного залізобетонного елемента, що зазнає дії поперечної сили, як фермової аналогії, розробляли E. Mörsch, W. Ritter, P.E. Regan, F. Leonhardt, T.C. Zsutti. Однак, як показують останні дослідження, модель фермової аналогії, що використовується для розрахунку міцності похилих перерізів у міжнародних нормах, потребує удосконалення, але, в той же час, має обмежені інструменти для цього. Проблема насамперед полягає у врахуванні дійсної роботи бетону у повній мірі, врахуванні поздовжнього армування тощо. Імплементация Єврокодів та введення в дію

на їх основі нових національних норм на проектування дозволило ввести останні дослідження, а саме деформаційний метод розрахунку, у нормативні аналітичні моделі. Деформаційний метод розрахунку висвітлюють у своїх працях О.М. Голишев, А.М. Бамбура, О.І. Давиденко.

Вдосконалення нормативних методів проектування у галузі залізобетонних конструкцій, особливо із впровадженням деформаційного методу розрахунку, передбачає активні наукові пошуки для запобігання перевитратам матеріалів разом із забезпеченням необхідного рівня надійності, закладеного у нормативні документи. Це можливо реалізувати шляхом аналізу розрахункових формул, що закладені у різні національні нормативні документи, і зіставленням результатів розрахунку із експериментальними даними для виявлення шляхів подальшого удосконалення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню міцності похилих перерізів залізобетонних елементів присвячені роботи сучасних вчених О.С. Залесова, I. Ramirez, I. Breen, О.Б. Голишева, А.М. Бамбури, В.М. Карпюка, В.В. Тура, Т.М. Пецольда, М.Б. Карпенка Б.Г. Демчини, Л.О. Дорошкевича. Втім, питання напружено-деформованого стану похилих перерізів нерозрізних залізобетонних елементів залишається нерозкритим.

Мета дослідження. Проаналізувати нормативні методи розрахунку міцності похилих перерізів нерозрізних залізобетонних елементів, порівняти результати із експериментальними даними та дослідити їхню збіжність.

Основна частина дослідження.

Розглянемо методи розрахунку залізобетонних балок на дію поперечних сил, наведених у деяких сучасних нормативних документах [1, 2, 3, 4, 5].

У нині діючих українських [1], гармонізованих білоруських [3], міжнародних європейських [2] і американських [5] нормах розрахунків елементів на дію поперечної сили ґрунтується на «фермовій моделі», яка складається з розтягнутих і стиснутих стержньових елементів. Втім, застосування фермової аналогії у нормативних документах різних країн має свої особливості [6]. Наприклад, як зазначається у [7], при всій подібності використовуваних методів існують істотні відмінності між положеннями ДБН та відповідного Eurocode 2, на які слід звертати увагу при порівнянні результатів розрахунків за цими нормами між собою.

Проаналізуємо деякі особливості цих методів на прикладі розрахунку несучої здатності похилих перерізів на дію поперечної сили дослідних зразків балок, поданих в роботах [8, 9]. Для наочного зображення порівняння методів вказаних нормативних документів було прораховано 27 дослідних зразків балок, кожна з яких являє собою нерозрізну залізобетонну балку прямокутного профілю на дію поперечної сили.

Дослідні зразки нерозрізних двопрогінних балок в V серії [9] були запроєктовані шириною $b=100$ мм і висотою $D=180$ мм. Робоча висота перерізу прийнята сталою $d=155$ мм. Величина прогонів балок становить $8 \cdot d + 8 \cdot d = 1240 + 1240$ мм. Балки заармовані двома плоскими каркасами. Армування нижня і верхня прийняті 2Ø10, 12, 14 класу А500С; поперечна в прогонах зрізу, на ділянках біля середньої опори, – 2Ø3, 4, 5 ВрІ, на інших ділянках – 2Ø6А240С. Елементи були виконані з бетону класу С12/15, 20/25, 30/35. Довжина прогонів зрізу варіюється: 1d, 2d, 3d. Детальний опис методики виконання експериментального

дослідження даної серії і використаних установок й обладнання наведені у роботах [8, 9].

Основною відмінністю методики у європейських нормах [2] від інших методик, розглянутих у даній статті, є визначення несучої здатності перерізу, а саме, між собою порівнюються опори поперечної сили у поперечній арматурі $V_{Rd,s}$ і у бетонному підкосі $V_{Rd,max}$; за основу приймається менше із значень. Дані величини зазначеної методики для розглянутих елементів, при дослідженні залежності міцності від відносного прольоту зрізу, становлять $V_{Rd,s} = 15$ кН (Б-18, $a/d=1$); 29,4 кН (Б-27, $a/d=2$); 37,70 кН (Б-17, $a/d=3$); $V_{Rd,max}=106,748$ кН (Б-18); 86,47 кН (Б-27); 74,03 кН (Б-17); при експериментально отриманих значеннях критичної поперечної сили $V=125,3$ кН (Б-18); 79,1 кН (Б-27); 63,9 кН (Б-17). Як бачимо, це не відповідає законам будівельної механіки та опору матеріалів.

Варто відзначити, що параметр, який характеризує залежність міцності бетону від прогону зрізу, в різних методах змінюється по-різному. Аналіз розрахункових формул, наведених у роботі [10], показав, що у формулах визначення міцності бетону наявний множник, який у розрахунковому апараті відображає відмінність методів: у методі фермової аналогії – $\frac{1}{\text{ctg}\theta + \text{tg}\theta}$, у методі похилих

перерізів – $\frac{\eta_{c2} \cdot d}{l_{inc}}$ або $\frac{\varphi_{b2} \cdot h_0}{c}$. Надалі ці

виявлені множники будемо називати параметром міцності бетону. Очевидно, що при однаковому наборі основних змінних у виразах обох методів (міцності бетону f_{ctd} , R_{bi} ; ширини поперечного перерізу b , b_w ; висоти поперечного перерізу h_0 , d), закон зміни виявлених параметрів обумовлює закон зміни шуканої величини міцності бетону V_c чи Q_b . Згідно з розрахунками за нормами EN 1992-1-1:2004 [2], параметр

$\frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$ змінюється за законом, близьким до лінійного (рис. 1), у той час, як графічне зображення параметра l/c в нормах СНБ 5.03.01-02 (модель похилих перерізів) [3],

$$\frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$$

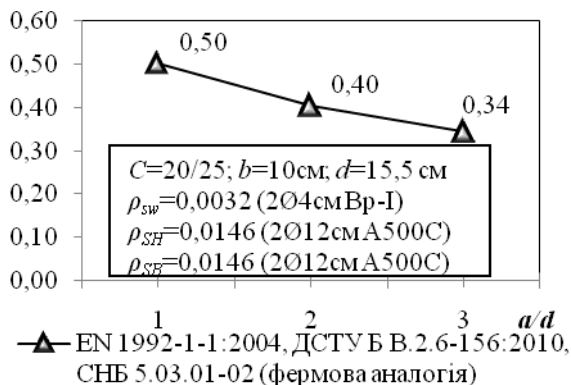


Рис. 1. Зв'язок параметра міцності бетону $\frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$ та відносного прогону зрізу a/d за ДСТУ Б В.2.6-156:2010, EN 1992-1-1:2004, СНБ 5.03.01-02 (фермова аналогія)

СНиП 52-01-2003 [4] і СНиП 2.03.01-84 * [11], відповідного $\frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$ у нормах EN 1992-1-1:2004 [2], являє собою гіперболу (рис. 2, 3).

$$\frac{\varphi_{b2} \cdot h_0}{c}$$

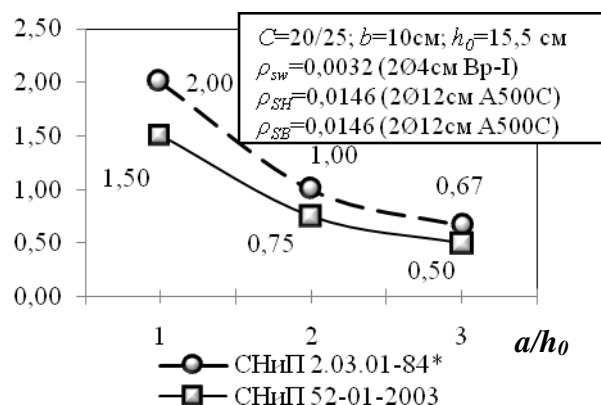


Рис. 2. Залежність параметра міцності бетону $\frac{\varphi_{b2} \cdot h_0}{c}$ від відносного прогону зрізу a/h_0 за СНиП 2.03.01-84*, СНиП 52-01-2003

$$\frac{\eta_{c2} \cdot d}{l_{inc}}$$

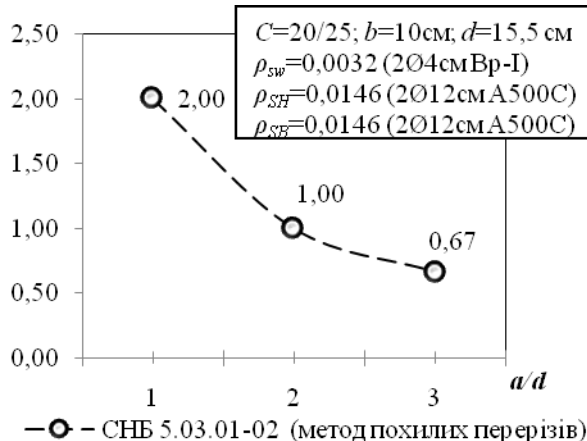


Рис. 3. Залежність параметра міцності бетону $\frac{\eta_{c2} \cdot d}{l_{inc}}$ від відносного прогону зрізу a/d за СНБ 5.03.01-02 (модель похилих перерізів)

Такий характер підтверджено дослідженнями В.П. Митрофанова [12] та інших, де так само встановлено, що залежність міцності похилих перерізів від відносного прогону зрізу змінюється за законом гіперболічної кривої. Для побудови графіків виконано розрахунки дослідних зразків серії V № 18, 27, 17, де дослідні фактори C , ρ_{sw} , ρ_{sv} , ρ_{sh} мають нульові кодовані значення, а кодоване значення фактора a/d змінюється від «-1» до «+1» і відповідає значенням 1, 2, 3 на осі a/d (рис. 1, 3) та a/h_0 (рис. 2).

Для оцінки несучої здатності похилих перерізів нерозрізних залізобетонних балок та порівняння їх експериментальних значень з розрахунковими за різними нормативними методами [1, 2, 3, 4, 5, 11] побудовані графіки залежності міцності V від досліджуваних факторів, а саме відносного прогону зрізу a/d (рис. 4,а), класу бетону C (рис. 4,б), армування поперечного ρ_{sw} (рис. 4,в), поздовжнього верхнього ρ_{sv} (рис. 4,г) і нижнього ρ_{sh} (рис. 4,д).

Графік на рис. 4,а демонструє розбіжність результатів розрахунку за різними методиками, а також з результатами експериментів щодо врахування впливу відносного прогону зрізу a/d на міцність похилого перерізу V . Так, норми СНиП, СНБ (метод похилих перерізів), хоча і не збігаються з експериментальними, але слідує тенденції – зі збільшенням величини прогону зрізу несуча здатність елемента зменшується. За нормативними документами, розрахунки яких ґрунтуються на моделі фермової аналогії, результати не відповідають експериментальним даним. Це говорить про недосконалість закладеної моделі, в тому числі чіткого уявлення про вибір варіативних параметрів ($ctg\theta$), а також про доцільність вивчення можливості застосування інших методик розрахунку з сімейства методів

стержньових систем, а саме "*strut-and-tie model*" при малих величинах відносного прогону зрізу. Дослідження і розвиток зазначеної методики входять до кола інтересів багатьох зарубіжних дослідників [13, 14].

Графіки на рис. 4,б і 4,в демонструють виконання результатами розрахунків за нормативними методами закону зміни експериментальних даних, а саме, збільшення несучої здатності похилого перерізу V зі збільшенням класу бетону C і поперечного армування ρ_{sw} . Ця залежність чітко відображена в аналітичному визначенні міцності похилого перерізу за різними методиками, де величини міцності бетону і площі поперечної арматури знаходяться у чисельнику формули (13) [10].

Графіки на рис. 4,г і 4,д демонструють невідповідність аналітичних моделей, закладених в нормативні документи різних країн, реальній роботі досліджуваних елементів на дію поперечної сили. Результати експериментів свідчать про зростання несучої здатності V похилого перерізу при збільшенні поздовжнього армування, в той час як розрахункові дані свідчать про незалежність міцності від поздовжнього армування як у верхній стислій (рис. 4,г), так і в нижній розтягнутій (рис. 4,д) зонах. Це пояснюється тим, що розрахункові формули не містять змінних, які б прямо враховували величини ρ_{sv} і ρ_{sh} при перевірці похилого перерізу на руйнівну силу, хоча у багатьох зарубіжних дослідженнях, наприклад в [15], зазначено, що зміна поздовжнього армування впливає на регулювання міцності похилого перерізу через зміну співвідношення поздовжньої і поперечної арматури, що аналітично виражається у варіюванні кута θ . Втім, щодо вітчизняних норм це питання ще потребує уточнення.

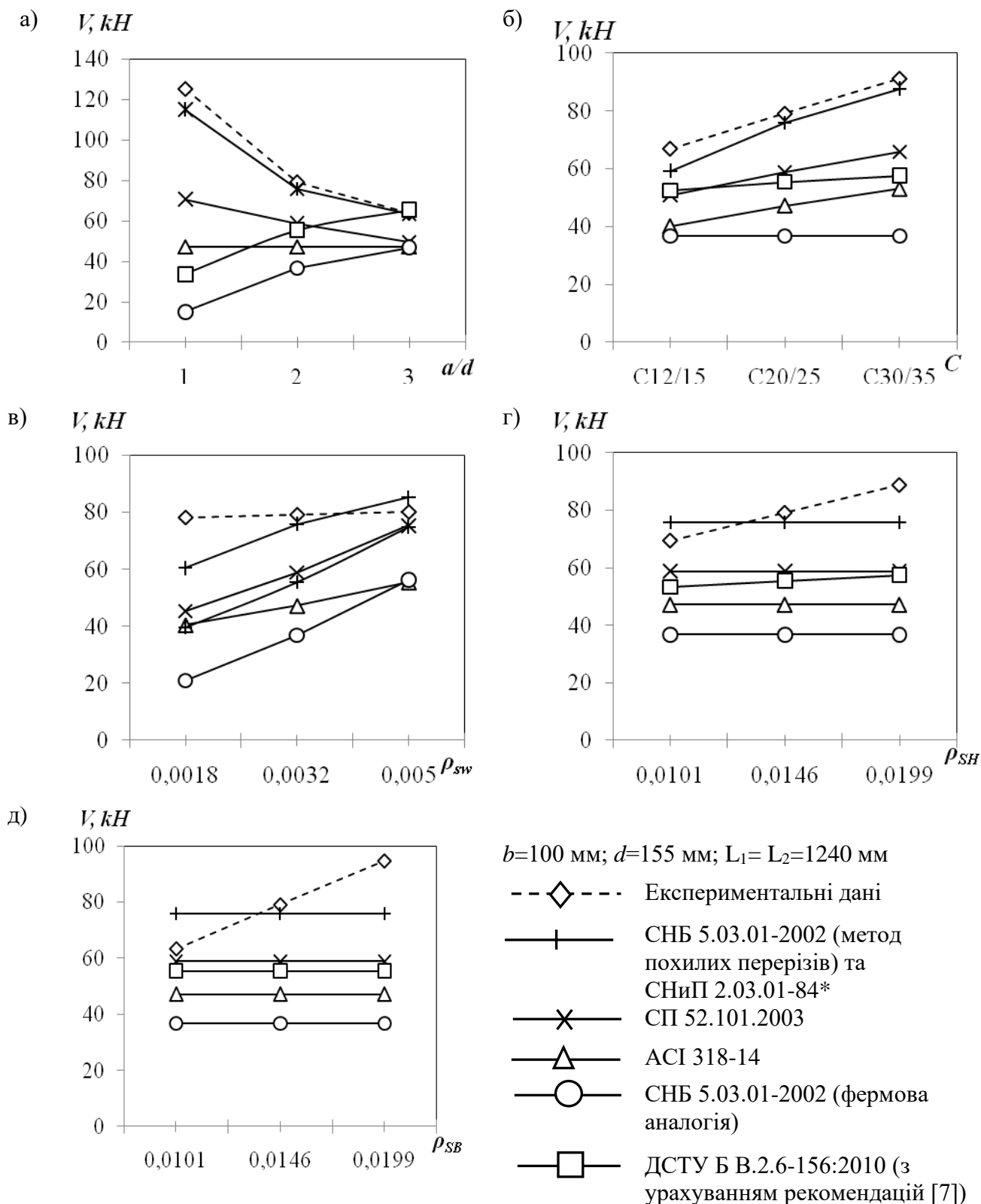


Рис. 4. Графіки залежності несучої здатності похилих перерізів дослідних елементів V , розрахованих за різними національними нормами, від (а) відносного прогону зрізу a/d , (б) класу бетону на стиск C , (в) коефіцієнта поперечного армування ρ_{sw} , (г) коефіцієнта нижнього поздовжнього армування ρ_{SH} , (д) коефіцієнта верхнього поздовжнього армування ρ_{SB}

Висновки. Порівняння результатів розрахунку за нормативними методами різних країн показує незадовільну збіжність несучої здатності похилих перерізів дослідних зразків-балок з експериментальними значеннями (коефіцієнт варіації $v = 43 \dots 97\%$).

Аналіз залежності міцності похилих перерізів від досліджуваних факторів (a/d , C , ρ_{sw} , ρ_{SH} , ρ_{SB}) на основі графіків залежності та порівняння результатів розрахунку з експериментальними показав, що метод похилих перерізів більш точно відображає реальну поведінку залізобетону при зовнішньому навантаженні у вигляді зосередженої поперечної сили в порівнянні з методом фермової аналогії, в якій закладені великі коефіцієнти надійності.

Встановлено, що параметр міцності бетону у методі фермової аналогії $\frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$ змінюється за законом, близьким до лінійного; у методі похилих

перерізів $\frac{\eta_{c2} \cdot d}{l_{inc}}$ або $\frac{\varphi_{b2} \cdot h_0}{c}$ – за кривою, що близька до гіперболи. При цьому розрахунки за нормативними документами, де закладено модель фермової аналогії, дають підстави стверджувати, що вклад бетону занижено на 0,6...25 %. Очевидно, недооцінка несучої міцності бетону призводить до перевитрат матеріалів.

Подальші дослідження спрямовані на розробку рекомендацій щодо розрахунку нерозрізних залізобетонних балок з урахуванням сучасного стану розвитку теорії бетону та залізобетону. Також для створення універсального апарату доречно було б змоделювати балки об'ємно-кінцевими елементами. Це сприятиме відходу від умовних і недосконалих методів розрахунку міцності залізобетонних конструкцій за нормальними, похилими і просторовими перерізами і каркасно-стержньовими моделями.

Список використаних джерел

1. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування [Текст]: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – [чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 164 с. – (Національний стандарт України).
2. Eurocode 2 EN 1992-1-1:2004: Design of Concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. – Brussels, 2004. – 225 p.
3. Конструкции бетонные и железобетонные [Текст]: СНБ 5.03.01-02. – [Дата введення 2003–07–01]. – Минск: Минстройархитектуры, Стройтехнорм, 2002. – 274 с. (Національний стандарт Білорусії).
4. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 [Текст]: СП 63.13330-2012. – [введены 2013–01–01]. – Минрегион РФ. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 155 с. (Національний стандарт Російської Федерації).
5. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14). American Concrete Institute. – [First Printing March 2014]. – American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich. – 520 p. (Національний стандарт Сполучених Штатів Америки).
6. Карпюк, В.М. До питання про необхідність вдосконалення нормативних методів розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних конструкцій [Текст] / В.М. Карпюк, О.М. Крантовська, О.М. Коцюрубенко // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2015. – Вип. 57. – С. 182-188.
7. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 в порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2) [Текст] /

В.М. Бабаев, А.М. Бамбура, О.М. Пустовойтова [та ін.]; за заг. ред. В.С. Шмуклера. – Харків: Золоті сторінки, 2015. – 208 с.

8. Карпюк, В.М. Розрахункові моделі силового опору прогінних залізобетонних конструкцій у загальному випадку напруженого стану [Текст]: монографія / В.М. Карпюк. – Одеса: ОДАБА, 2014. – 352 с.

9. Дорофеев, В.С. Прочность, трещиностойкость и деформативность неразрезных железобетонных балок [Текст]: монография / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Е.Н. Крантовская; Одесская государственная академия строительства и архитектуры. – Одесса: Эвен, 2010. – 175 с.

10. Коцюрубенко, О.М. Надійність розрахункових формул міцності похилих перерізів прогінних залізобетонних конструкцій у національних нормах проектування розвинених країн [Текст] / О.М. Коцюрубенко, О.М. Крантовська, В.М. Карпюк // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К.: ДП НДІБК, 2015. – Вип. 82. – С. 166-175.

11. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]: СНиП 2.03.01-84*. – [введен в действие 1986–01–01]. – ГОССТРОЙ СССР, 1989. – 80 с. (Державний стандарт СРСР).

12. Митрофанов, В.П. Напряженно-деформированное состояние, прочность и трещинообразование железобетонных элементов при поперечном изгибе [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / В.П. Митрофанов. – М., 1981. – 21 с.

13. Ahmed B. Shurain. Behavior and shear design provisions of reinforced concrete D-region beams / Ahmed B. Shurain // Journal of King Saud University – Engineering Sciences. – 2013. – 25. – pp. 65-74. (Журнал входить до бази даних SCOPUS: <http://scimagojr.com/journalsearch.php?q=86891&tip=sid&clean=0>).

14. Umer Farooq. Study of Shear Behavior of RC Beams: Non Linear Analysis / Umer Farooq and K.S. Bedi // Conference: Structural Engineering Convention 2014 (SEC 2014). – Dec 24th 2014, Delhi. – pp. 3477 – 3488.

15. Guidelines and Rules for Detailing of Reinforcement in Concrete Structures. A Compilation and Evaluation of Ambiguities in Eurocode 2: Master of Science Thesis in the Master's Programme Structural Engineering and Building Technology / Anneli Dahlgren, Louise Svensson // CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Göteborg, Sweden. – 2013. – 302 p.

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

Коцюрубенко Ольга Миколаївна, аспірант, кафедра опору матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури. E.mail: olha.kom@ogasa.org.ua.

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

Karpiuk Vasil, 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.

Kotsiurubenko Olha Mykolaivna, Postgraduate Student at the Department of Strength of Materials, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa (Ukraine). E.mail: olha.kom@ogasa.org.ua.

Krantovska Olena Mykolaivna Mykhailovych, 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). E.mail: elena14122007@gmail.com.

Прийнята 22.02.2016 р.

УДК 656.25

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЧИСЕЛЬНОСТІ ОБСЛУГОВУЮЧОГО ПЕРСОНАЛУ В УМОВАХ ОБМЕЖЕННЯ КІЛЬКОСТІ ТА ЗАЙНЯТОСТІ

Канд. техн. наук А.О. Лапко

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И ЗАНЯТОСТИ

Канд. техн. наук А.А. Лапко

METHOD FOR DETERMINING THE NUMBER OF MAINTENANCE PERSONNEL IN CONDITIONS LIMITED QUANTITIES AND EMPLOYMENT

Cand. of techn. sciences A. Lapko

Визначено необхідність кількісної оцінки ймовірності того, що несправність або відмова надійде у чергу та буде прийнята до усунення з обмеженням у кількості обслуговуючого персоналу та відповідно його зайнятості в інших процесах технічного обслуговування пристроїв залізничної автоматики. Дана оцінка зазначеної ймовірності для відомих значень часу очікування та усунення відмови при обмеженні кількості обслуговуючого персоналу та його зайнятості.

Ключові слова: *технічне обслуговування, залізнична автоматика, обслуговуючий персонал, ймовірності прийняття до обслуговування.*

Определена необходимость количественной оценки вероятности того, что неисправность или отказ поступит в очередь и будет принят к устранению с ограничением в количестве обслуживающего персонала и соответственно его занятости в других процессах технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики. Дана оценка указанной вероятности для известных значений времени ожидания и устранения отказа при ограничении количества обслуживающего персонала и его занятости.

Ключевые слова: *техническое обслуживание, железнодорожная автоматика, обслуживающий персонал, вероятность принятия к обслуживанию.*

After analyzing the existing method of calculation of staff for railway automation devices. The necessity of quantitative evaluation of the probability that the failure or refusal to go to the queue and will be adopted to eliminate the restriction in the number of staff and thus its employment in other processes of maintenance of railway automation devices. Determination of this probability is due to the need to determine whether the implementation of preventive and remedial planning and maintenance work and thus their planning. The estimation of this probability for the known values of latency and eliminating failure by limiting the number of staff and employment.

Keywords: *maintenance, railway automation, maintenance personnel, the probability of making at service.*

Вступ. Для визначення можливостей участі людини у виробничих, економічних та управлінських процесах звичайно використовують поняття “потенціал людини”, “трудова потенціал”, “людський

капітал” і “робоча сила” [1]. Означені поняття належать до трудових ресурсів підприємства, як існуючих, так і можливо задіяних. Саме визначення поняття “персонал підприємства” припускає

взаємопов'язану групу працівників, які входять до облікового кадрового складу, й інших працівників [2]. У галузі залізничної автоматики (ЗА) в інструкціях [3-5] використовується термін “обслуговуючий персонал” для визначення працівників, які розділені за професійно-кваліфікаційною формою розподілу праці згідно з організаційною структурою дистанції сигналізації та зв'язку.

Постановка задачі у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. На цей час методика розрахунку чисельності базується на використанні розрахункових величин, що нормативно закріплені у [5]. Загальна чисельність працівників дільниці $Ч_{\text{д}}$ з обслуговування пристроїв ЗА визначається як сума виконавців за всіма видами пристроїв i на дільниці

$$Ч_{\text{д}} = \sum_i (Ч_{\text{шнс } i} + Ч_{\text{шн } i} + Ч_{\text{шцм } i}).$$

Тоді для обслуговування m_i одиниць i -го виду пристроїв необхідний штат розраховується за формулою

$$Ч_i = \sum_j \frac{m_i}{n_{ij}} N_{ij},$$

де N_{ij} – норматив чисельності на вимірник;
 n_{ij} – норматив обслуговування на вимірник [5],

або

$$Ч_{\text{д}} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^3 \frac{m_i}{n_{ij}} N_{ij},$$

де k – кількість видів пристроїв, що обслуговуються.

Витрати часу на обслуговування в зимових умовах та на перерви, що пов'язані з пропуском поїздів, повинні враховуватися відповідними поправковими коефіцієнтами:

K_t – на роботу в зимових умовах та $K_{\text{ір}}$ – на інтенсивність руху [5]. Тоді остаточно формула для розрахунку чисельності дільниць ЗА набуває такого вигляду:

$$Ч_{\text{дА}} = K_t K_{\text{ір}} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^3 \frac{m_i}{n_{ij}} N_{ij}.$$

Ця методика передбачає постійну потрібну і наявну чисельність обслуговуючого персоналу, що на цей час, у зв'язку із соціально-економічними умовами, не завжди можливо забезпечити. Отже, виникає завдання визначення чисельності обслуговуючого персоналу в умовах обмеження кількості та зайнятості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розрахунку чисельності обслуговуючого персоналу також існує методика, викладена в [6], однак вона має недоліки, аналогічні методиці, що викладена вище. Над вирішенням таких завдань працюють автори і з інших галузей техніки [7]. Наприклад, у роботі [8] розглядається вахтовий метод технічного обслуговування (ТО) і припускаються затримки в обслуговуванні у декілька днів, що не підходить для застосування в системі ТО пристроїв і систем ЗА. У дослідженнях [9] розглянута методика планування ТО, що враховує надійність і пов'язана з розрахунком чисельності обслуговуючого персоналу й кількістю елементів заміни. Однак значна увага приділена саме визначенню кількості елементів заміни. У роботі [10] розглянуто питання моделювання витрат і поповнення загального ресурсу. Робота [11] більшою мірою спрямована на календарне ТО з постійною кількістю виконавців.

Визначення мети та задачі дослідження. Для оперативного керування процесом ТО пристроїв ЗА в умовах гнучкої організаційної структури і непостійної чисельності обслуговуючого персоналу необхідно вирішити задачу експлуатації пристроїв ЗА як системи багаторазового використання з відновлен-

ням при обслуговуванні. Відомо, що пристрої ЗА безупинно працюють протягом деякого часу T . У моменти часу $T = \sum_{j=1}^i t_i$

$i = 1, 2, \dots, j$ обслуговуючим персоналом здійснюється вимірювання значень параметрів, що характеризують технічний стан пристроїв ЗА:

$$S_r(t_i) = \sum_{k=1}^i \eta_{rk},$$

де $r = 1, 2, \dots, n$ – індекс параметра пристрою;

n – число параметрів, що контролюються;

η_{rk} – приріст r -го параметра в k -й момент контролю.

При зіставленні поточного значення з максимально припустимим значенням передкритичного рівня параметра $\eta_{пк}(t)$ приймається одне з таких рішень:

– продовжувати експлуатацію пристроїв ЗА до наступного моменту контролю у випадку, коли пристрої перебувають у справному працездатному стані (наприклад при убуванні параметра $\eta(t) > \eta_{пк}$);

– виконати ТО пристроїв ЗА шляхом реалізації планово-відновлювальних робіт у випадку, коли система перебуває у несправному працездатному стані ($\eta_{пк} > \eta(t) > \eta_{нп}$); роботи виконуються для повернення параметра в межі допуску $\eta_{н} \geq \eta(t) > \eta_{пк}$;

– здійснити відновлення пристроїв ЗА шляхом виконання аварійно-відновлювальних робіт у випадку виявлення відмови або замінити елемент, що відмовив;

– визначити момент наступного контролю параметрів;

– здійснити прогноз стану системи до наступного моменту контролю.

Для календарного планування реалізації другого та третього тверджень необхідна кількісна оцінка ймовірності того, що несправність або відмова надійде

у чергу та буде прийнята до усунення з обмеженням у кількості обслуговуючого персоналу та відповідно його зайнятості в інших процесах ТО.

Основна частина дослідження. При виявленні несправностей та відмов за наявності автоматизованих засобів вимірювання ймовірність їх виявлення в основному залежить від точності вимірювальної апаратури та відведеного часу на вимірювання. Можна прийняти, що ймовірність пропускання несправності через низьку точність вимірювальної апаратури й помилки обслуговуючого персоналу δ та ймовірність пропускання несправності через нестачу часу $Q(N)$ є незалежними. Тоді ймовірність виявлення несправності $P_{внс}$ може бути подана у вигляді добутку [12]

$$P_{внс} = (1 - \delta) \cdot (1 - Q(N)), \quad (1)$$

де

$$Q(N) = \begin{cases} 1 - N \cdot T_{п}, & \text{при } 0 \leq T_{п} \leq T_{пп}; \\ 0, & \text{при } T_{п} > T_{пп}; \end{cases}$$

$T_{п}$ – час на пошук,

$T_{пп}$ – час, потрібний на пошук

$$N = 1/T_{пп}.$$

Тоді з урахуванням прийнятих позначень вираз (1) набуде вигляду

$$P_{внс} = (1 - \delta) \cdot N \cdot T_{п}. \quad (2)$$

Важливою є ймовірність того, що несправність (відмова), яка виникла, потрапить у чергу та буде прийнята до усунення в проміжок часу $0 - t_{оч}$ [12-14]:

$$P_{то} = P_{вільн.} - P_{вільн.} \left(e^{-\mu \times t_{оч}} \right)^n, \quad (3)$$

де $P_{вільн.} = 1 - \prod_{k=1}^n P_{зайн.}$ – імовірність вільності хоча б однієї особи обслуговуючого персоналу;

$P_{\text{Зайн.}}$ – імовірність зайнятості однієї особи персоналу;

n – загальна кількість осіб обслуговуючого персоналу;

μ – інтенсивність усунення несправності (відмови) $\mu = 1/t_{\text{УВ}}$;

$t_{\text{УВ}}$ – час усунення відмови;

$t_{\text{Оч}}$ – час очікування.

Використовуючи метод визначення часу призначення планово-відновлювальних робіт ТО пристроїв ЗА [15] та задаючись необхідним значенням імовірності ТО та інтенсивності усунення несправності, можна за виразом (3) визначати необхідну чисельність обслуговуючого персоналу для різного значення $P_{\text{Зайн.}}$ (рисунок).

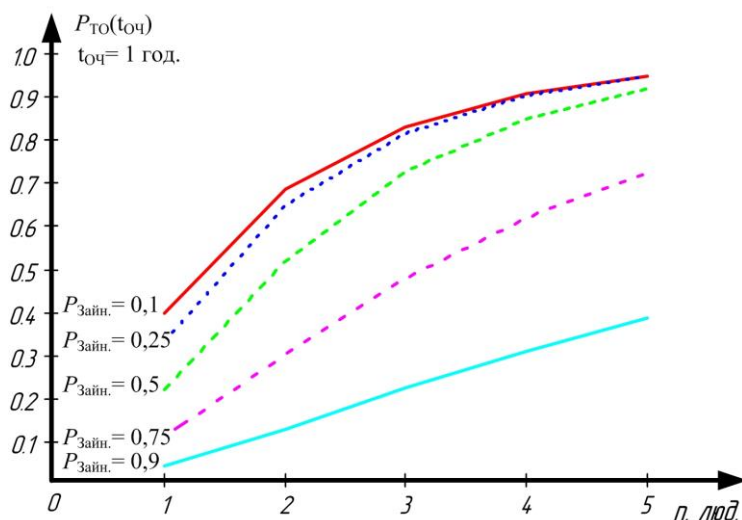


Рис. Залежність імовірності прийняття до обслуговування несправності або відмови від кількості осіб обслуговуючого персоналу при різній зайнятості

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Для пристроїв ЗА значення $P_{\text{Зайн.}}$ складає 0,75-0,8 [3, 6, 16, 17], а середній час усунення відмов 1,78 год і для таких значень бажана велика кількість обслуговуючого персоналу. При зменшенні зайнятості на 25 % збільшується на третину $P_{\text{ТО}}$. Суттєвий вплив має час відновлення, його зменшення до 1 год збільшує значення $P_{\text{ТО}}$ в середньому на 0,1. Таким чином, у

подальшому для різних систем ЗА, зокрема мікропроцесорних, задаючись різними вихідними значеннями часу усунення відмов і часу очікування для фіксованих значень імовірності зайнятості, можна визначати потрібну чисельність обслуговуючого персоналу. Імовірність зайнятості можна визначати на основі календарного планування планово-профілактичних робіт згідно зі стратегією ТО.

Список використаних джерел

1. Фатхутдинов, Р.А. Организация производства [Текст] / Р.А. Фатхутдинов. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 672 с.
2. Шепеленко, Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии [Текст] / Г. И. Шепеленко. – Ростов н/Д.: МарТ, 2002. – 544 с.
3. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) [Текст]: ЦШЕОТ–0060; затв. наказом Укрзалізниці № 090-ЦЗ від 07.10.2009 р. – К.: НВП Поліграфсервіс, 2009. – 111 с.

4. Нормативи чисельності працівників дистанцій сигналізації та зв'язку залізниць України [Текст]: ДАТУ, Головне управління автоматики, телемеханіки та зв'язку; затв. наказом Укрзалізниці № 594-ЦЗ від 26.07.2004 р. – К.: Алькор, 2004. – 49 с.
5. Типовий проект організації роботи ремонтно-технологічної дільниці дистанції сигналізації та зв'язку [Текст]: ЦШ–0046; затв. наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України № 664-ЦЗ від 08.11.2006 р. – К.: Швидкий рух, 2006. – 25 с.
6. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.д. трансп. / Вл.В. Сапожников, Л.И. Борисенко, А.А. Прокофьев, А.И. Каменев; под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003. – 336 с.
7. Bouzidi-Hassinia S., Considering human resource constraints for real joint production and maintenance schedules [Text] // F.Benbouzid-Si Tayeba, F.Marmierb, M.Rabahia / Computers & Industrial Engineering: –Vol. 90, –2015, –Pag. 197–211.
8. Журавлев, А.В. Вопросы расчета численности обслуживающего персонала на предприятиях нефтегазового комплекса [Текст] / А.В. Журавлев, А.Л. Портнягин // Вестник кибернетики / Институт проблем освоения Севера СО РАН. – Тюмень, 2011. – Вып. 10. – С. 34-40.
9. Пегушин, С.Л. Планирование технического обслуживания автоматических систем противоаварийной защиты производственных объектов с учетом оценки надежности и ремонтпригодности [Текст] / С.Л. Пегушин, А.Г. Шумихин // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология / ПНИПУ. – Пермь, 2012. – Вып. 14. – С. 13-21.
10. Моделі витрат і поповнення ресурсу складних відновлювальних об'єктів і систем радіоелектронної техніки / К.Ф. Боряк, В.О. Браун, С.В. Ленков [та ін.]; під ред. С.В. Ленкова. – К.: Знання України, 2008. – 267 с.
11. Обжерін, Ю.С. Календарне технічне обслуговування систем з довільною структурою [Текст] / Ю.С. Обжерін, О.І. Песчанський // Кібернетика і системний аналіз. – 2006. – Вип. 2. – С. 69-86.
12. Шишонок, Н.А. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники [Текст] / Н.А. Шишонок, В.Ф. Репкин, Л.Л. Барвинский. – М.: Сов. радио, 1964. – 552 с.
13. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности [Текст] / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
14. Вентцель, Е.С. Теория вероятности и её инженерное приложение [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высш. шк., 2000. – 480 с.
15. Лапко, А.О. Метод визначення часу призначення планово-відновлювальних робіт технічного обслуговування для станційних пристроїв залізничної автоматики [Текст] / А.О. Лапко // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2005. – Вип. 4. – С. 34-40.
16. Лабецкая, Г.П. Организация, планирование и управление в хозяйстве сигнализации и связи [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Г.П. Лабецкая, Н.К. Анисимов, А.Н. Брендт. – М.: Маршрут, 2004. – 348 с.
17. Типові норми часу на технічне обслуговування пристроїв СЦБ [Текст]: ЦШЕОТ–0063; затв. наказом Укрзалізниці № 192-ЦЗ від 02.11.2010 р. – К.: Інпрес, 2011. – 151 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.Б. Бойнік

Лапко Антон Олександрович, канд. техн. наук, кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-32. E-mail: a.o.lapko@gmail.com.

Lapko Anton Oleksandrovych, cand. science, department of automation and telecontrol computer train traffic, Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-30. E-mail: a.o.lapko@gmail.com.

Прийнята 24.02.2016 р.

УДК 681. 586. 73

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ СТАНЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Д-р техн. наук А.Б. Бойнік, М.Я. Сільник

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ СТАНЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Д-р техн. наук А.Б. Бойник, М.Я. Сильник

RESEARCH THERMAL CONTROL OF THE STATION DEVICES RAILWAY AUTOMATICS

Doct. of techn. sciences A.B. Boynik, M.Y. Silnyk

Проаналізовано причини відмов пристроїв залізничної автоматики та досліджено способи їх діагностування методом тепловізійного контролю.

Ключові слова: тепловізійний контроль, пристрої залізничної автоматики, відмова, тепловізор, об'єкт контролю, температура, тепловізійне зображення.

Проанализированы причины отказов устройств железнодорожной автоматики и исследованы способы их диагностики методом тепловизионного контроля.

Ключевые слова: тепловизионный контроль, устройства железнодорожной автоматики, отказ, тепловизор, объект контроля, температура, тепловизионное изображение.

The efficiency of devices of railway automation, telemechanics and communications depends on the quality of measurement and application of advanced methods of service.

In this article was made analysis of the main reasons for failures in railway automation devices and was explored ways of diagnosing thermal control method. Therefore, traditional methods of thermal control electrical equipment were based on the need for temporary exclusion of his work. Thermal diagnostics, in contrast to the traditional methods, allows execution element wise and overall assessment of the technical condition of electrical equipment in the course of its work and identify many defects at an early stage of development and identify operational constraints that impede of development of defects.

Results of the study indicate that the use of traditional methods of thermal control devices railway automatic need constant presence of attendants and it cannot be automated. Regular monitoring is possible only when using the automatic way of heating.

Keywords: thermal control, devices of railway automation, refusal, thermal imager, object control, temperature, thermal image.

Вступ. Працездатність пристроїв залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку багато в чому визначається якістю проведення вимірювань та застосування прогресивних методів обслуговування.

Під час експлуатації апаратури за допомогою вимірювань можна виявити

відхилення параметрів апаратури, від установлених норм, виявивши відхилення вживати заходів для нормального функціонування. Ураховуючи те, що пристрої залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку працюють у складних умовах, за яких необхідно

забезпечувати безпеку руху поїздів, вимірювання параметрів розглянутих пристроїв набуває великого значення.

Постановка проблем. За останні роки розвиток економіки та політична ситуація України суттєво змінилися, що вплинуло на кількість перевезень. Зменшення перевезень призвело до зниження доходів Укрзалізниці і як наслідок до зменшення фінансування обслуговування існуючих систем залізничної автоматики й телемеханіки та побудови нових систем. Існуючі капіталовкладення є незначними і не вирішують загальної проблеми експлуатації електрообладнання, що в переважній більшості впроваджувалося в роботу в часи Радянського Союзу.

Повністю зняти з експлуатації електрообладнання, яке відпрацювало свій нормативний термін, неможливо, взявши до уваги, що воно перебуває в задовільному стані і може працювати ще протягом деякого часу. Подальша експлуатація цього обладнання з кожним роком стає все небезпечнішою через старіння елементів, що може призвести до важких наслідків. Тому подальша експлуатація електрообладнання повинна передбачати здійснення його діагностування в процесі роботи.

Для здійснення діагностування електрообладнання застосовуються різні методи та засоби. На практиці немає єдиних підходів для визначення технічного стану того чи іншого виду електрообладнання. У деяких випадках таке діагностування здійснити неможливо.

Мета роботи. Дослідження тепловізійного контролю станційних пристроїв залізничної автоматики та способів його здійснення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На теперішній час існує багато як вітчизняних, так і закордонних робіт [1-3], у яких розглядаються аспекти теорії, побудови і використання різних видів пристроїв контролю нагрівання об'єктів. Відомо, що в багатьох випадках для

визначення технічного стану електрообладнання його необхідно виводити з роботи. Аналіз робіт цієї тематики свідчить, що одним із підходів до діагностування електрообладнання, який особливо інтенсивно розвивається останніми роками, є використання тепловізійних методів визначення технічного стану електрообладнання. Переваги цього типу діагностики очевидні, так як тепловізійним методом можна виявляти дефекти будь-якого електрообладнання дистанційно та без виведення його з роботи.

Основний матеріал. У період з 2008 по 2015 роки у господарствах сигналізації та зв'язку було допущено 40407 відмов пристроїв залізничної автоматики.

У 2008 році кількість відмов пристроїв СЦБ склала 5547, що на 19,2 % менше, ніж у 2007 році. Кількість відмов у 2009 році склала 5177, тобто зменшилась на 6,7 % у порівнянні з 2008 роком. Однак у 2010 році кількість відмов зросла на 16,2 % по відношенню до показників 2009 року. За 2011 рік вдалося зменшити кількість відмов до 4837, тобто на 19,6 %. Кількість відмов за 2012 рік збільшилась на 2,6 % і склала 4963 випадки проти 4837 у порівнянні з 2011 роком. У 2013 році кількість відмов зменшилась на 16,5 %, і склала 4145 випадків проти 4963 випадки за аналогічний період 2012 року. Невтішною статистика стала у 2014 році, у якому було допущено 4890 випадків проти 4145 випадків у 2013 році, тобто зростання показника на 17,9 %. За 2015 рік було знижено показник відмов на 1,2 % і було допущено 4832 відмови віднесених за господарством сигналізації та зв'язку, проти 4890 за 2014 рік [4-11].

Проте аналіз пошкоджень пристроїв СЦБ, які були віднесені за господарствами сигналізації та зв'язку, свідчить, що їх кількість не зменшилась.

У 2008 та 2009 роках кількість відмов пристроїв СЦБ у порівнянні з попередніми роками вдалося зменшити, а в 2010 році

кількість відмов відносно 2009 року зросла на 7,5 %. Найбільша кількість відмов – на Придніпровській залізниці (358).

Протягом 2011 року кількість пошкоджень з вини господарства сигналізації та зв'язку зросла в порівнянні з 2010 роком на 5,8 % та склала 1515 відмов. При цьому найбільша кількість відмов – на Придніпровській залізниці (336).

Кількість відмов у 2012 році у порівнянні з 2011 роком збільшилась на 2,4 % і склала 1552 проти 1515. Найбільше відмов допущено на Придніпровській залізниці (342) [8].

Згідно з аналізом у 2013 році кількість відмов знизилася і склала 1467 проти 1552 відмови за аналогічний період 2012 року, тобто зменшилася на 5,4 %. Лідером за кількістю відмов є Придніпровська залізниця – 355 відмов [9].

Тенденцію до зниження кількості відмов, віднесених за господарством сигналізації та зв'язку, вдалося зберегти й у 2014 році на рівні 18,5 %, а саме 1196 відмов проти 1467 за 2013 рік. Найбільша кількість відмов по Укрзалізниці на Одеській залізниці – 281 відмова, найменша ж кількість на Донецькій залізниці – 115 відмов за господарством сигналізації та зв'язку [10].

З невтішними показниками закінчився 2015 рік – кількість відмов збільшилася на 8,6 % і склала 1299 відмов проти 1196 відмов за 2014 рік. Найбільша кількість відмов пристроїв на Одеській залізниці – 297, найгірший показник у Південній залізниці, де кількість відмов збільшилася на 88,7 % і склала 251 проти 133 відмови за 2014 рік [11].

Аналіз відмов пристроїв СЦБ, які віднесені за господарством сигналізації та зв'язку, у 2015 році вказує на те, що основними об'єктами відмов пристроїв СЦБ є [11]:

1) вихід з ладу реле, блоків, трансформаторів, випрямлячів, безконтактної апаратури, пристроїв захисту. Основні причини відмов апаратури – обрив обмоток

та монтажних проводів у приладах, коротке замикання проводів, втрата ємності конденсаторів, які виникали через неякісне виконання робіт при технічному обслуговуванні та ремонті пристроїв, фізичне старіння, вплив грозових та комутаційних перенапруг. Основні типи приладів, які найбільше виходили з ладу, – трансформатори, трансмітери, конденсатори та конденсаторні блоки;

2) несправність у релейних шафах, на стативах, у колійних коробках. Основні причини відмов: несправність штепсельних плат, клем, рознімань, колодок, монтажу;

3) порушення роботи кабельних ліній. Основні причини відмов кабельних ліній – внутрішній обрив жил у кабелі, обрив жил на клемах, зниження опору ізоляції;

4) порушення роботи рейкових кіл. Основні причини відмов у рейкових колах – обрив або відсутність рейкових з'єднувачів;

5) несправність світлофорів. Основною причиною є перегорання світлофорних ламп унаслідок заводського недоліку – негерметичність колб (виробник ТОВ «Альфа», м. Краматорськ);

б) несправність стрілочних електроприводів, гарнітури, замків Мелентьєва. Основними причинами цих відмов на залізницях є несправність електродвигунів, втрата контакту, несправність монтажу в автоперемикачі.

Основними причинами відмов пристроїв СЦБ (таблиця) у 2015 році є:

1) експлуатаційні – 1011 відмов, або 77,8 % від усіх відмов;

2) відмови з інших причин – 288 відмов, або 22,17 % від усіх відмов.

При цьому з вини обслуговуючого персоналу сталася 601 відмова. Найбільша кількість таких відмов на Придніпровській залізниці – 192 відмови.

У 2015 році середній час усунення відмов пристроїв СЦБ, віднесених за дистанціями сигналізації та зв'язку, залишився на тому ж рівні, що й у 2014 році, і склав 1 год 29 хв. Найбільший середній час усунення відмов на Південній залізниці –

1 год 39 хв, а найменший середній час усунення відмов на Одеській залізниці – 1 год 10 хв, що говорить про необхідність

удосконалення системи ТО пристроїв СЦБ і зв'язку [11].

Таблиця

Співвідношення відмов пристроїв СЦБ за причинами у 2015 році

Причини відмов	Кількість відмов, %
Основні:	
порушення технології виконання робіт при ТО та ремонті пристроїв СЦБ	46,27
вихід з ладу приладів, пристроїв через фізичне старіння	20,25
неякісний ремонт та перевірка приладів у РТД СЦБ	3,85
причина не виявлена	7,08
Інші:	
вплив грозових та комутаційних перенапруг	11,32
конструктивно-заводський недолік	10,16

В офіційних звітах чітко не виділяється кількість відмов з причини теплового перегрівання. Основною причиною теплових відмов є вплив грозових та комутаційних перенапруг, також можна вважати, що відмови, в яких причина не виявлена, також належать до теплових, фізичне старіння, конструкторсько-заводський недолік

приладів може призводити до перегрівання і виходу приладів з ладу. Тобто до теплових причин можна віднести чотири категорії із офіційних звітів.

Співвідношення загальної кількості відмов пристроїв СЦБ до кількості відмов з причини теплового перегрівання наведено на рис. 1 [4-11].

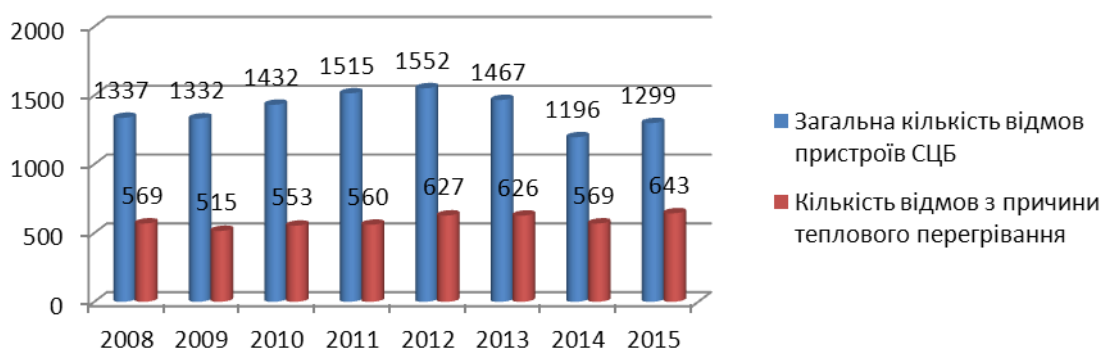


Рис. 1. Співвідношення загальної кількості відмов пристроїв СЦБ до кількості відмов з причини теплового перегрівання за період 2008-2015 років

Основними причинами теплового нагрівання є: збільшення перехідного опору контактів реле і перемикачів, перевищення

амплітуди робочих струмів, зменшення опору ізоляції електричних кіл, зміна параметрів напівпровідникових елементів і т.д.

Для виявлення та недопущення відмов пристроїв залізничної автоматики необхідно застосовувати метод тепловізійного діагностування. Це діагностування станів та властивостей різноманітних об'єктів є найсучаснішим, високоефективним і перспективним напрямком у діагностуванні. Тепловізор – це прилад, який сприймає сигнали в інфрачервоній (ІЧ) області спектра (теплове випромінювання) і перетворює їх у видимі зображення.

Суть методу полягає в його універсальності, яка зумовлена тим фактом, що інформаційним якісним параметром об'єктів дослідження є температура. Температура є невід'ємним показником роботи технічних установок і складних систем, а також характеризує внутрішньо-структурні та теплові процеси в конструкційних матеріалах. Інформація про різноманітні процеси в об'єктах контролю надається через розшифрування розподілу температури.

Тепловізійні системи поділяються на скануючі і нескануючі. Скануючі системи побудовані на одноелементних приймачах

або лінійці з приймачів ІЧ випромінювання з використанням механічно рухомих дзеркал, дзеркальних барабанів, призм, клинів для сканування. Нескануючі тепловізійні системи основані на використанні багатоелементних приймачів випромінювання, так званих “спостерігаючих” матриць, тобто матриць, число елементів яких дає змогу сформувати повноформатний тепловізійний кадр з хорошим просторовим розділенням. У цих тепловізійних системах відсутні механічні вузли сканування. Більшість сучасних тепловізійних приладів побудовано за матричним принципом. Основним гальмом матричних систем була проблема неоднорідності параметрів елементів матриці, тобто сигналів з елементів. Використовуючи останні досягнення науки у технології виробництва матричних приймачів випромінювання не тільки не поступається скануючим, але навіть має кращі характеристики, ніж з механічним скануванням за споживанням енергії. На рис. 2 показана узагальнена функціональна схема тепловізора з фокальною ІЧ матрицею.

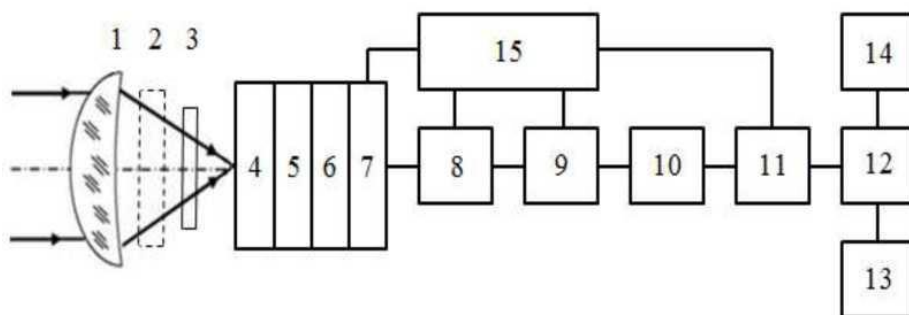


Рис. 2. Функціональна схема тепловізора на “спостерігаючій” матриці

Основні елементи тепловізора: 1 – об'єктів, 2 – чорна заслінка, 3 – фільтр ІЧ випромінювання, 4 – детекторна матриця, 5 – попередні підсилювачі, 6 – інтегратори, 7 – мультиплексор, 8 – аналоговий коректор неоднорідності сигналів елементів матриці, 9 – аналогово-цифровий перетворювач, 10 – цифровий коректор неоднорідності, 11 –

коректор непрацюючих елементів матриці, 12 – формувач зображення, 13 – дисплей, 14 – цифровий вихід, 15 – тактовий генератор.

Принцип роботи тепловізора можна описати таким чином. Випромінювання ІЧ діапазону від об'єктів спостереження та фону, на якому перебувають об'єкти,

проходить через атмосферу і потрапляє в оптичну систему приладу. За допомогою об'єктива 1 налаштовується фокусна відстань для формування зображення на чутливій матриці 4. При цьому промені проходять через інтерференційний фільтр 3. Фотострум кожного чутливого елемента детекторної матриці 4 підсилюється переднім підсилювачем 5 і накопичується протягом кадра в інтеграторі (ємності) 6, який виконує роль низькочастотного фільтра, а потім надходить на мультиплексор 7. Усі ці елементи виготовляють в інтегральному виконанні в одному блоці і розміщують при охолодженні в криостаті. Далі сигнали обробляються за допомогою комп'ютера. Спочатку сигнали направляються в аналогову схему опрацювання, яка не охолоджується, 8, де здійснюється попередня корекція неоднорідності чутливості, фонового і темного струмів зон матриці. Потім аналогові сигнали

перетворюються в цифрові за допомогою аналогово-цифрового перетворювача 9 і надходять в цифрову схему корекції 10. Після цього в коректорі 11 відбувається заміна сигналів з непрацюючих елементів матриці на інтерпольовані сигнали, утворені із сигналів сусідніх справних елементів, і далі направляються в блок формування вихідного зображення 12. Інформація виводиться на дисплей 13, а також видається в цифровому вигляді на виході 14 [13].

Важливою функцією тепловізорів є моделювання тепловізійних зображень. Аналіз поляризації тепловізійних зображень об'єктів показав, що матеріал, з якого виготовлений досліджуваний об'єкт, впливає на яскравість поляризаційних зображень. Ураховуючи вищесказане, необхідно враховувати вплив оптичних властивостей поверхні досліджуваних об'єктів на значення кута для всіх елементів поляризаційних термограм (рис. 3).

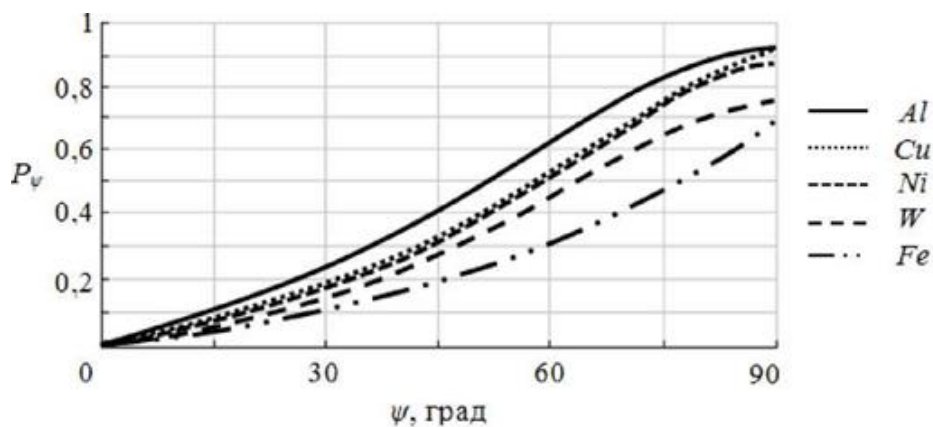


Рис. 3. Залежність ступеня поляризації P_ψ від кута ψ власного випромінювання

При традиційному тепловізійному методі спостереження еліпса і сфери зверху вони дають однакове зображення як по контуру, так і усередині контуру, незважаючи на явне розходження форми цих об'єктів всередині контуру зображення

видимої частини їх поверхні. При оптико-математичному моделюванні ступінь поляризації теплового зображення сфери у сферичних координатах буде визначатися за виразом

$$P'(N, L) = \frac{\sin^2 \theta \times \sin^2 \varphi - \cos^2 \theta}{\sin^2 \theta \times \sin^2 \varphi + \cos^2 \theta} (1 - \sin \theta \times \cos \varphi) \quad (1)$$

де θ, φ – координати кутів положення елемента у сферичній системі координат.

Конус в оптико-математичній моделі поляризаційного тепловізійного зображення визначається виразом

$$P'(N, L) = \left[1 - 1/\sqrt{1+k^2} \right] \cdot \cos\varphi. \quad (2)$$

Актуальною проблемою є вирішення завдання виявлення об'єктів на слабо контрастному фоні. Проблеми виявлення об'єктів виникають з таких причин: потенційно слабкої їхньої контрастності, низького рівня помітності і наявності шумів. Опрацювання картинки проводиться в реальному масштабі часу такими способами: алгоритмами цифрового заглушення шуму, підвищення контрастності, накопичення сигналів, підкреслення меж, сегментації тощо.

Вірогідність правильного виявлення сигналу об'єкта на фоні шумів визначається як [16]

$$F = \int_{U_0}^{\infty} u \cdot I_0(qu) \cdot e^{-(u^2+q^2)/2} du. \quad (3)$$

Згідно з дослідженнями тепловізійного контролю в ручному режимі використання є певні недоліки, характерні для більшості відомих методів контролю, а саме “людський фактор”. Він зменшує об'єктивність, достовірність і продуктивність результатів контролю, а оскільки об'єкти електрообладнання контролюються в комплексі (до декількох сотень об'єктів одночасно), то завдання підвищення даних показників контролю виходить на перше місце.

У зв'язку з цим доцільно використовувати метод автоматизованого процесу теплового контролю електроустаткування. Одним з основних етапів контролю є автоматичне виявлення потенційно небезпечних (перегрітих) ділянок у великому масиві аналізованих об'єктів, їх вибірка, ідентифікація та

класифікація. Для елементів, для яких проводиться діагностування, залежно від їхніх типів, технічних особливостей та режиму роботи визначаються оптимальні порогові значення, тобто межі розмежування на нормальні та аномальні зони.

На наступному етапі відбувається зіставлення передбачуваних дефектів (аномальних зон) з еталонними зразками дефектів шляхом порівняння термограм за контрольними точками або областями з подальшим аналізом за відомими критеріями дефектності.

Окрім автоматичного виявлення дефекту, що розвивається, важливим питанням є передача інформації про ситуацію обслуговуючому персоналу і черговому диспетчеру дистанції з використанням передових мікропроцесорних систем диспетчерського контролю (системи АС-ДК, АПК-ДК). Це питання актуальне тому, що на постах електричної централізації проміжних станцій, які становлять більшу частину станцій України, не має змінного чергування електромеханіків. Тобто більшу частину доби на пості електричної централізації відсутній обслуговуючий персонал, який би міг оперативно усунути небезпеку, і як наслідок уникнути тривалих затримок поїздів.

При використанні автоматизованого контролю виключаються помилки обслуговуючого персоналу, виникає можливість прогнозування станів пристроїв, які контролюються, зменшується періодичність контролю устаткування, а також пожежної безпеки приміщення.

Висновок. Традиційні методи теплового контролю електрообладнання, як правило, ґрунтуються на необхідності тимчасового виведення його з роботи. Тепловізійна діагностика на відміну від традиційних методів дає змогу виконувати поелементну, а також загальну оцінку технічного стану електрообладнання в процесі його роботи, виявляти безліч

дефектів на ранній стадії їх розвитку, а також визначати необхідні експлуатаційні обмеження, що перешкоджають розвитку дефектів.

Результати досліджень свідчать, що при використанні традиційних методів

теплового контролю пристроїв ЗА необхідна постійна присутність обслуговуючого персоналу і неможлива його автоматизація. Постійний контроль стає можливим при використанні автоматизованого способу контролю нагрівання.

Список використаних джерел

1. Mignogna, R. B. Thermographic investigation of high-power ultrasonic heating in materials [Text] / R. B. Mignogna, R. E. Green, J. Duke, E. G. Henneke, K. L. Reifsnider // Ultrasonics. – 1981. – V.7, P.159-163.
2. Favro, L. D. Infrared imaging of defects heated by a sonic pulse [Text] / L. D. Favro, X. Han, Z. Ouyang, G. Sun, H. Sui, R. L. Thomas // Review of Scientific Instruments. – 2000. – V.71(6). – P. 2418-2419.
3. Nordal, P. E. Photothermal radiometry [Text] / P. E. Nordal, S. O. Kanstad // Physica Scripta. – 1979. – 20 – P. 659-662.
4. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2008 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2009. – 63 с.
5. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2009 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2010. – 64 с.
6. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2010 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2011. – 65 с.
7. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2011 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2012. – 62 с.
8. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2012 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2013. – 71 с.
9. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2013 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2014. – 65 с.
10. Аналіз експлуатаційної роботи господарств галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2014 рік [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2015. – 69 с.
11. Аналіз експлуатаційної роботи господарств сигналізації та зв'язку за 2015 рік [Текст] / Публічне акціонерне товариство «Укрзалізниця». – К., 2016. – 72 с.
12. Бойник, А.Б. Диагностирование и прогнозирование состояния систем железнодорожной автоматики [Текст] / А.Б. Бойник // Залізн. трансп. України. – 2002. – № 4. – С. 2-7.
13. Афонин, А.В. Основы инфракрасной термографии [Текст] / А.В. Афонин, Р.К. Ньюпорт, В.С. Поляков [и др.] // ПЭИПК. – СПб., 2004. – 240 с.
14. Тымкул, О.В. Методика определения объемной формы объектов на основе поляризационной комбинированной термограммы [Текст] / О.В. Тымкул, В.М. Тымкул, О.К. Ушаков // Оптический журнал. – 1999. – Т. 66. – № 2. – С. 54-59.

15. Современные методы обработки сигналов [Текст] / В.Б. Выров, Ф.Н. Бузылёв, А.В. Герасимов [и др.] // Нелинейный мир. – 2010. – Т. 8, № 5. – С. 432-435.

16. Мисюк, Ю.П. Підвищення якості зображень тепловізійних засобів візуального спостереження охорони державного кордону [Текст] / Ю.П. Мисюк // Світлотехніка та теплоенергетика: наук.-техн. зб. – К.: НДІ ДПСУ, 2012.

17. Тарасов, В.В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа [Текст] / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков. – М.: Логос, 2004. – 444 с.

Бойнік Анатолій Борисович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматичного та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту.

Сільник Максим Ярославович, слухач групи МЗ-АТЗ-АКСУРП-Б-14 навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: max30122008@rambler.ru.

Boynik A.B., doct. of techn. sciences head of automation and computer telecontrol movement of trains Ukrainian State University of Railway Transport.

Silnyk Maksim Yroslavovuh, listener of research and training institute for training and skills development of Ukrainian state university of railway transport. E-mail: max30122008@rambler.ru.

Принята 25.02.2016 р.

УДК 693.5:624.43

ТРИВАЛА МІЦНІСТЬ З'ЄДНАНЬ БЕТОНІВ ПРИ ДІЇ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Кандидати техн. наук О.М. Пустовойтова, С.М. Камчатна, Н.О. Псурцева,
асп. Г.М. Литвинова

ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ БЕТОНОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Кандидаты техн. наук О.М. Пустовойтова, С.Н. Камчатная, Н.А. Псурцева,
асп. А.М. Литвинова

CREEP RUPTURE STRENGTH OF CONCRETE BOND UNDER STATIC LOADING

Ph.D. O. Pustovoitova, S. Kamchatna, N. Psurtseva, postgraduate G. Lytvynova

У статті подано дані про експериментальні дослідження міцності з'єднання бетонів акриловими клеями при дії тривалих розтягальних та стискальних статичних навантажень. Проаналізовано роботи з дослідження міцності з'єднань бетонів, які були зроблені вітчизняними й закордонними вченими. Наведено методику та результати експериментальних випробувань з визначення тривалої міцності бетонів, з'єднаних акриловими клеями.

Ключові слова: тривала міцність, акрилові клеї, методи визначення тривалої міцності, статичне навантаження.

В статье представлены данные об экспериментальных исследованиях прочности соединения бетонов акриловыми клеями при действии длительных растягивающих и сжимающих статических нагрузок. Приведен анализ работ по исследованию прочности соединений бетонов, которые были сделаны отечественными и зарубежными учеными. Приведены методика и результаты экспериментальных испытаний по определению длительной прочности бетонов, соединенных акриловыми клеями.

Ключевые слова: *длительная прочность, акриловые клеи, методы определения длительной прочности, статическая нагрузка.*

Data concerning experimental research of the strength of bonding concretes by means of acrylic glues under long lasting straining and compressing static loadings are presented in the article. The urgency of this research is stipulated by the necessity to carry out rigid and strong bonding of concrete samples within a short time while reconstructing buildings and constructions. To provide general strength of a building under reconstruction it is necessary to know mechanical strength characteristics of glue bond of concrete under long-term permanent loadings as well as to know design resistance of concrete bond by acrylic glue which must provide trouble-free performance of glue bond during all the service life of a construction. The analysis of the works on the investigation of the concrete bond strength made by home and foreign scientists are presented. The method and results of experimental tests on the determination of glued concrete load-carrying ability under straining samples bond by acrylic glue are presented.

Keywords: *Creep rupture strength, acrylic glues, methods of creep rupture strength determination, static loading.*

Вступ. Для забезпечення загальної міцності та стійкості споруд необхідне знання міцнісних характеристик клейового з'єднання старого бетону зі старим при тривалій дії постійних навантажень. Тому з достатньою надійністю варто знати розрахунковий опір з'єднання бетонів на акриловому клеї, яке повинно забезпечувати безаварійну роботу клейового з'єднання протягом усього терміну служби споруди.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. При проведенні робіт з ремонту та реконструкції споруд необхідно забезпечувати безаварійну роботу споруди після реконструкції. Це можливо зробити за допомогою клеїв на акриловій основі, які забезпечують міцність з'єднання бетонів при дії тривалих розтягальних та стискальних статичних навантажень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах з дослідження тривалої міцності [3-13] установлено, що

навантажений до деякого рівня бетон через певний час руйнується. При навантаженні менше від деякого граничного значення R_{bu} руйнування не відбувається, і ця величина є межею тривалої міцності [3].

Визначення мети та задачі дослідження. Актуальність поданих досліджень полягає в необхідності при ремонті, реконструкції, а також будівництві будинків і споруд у короткий строк здійснити міцне й тверде з'єднання бетонних і залізобетонних елементів. Ця проблема може бути успішно вирішена за рахунок використання акрилового клею, що дає змогу спростити технологічний процес і зменшити строк введення конструкцій в експлуатацію [1, 2].

Основна частина дослідження. Відповідно до даних ЦНИИСКА [4], розрахунковий опір клейових з'єднань приймається:

$$R_p = \frac{R}{k_1} k_{д.л.}, \quad (1)$$

де R – нормативний опір, встановлюється шляхом випробування зразків з урахуванням мінливості показників;

k_l – коефіцієнт надійності для клейових з'єднань, прийнятий рівним 1,2 [4];

$k_{д.л.}$ – коефіцієнт тривалої міцності:

$$k_{д.л.} = \frac{R_{д.л.}}{R_{вр.}}, \quad (2)$$

де $R_{д.л.}$ – тривала статична міцність;

$R_{вр.}$ – тимчасовий опір.

Тривала статична міцність клейових з'єднань залежить від величини прикладеного навантаження.

При визначенні тривалої міцності часто використовується метод далекої екстраполяції експериментальних даних. Це потребує визначення залежності між напругою в клейовому шві й терміном служби з'єднання. Дослідження з визначення залежності між довговічністю й напругою розвиваються в напрямку накопичення експериментальних даних і подальших теоретичних узагальнень. Теоретичні залежності між довговічністю й напругою ретельно перевіряються експериментальним шляхом, особливо вбік екстраполяції.

Прикладом залежності довговічності від напруги може бути формула [10]

$$\tau = A \cdot \sigma^{-B}, \quad (3)$$

де τ – безаварійний термін служби конст-рукції при напрузі в ньому σ ;

A і B – постійні величини.

Ця залежність виражається прямою лінією в напівлогарифмічній системі координат, тому вона зручна при екстраполяції даних на тривалі терміни служби.

Надалі Журковим С.Н. [11] була запропонована інша експонентна залежність:

$$\tau = A \cdot e^{-B\sigma}, \quad (4)$$

яка являє собою пряму в напівлогарифмічних координатах ($\sigma - \lg \tau$).

У [4] регламентується визначення тривалої міцності $R_{д.л.}$ для клейових з'єднань. Тривала статична міцність $R_{д.л.}$ визначається на рівні навантаження, під яким клейове з'єднання не руйнується протягом зазначеного часу. При цьому тривалість випробування обумовлена типом клею, уведенням клейового з'єднання й становить не менше $10^7 \dots 10^8$ с (120 доб й більше). За величиною тривалої статичної міцності визначається коефіцієнт тривалої міцності $k_{д.л.}$ як відношення тривалої міцності до короткочасної.

Таким чином, для визначення можливого розрахункового опору R_m клейового з'єднання старого бетону зі старим за пропонованою методикою необхідно:

а) на підставі великої вибірки короткочасних випробувань визначити нормативний опір клейового з'єднання;

б) досліджувати поведінку клейового з'єднання при впливі тривалого статичного навантаження й установити величину $R_{m,t}$ і $R_{m,l}$.

Дослідження з визначення несучої здатності склеєного бетону проводилися при розтягуванні на зразках, що являють собою бетонні (класу В15) напіввісімки, з'єднані акриловим клеєм. Задовільними випробуваннями вважали когезійне руйнування по бетону або комбіноване руйнування зразків, при якому досягається нормативна напруга в бетоні при розтягуванні. Тому максимальні навантаження будуть досягнуті на досить міцних зразках бетону. Товщина клейового шару склала 4 мм.

Випробування зразків виконувалося на розривній машині Михаеліса.

При статистичній обробці результатів випробувань був використаний спосіб сум. У результаті випробувань встановлена

величина розрахункового опору клейового з'єднання $R_{ml,t} = 1,24$ МПа.

При тривалих діях навантаження межа міцності всіх конструктивних матеріалів, у тому числі полімерів, має менше значення, ніж при короткочасному навантаженні. Експерименти з визначення тривалої статичної міцності виконувалися на установці, наведеній на рис. 1.

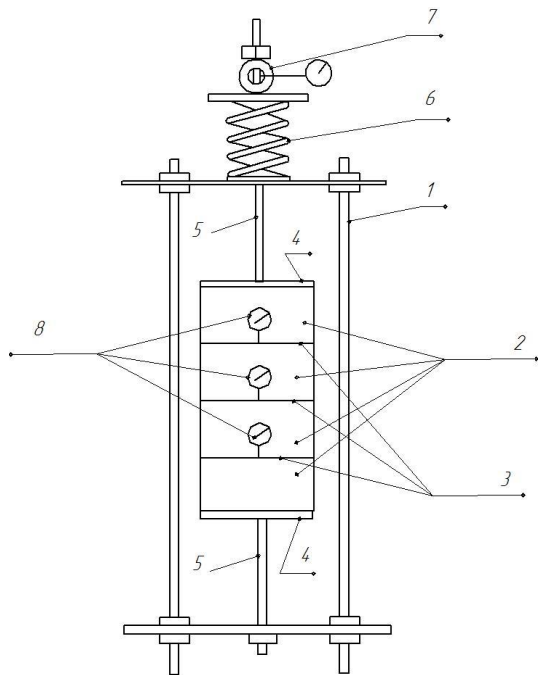


Рис. 1. Схема установки для проведення досліджень при тривалому статичному навантаженні:

1 – стоек; 2 – бетонні зразки; 3 – клейовий шар; 4 – металева пластина; 5 – тяга; 6 – силова пружина; 7 – динамометр; 8 – годинний індикатор

Стойки 1 цієї установки розраховані на 5 т. Дослідження виконувалися на бетонних зразках 2 розміром $100 \times 100 \times 150$ мм, склеєних між собою по чотири штуки акриловим клеєм (склад 1:1:1,5) [1, 2]. Товщина клейового шару 3 складала 4 мм.

Навантаження передавалося на зразки тарованою пружиною 6. Величина навантаження встановлювалася за допомогою динамометра 7.

Крайні бетонні пластини були приклеєні до металевих пластин 4 перерізом 100×100 мм і товщиною 10 мм. По осі пластини був утворений отвір діаметром 14 мм і нарізана різь, у яку закріплювалися тяги 5. Іншим кінцем вони кріпилися на нижній опорі стенда. Потім у верхню металеву пластину закріплювали верхню тягу, що проходила через верхню опору стенда, пружину й динамометр. Після закінчення монтажу стенда гайкою 14 мм затягалася верхня тяга, а відлік навантаження вівся по індикатору. Після навантаження стенда замірявся час до руйнування зразків.

Установлено, що залежність часу до руйнування від напруги в клейовому з'єднанні має вигляд прямої, рівняння якої може бути подане у вигляді

$$\lg \tau = \lg A - B \cdot \lg x, \quad (5)$$

або

$$\lg \tau = 35,69 - 29,09 \cdot \lg R_{mt}. \quad (6)$$

Визначимо значення R у граничних умовах. Максимальне значення R приймемо при $\tau = 0$, тоді

$$35,69 = 29,09 \cdot \lg R_{mt},$$

звідки

$$R_{mt} = 16,85 \text{ кгс/см}^2 = 1,685 \text{ МПа}.$$

Значення R_{mt} при $\tau = 50$ років (438000 год) $R_{mt} = 10,7 \text{ кгс/см}^2 = 1,07 \text{ МПа}$, коефіцієнт тривалої міцності складе $k_{dl} = \frac{1,07}{1,59} = 0,67$.

Таким чином, розрахунковий опір клейового з'єднання становить

$$R_{ml,t} = \frac{1,59}{1,2} \cdot 0,67 = 0,89 \text{ МПа}.$$

Отримані результати свідчать про те, що це з'єднання має необхідну несучу здатність, тому що розрахунковий опір

з'єднання бетонів класу В15 акриловим клеєм ($R_{ml,t} = 0,89$ МПа) перевищує розрахунковий опір бетону класу В15 на розтягання в 1,2 рази.

Міцність склеєних елементів, як встановлено в результаті короточасних випробувань, визначається тільки міцністю бетону й тому таке з'єднання можна (з певним ступенем вірогідності) розглядати як монолітне (незалежно від товщини клейового шва) [2, 6, 7, 12].

Такі передумови дають змогу визначати величину міцності старого бетону за залежністю, запропонованою А.В. Яшиним [13]:

$$R_{ml} = R_b(0,92 - 0,041g(t - \tau)), \quad (7)$$

де t – вік бетону до моменту визначення міцності, доб;

τ – вік бетону в момент навантаження, доб.

Якщо прийняти в (7), що $(t - \tau) = 18250$ доб (50 років), то тривала міцність з'єднання становить 0,75 від короточасної міцності.

Експериментальні дослідження з визначення тривалої міцності з'єднань бетонних елементів при стиску проводилися на цілих і з'єднаних зразках-призмах розмірами 100x100x400 мм, товщина клейового шва становила 3, 6 і 9 мм. Усі зразки були об'єднані відповідно у дві групи. Першу групу склали цілі й склеєні зразки-призми з бетону класу В12,5, а другу – В25, що дало змогу одержати значний експериментальний матеріал.

Основною метою експериментальних досліджень було одержання відсутніх у технічній і нормативній літературі даних про вплив часу дії постійного навантаження на міцність і модуль пружності.

Для проведення тривалих випробувань цілих і з'єднаних акриловим клеєм зразків на стиск були використані спеціальні установки – УДИ-60 (рис. 2).

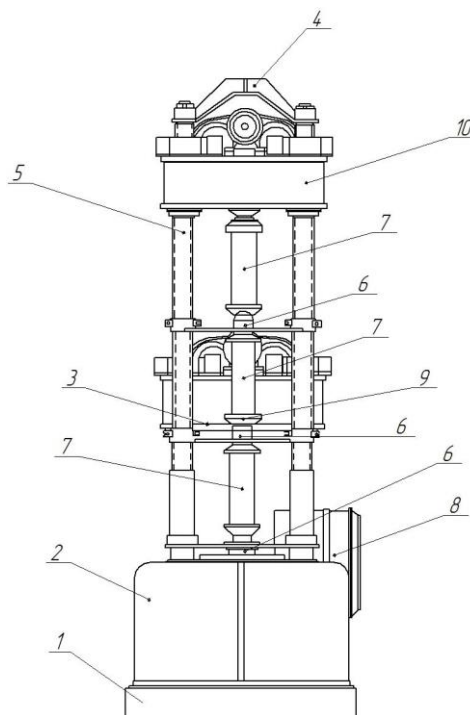


Рис. 2. Схема установки УДИ-60 для тривалих випробувань зразків клейових з'єднань на стиск:

1 – станина, 2 – рама, 3 – напрямна, 4 – перемичка, 5 – гвинт, 6 – мездоза, 7 – випробувальний зразок, 8 – електродвигун, 9 – кульова опора, 10 – верхня траверса

У кожен з установок поміщали по три цілих або з'єднаних акриловим клеєм випробувальних зразка-призми одного класу бетону. Процес навантаження до прийнятого рівня напруг займав 3...5 хв. Зусилля у випробувальних установках створювали за допомогою гідравлічного насоса і його приймали постійними у часі, тобто $\sigma_u = \text{const}$. Рівень напруг був прийнятий (на підставі даних короточасних випробувань випробувальних зразків) для трьох зразків кожної серії відповідно: 0,95; 0,88; 0,84 від короточасної міцності.

Отримані експериментальні величини описуються залежністю, МПа,

$$\sigma = -\frac{\ln\left(\frac{\tau}{A}\right)}{\alpha}, \quad (8)$$

де τ – довговічність, год;

A – постійна для прийнятого класу бетону, год;

α – постійна для прийнятого класу бетону, МПа⁻¹.

У залежності (8) A і α мають для з'єднаних акриловим клеєм елементів з бетону класу В12,5 значення відповідно $1,5 \cdot 10^{22}$ і $\alpha = 4$, а для з'єднань із бетону класу В25 – $1,15 \cdot 10^{29}$ і $\alpha = 2,8$.

Необхідно відзначити, що при тривалій дії постійного навантаження межа міцності всіх випробувальних зразків-призм (як цілих, так і склесених) менше, ніж

при короткочасному навантаженні. Крім того, випробовувані зразки протягом усього періоду дії навантаження мали мінімальні відхилення від середніх величин міцності й часу, які не перевищували $\pm 5\%$.

Висновки. Результати проведених досліджень дають змогу зробити висновок про те, що акриловий клей має зміцнюючий вплив на бетон. Зміцнюючий вплив клейового шва є додатковим резервом міцності клейового з'єднання бетонів, що забезпечують надійність стиків [12].

Надалі передбачається провести дослідження тривалої міцності при динамічних навантаженнях.

Список використаних джерел

1. Использование акриловых клеев для реконструкции и ремонта зданий и сооружений [Текст] / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, А.О. Гарбуз, С.М. Золотов // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2008. – Вип. 61. – С. 341-342.
2. Золотов, М.С. Акриловые клеи для усиления, восстановления и ремонта бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / М.С. Золотов, Н.А. Псурцева // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59. – С. 440-447.
3. Фрейдин, А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений [Текст] / А.С. Фрейдин. – М.: Химия, 1981. – 270 с.
4. Пособие по расчетным характеристикам клеевых соединений для строительных конструкций [Текст]. – М.: ЦНИИСК, 1982. – 66 с.
5. Бабич, Є.М. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень [Текст] / Є.М. Бабич, Ю.В. Крусь. – Рівне, 1999. – 119 с.
6. Золотов, М.С. Обеспечение прочности соединения бетона акриловыми клеями при ремонте и реконструкции зданий и сооружений [Текст] / М.С. Золотов, Н.А. Псурцева // Реконструкция и капитальный ремонт зданий и сооружений. – К.: Вузполиграфиздат, 1999. – С. 38-47.
7. Золотов, М.С. Соединение бетонных элементов акриловым клеем [Текст] / М.С. Золотов, Н.А. Псурцева // Метрострой. – 1996. – № 6. – С. 9.
8. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении [Текст] / Харьковский Промстройпроект. – М.: Стройиздат.1990. – 176 с.
9. Крепление оборудования к готовым фундаментам [Текст] / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, Ю.М. Смолянинов [и др.]. – Харьков: НТО Стройиндустрия, 1992. – 37 с.
10. Журков, С.Н. Временная зависимость прочности твердых тел [Текст] / С.Н. Журков // Журнал технической физики. – 1953. – Т. XXIII. – Вып. 10. – С. 11-25.
11. Журков, С.Н. Исследование прочности твердых тел [Текст] / С.Н. Журков, Э.Е. Томашевский // Журнал технической физики. – 1955. – Т. XXX. – Вып. 10. – С. 36-47.
12. Мельман, В.А. Длительная прочность и деформативность центрально сжатых бетонных элементов, соединенных акриловым полимерраствором [Текст] / В.А. Мельман,

М.Ю. Смолянинов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2003. – Вип. 9. – С. 257-263.

13. Яшин, А.В. Прочность и деформации бетона при различных скоростях загрузки [Текст] / А.В. Яшин // Воздействие статических, динамических и многократно повторяющихся нагрузок на бетон и элементы железобетонных конструкций: научн.-техн. сб. НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1972. – С. 23-39.

14. Samorodov A.V., Tabachnikov S.V. A New Method of Determining Pile Skin Friction Forces that Considers the Direction of Vertical Load, Article Soil Mechanics and Foundation Engineering, January 2016, Volume 52, Issue 6, pp 329-334.

Рецензент д-р техн. наук, професор Л.В. Трикоз

Пустовойтова Оксана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Тел.: (057) 707-31-07.

Камчатна Світлана Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-67.

Псурцева Ніна Олексіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Тел.: (057) 707-31-07.

Литвинова Ганна Михайлівна, аспірант кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Тел.: (057) 707-31-07.

Pustovoitova Oksana, Ph.D., Associate Professor of «Building construction» department, Kharkov National University of the municipal economy, named A.N.Beketov, Kharkiv, Ukraine.

Kamchatna Svitlana, Ph.D., Associate Professor of «Track and Track Facilities» department, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

Psurtseva Nina, Ph.D., Associate Professor of «Building construction» department, Kharkov National University of the municipal economy, named A.N.Beketov, Kharkiv, Ukraine.

Lytvynova Ganna, postgraduate of «Building construction» department, Kharkov National University of the municipal economy, named A.N.Beketov, Kharkiv, Ukraine.

Прийнята 25.02.2016 р.

УДК 629.463.65

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ КУЗОВА НАПІВВАГОНА ТА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЙОГО КОНСТРУКЦІЇ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ І ЗБЕРЕЖЕННЯ

Канд. техн. наук Р.І. Візняк, інж. І.В. Чепурченко, магістрант А.О. Яценко

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК КУЗОВА ПОЛУВАГОНА И ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕГО КОНСТРУКЦИИ С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И СОХРАННОСТИ

Канд. техн. наук Р.І. Візняк, інж. І.В. Чепурченко, магістрант А.О. Яценко

FEATURES OF IDENTIFYING OPERATIONAL LOADS THE BODY OF OPEN-TOP CAR AND WAYS OF IMPROVING ITS DESIGN TO ENSURE DURABILITY AND PRESERVATION

Ph.d., Associate Professor R. Viznyak, Engineer I. Chepurchenko, master student A.Yatsenko

У статті розглянуто фактори, що впливають на міцність універсальних напіввагонів у експлуатації, проведено аналіз їх характерних пошкоджень і несправностей. Побудовано скінченноелементні моделі конструкції і виконано оцінювання напружено-деформованого стану. Запропоновано заходи щодо посилення і модернізації слабких місць конструкції кузова, які зазнають впливу значних знакозмінних навантажень при першому режимі експлуатації і виконанні розвантажувальних робіт.

Ключові слова: кузов напіввагона, несуча конструкція, насипний вантаж, розвантажувальні роботи, пошкодження та несправності, міцність та збереження, удосконалення конструкції.

В статье рассмотрены факторы, влияющие на прочность универсальных полувагонов в эксплуатации, проведен анализ их характерных повреждений и неисправностей. Построены конечноэлементные модели конструкции и произведена оценка напряженно-деформированного состояния. Предложены мероприятия по усилению и модернизации слабых мест конструкции кузова, подверженных значительным знакопеременным нагрузкам при первом режиме эксплуатации и выполнении разгрузочных работ.

Ключевые слова: кузов полувагона, несущая конструкция, насыпной груз, разгрузочные работы, повреждения и неисправности, прочность, сохранность, усовершенствование конструкции.

The article describes the factors influencing the strength of universal gondolas in operation, the analysis of their typical damages and malfunctions. Proposed measures to enhance and modernize the weaknesses of the body structure, prone to significant alternating sign undergo continuous weighting when first operating mode and performing operations. This article contains information about the strength and reliability of universal gondola cars, the analysis of their typical damages and malfunctions. Finite element models built designs and rated tensely-deformed state. Proposed solution to enhance and modernize the structure of one of the important elements of the body work of the car-a smart host that is prone to significant continuous operation. The article deals with the structural performance and operational loads acting in the exercise for of loading

and unloading by means of mechanization. Calculate made the strength of the current and future covers of open-top car.

Keywords: *body carriage, carrier, bulk cargo, unloading, damage, malfunctions, durability, safety, improvement of construction.*

Вступ. У статті розглянуто заходи зі зміцнення та модернізації конструкції важливих елементів кузова – проміжних вузлів заділок вертикальних стояків та балок несучого каркаса і кришок люків підлоги з метою забезпечення міцності і збереження напіввагонів (НПВ) у експлуатації.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Несуча конструкція існуючих НПВ принципово не змінювалася з 70-х років минулого століття, тобто кузовна і каркасна частини потребують значних удосконалень та зміни конструкції, для того щоб відповідати сучасним тенденціям світового вагонобудування та потребам і вимогам вантажоперевізників, де важливими аспектами є підвищення вантажопідйомності, швидкості руху та загалом міцності. Вихід у неробочий парк напіввагонів, які не пройшли гарантований післяремонтний пробіг, здебільшого є наслідком пошкоджень елементів кузова при здійсненні вантажно-розвантажувальних робіт (ВРР) з порушенням діючих нормативних документів. Ця тенденція чітко спостерігається в портах, на розвантажувальних майданчиках промислових підприємств та електростанціях, де йде масове вивантаження насипних і навалочних вантажів з НПВ за допомогою підйомних кранів, що обладнані рейферними ковшами [1,2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З метою проведення досліджень для оцінки міцності елементів несучої конструкції кузовів суцільнометалевих НПВ було здійснено їх натурний огляд, збирання та систематизацію статистичних даних характерних пошкоджень при розвантажувальних операціях (РО).

Головним чином приділялася увага характерним несправностям і пошкодженням, що відповідають застосуванню існуючих технічних засобів при виконанні РО згідно з опрацьованою авторською класифікацією. Виявлено, що вузли заділок стояків кузова та балок рами і кришки розвантажувальних люків НПВ найбільше зазнають руйнівного впливу, оскільки сприймають знакозмінні навантаження, які виникають у процесі експлуатації та при РО. Найбільш поширеною причиною пошкоджень у вигляді обривів у вузлах заділок та залишкових прогинів у елементах конструкції кришки люка є недотримання державних стандартів, які регламентують параметри та нормативи для використання засобів механізації [3,4].

Визначення мети та задачі дослідження. Для оцінювання технічного стану НПВ на початковому етапі було вибірково обстежено більше 500 НПВ різних моделей. Зібраний ряд пошкоджень фіксувався за конструкційними вузлами кузова і класифікувався детальніше за елементами конструкції окремого вузла. Таким чином, було поставлено мету дослідження міцності і збереження НПВ, розроблення рекомендацій і заходів щодо її забезпечення. При побудові відповідних гістограм закону розподілення несправностей функції $P(t)$ визначено, що найменш надійними елементами конструкції кузова НПВ в експлуатації є підлога, що створена кришками люків, торцеві стіни, але особливо вузли заділок проміжних бокових стояків з рамою [6]. В експлуатації саме ці елементи зазнають масової кількості пошкоджень та отримують різні за характером складності несправності. Тому як задачі дослідження, що спрямовані на забезпечення міцності

цих елементів конструкції, має бути розглянуто напрямки зміцнення їх найбільш слабких місць шляхом доопрацювання існуючих і дано відповідні рекомендації.

Основна частина дослідження. Для вирішення задачі з визначення найбільш завантажених вузлів з метою їх подальшого удосконалення було побудовано і використано тривимірну модель універсального НПВ 12-757 у програмному комплексі SolidWorks 2012, згідно з аналізом рекомендацій [8-11]. З наведених розрахунків (рис. 1) видно, що вузол з'єднання стояка бокової стіни з рамою є одним з найбільш завантажених частин

кузова НПВ. Це пов'язано з кінематикою прикладення зусиль розпору та зовнішніх сил від ваги вантажу. Найбільші значення напружень виявлені у зонах вузлів стояків та балок посередині довжини рами із зовнішнього боку, де вони працюють на стискання і часто перевищують припустимі значення [5]. З метою відведення та розподілення концентрації напружень запропоновано спеціальну підсилюючу металеву накладку товщиною 20 мм (рис. 2). Вузол задовольняє межі міцності сталі, яка використовується у вагонобудуванні, але вже при проектуванні конструкційних вузлів нових зразків НПВ.

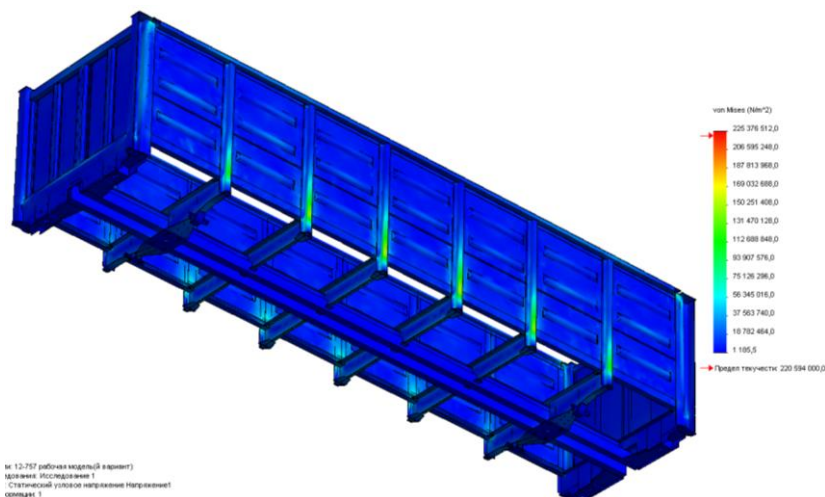


Рис. 1. Розподіл полів напружень у конструкції кузова

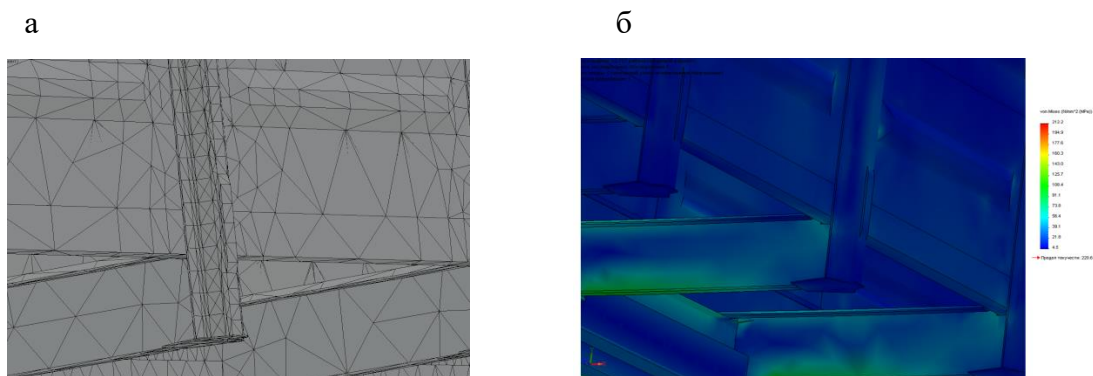


Рис. 2. СЕМ підсиленого вузла заділки стояка з балкою:
а – з нанесенням сітки; б – з визначенням полів напружень за першим режимом

Шляхом установлення спеціально спроектованого підсилення у конструкцію

вузла заділки вертикального стояка несучої конструкції кузова вдалося зменшити

концентрацію напружень, які виникають унаслідок прикладання зусиль розпору насипного вантажу і позитивно перерозподілити їх на балки рами, які мають суттєво більший запас міцності і працюють на вигин. Максимальні напруження не перевищили 212 МПа і перебувають у рамках межі текучості сталей [5], які використовуються у вагонобудуванні для несучої конструкції НПВ та значно менші від величини напружень, ніж у непідсиленому стояку.

Стосовно кришок розвантажувальних люків НПВ, вони є допоміжними несучими елементами і являють собою комбіновану конструкцію, що складається з каркаса рамного типу і гофрованого листа, з'єднаних поміж собою електродуговим контактним зварюванням. Жорсткість на вигин об'язки і середньої балки значно більше від жорсткості листа як пластинчастого елемента.

Для з'ясування особливостей динамічної взаємодії кришки люка з грейфером було прийнято обмеження –

випадок центрального поперечного удару щелепи грейфера по кришці з урахуванням впливу місцевих деформацій у точках контакту, що відповідає кінцевій стадії вивантаження (рис. 3). Коливаннями грейфера, як пружного ударного тіла, нехтували, а відхилення балок каркаса кришки описувалося за допомогою диференціальних рівнянь теорії одновимірних коливань. Ударні навантаження, що діють на кришки люків НПВ, є найбільш небезпечними для міцності їх конструкційних елементів. Розрахункові напруження склали від 300 до 6000 МПа для грейферів різних мас при стандартних швидкостях опускання, що значно вище тих, що припускалися [4,5]. Дані розрахунку з розвантажувальних швидкостей грейфера показали, що величина прогинів досягає 70 мм і більше, тобто грейферне вивантаження призводить до пошкодження елементів кузовів НПВ і в загальному випадку – до зниження їх міцності і збереження, що остаточно негативно позначається на їх надійності в експлуатації.

а



б



Рис. 3. Кінцева стадія розвантаження НПВ:
а – грейфер над кузовом; б – грейфер на підлозі кузова

Одним з альтернативних рішень цієї проблеми може бути створення нової конструкції кришки люка, яка буде забезпечувати достатню міцність у порівнянні з існуючою конструкцією.

Кришка люка напіввагона є комплексним елементом НПВ і призначена для установлення на 4- та 8-вісні кузова. Існуюча конструкція кришки люка не відповідає тим навантаженням, які вона

сприймає при розвантаженні грейферним способом. Для забезпечення достатньої міцності та уникнення появи остаточних деформацій запропонована нова конструкція кришки люка. Переважною особливістю цієї кришки люка є посилене виконання обв'язки, гладкий лист обшивки та установлення литих кронштейнів. Також у конструкції є додаткові розкоси для забезпечення достатньої міцності. Крім цього, можлива модифікація кришки люка з кронштейнами з кутикового профілю.

Для оцінювання міцності при прийнятих конструкційних рішеннях було проведено розрахунки за допомогою методу скінчених елементів.

Навантаження кришки обумовлене імітацією власної ваги насипного вантажу з урахуванням найбільш несприятливого розподілення зусиль. Найбільші значення напружень були виявлені в районі закріплення петель та приварки опорних кронштейнів, але для високоміцних марок сталей, що використані при побудові кришки (alform600, $\sigma_T=600$ МПа), вони не наближаються до межі текучості. Конструкція працює в умовах пружної деформації, де значення максимальних еквівалентних напружень не перевищують гранично допустимих значень межі текучості сталі [6]. Величини напружень, МПа, позначено на рис. 4.

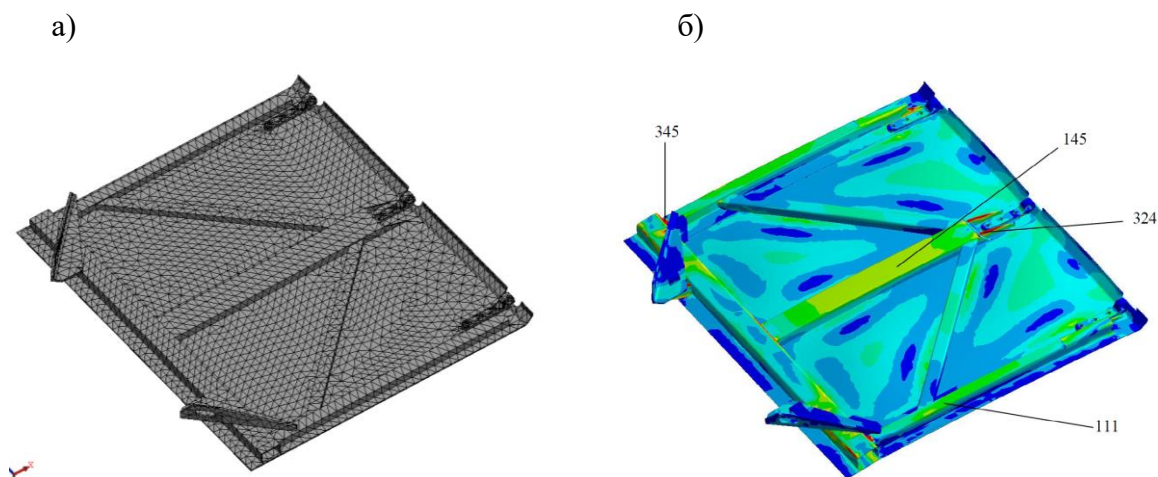


Рис. 4. Кришка люка удосконаленої конструкції:

а – скінчено-елементна модель кришки люка; б – напружений стан при завантаженні

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. При існуючій механізації та недотриманні вимог нормативних документів для здійснення вантажно-розвантажувальних операцій існуюча конструкція НПВ і далі буде схильна до пошкоджень і несправностей, що вимусить переводити вагони до неробочого парку з передбачуваними матеріальними наслідками для вантажовідправників та вантажоприймачів.

Для забезпечення міцності НПВ і при проектуванні їх нових зразків необхідно

передбачити такі конструкційні рішення, які даватимуть змогу краще адаптувати вагони до класичних способів ВРР і значно покращити збереження парку вантажного рухомого складу в цілому.

Проведені дослідження існуючої конструкції кришки люка НПВ від дії реальних навантажень, які виникають у процесі експлуатації, дають змогу зробити висновок, що напруження та деформації перевищують допустимі граничні значення межі текучості матеріалу. Для підвищення міцності і збереження НПВ запропонована нова конструкція кришки люка з гладким

листом обшивки, яка може мати суттєві конструкційно-експлуатаційні та технологічні переваги.

Необхідно поступово замінити рейферний спосіб вивантаження з НПВ напашних вантажів на нові засоби, що відповідають вимогам сумісності, міцності

і збереження НПВ, наприклад, згідно з [7], упроваджувати нове високотехнологічне розвантажувальне обладнання у виробництво, удосконалювати конструкційні елементи НПВ з метою їх зміцнення та адаптування під важкі умови експлуатації.

Список використаних джерел

1. Сендеров, Г.К. Исследование основных причин повреждаемости полувагонов на дорогах Урала и Сибири и предложения по их сохранности [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук / Г.К. Сендеров. – М.:ВНИИЖТ, 1964. – 18 с.
2. Сендеров, Г.К. Обеспечение сохранности полувагонов при рейферной выгрузке грузов [Текст] / Г.К. Сендеров, Е.В. Глаголев, Е.А. Поздина // Железнодорожный транспорт. Сер. Вагоны и вагонное хозяйство. Ремонт вагонов: ЭИ / ЦНИИТЭИ МПС. – М., 2001. – Вып.1. – С. 1-8.
3. ДСТУ ГОСТ 22235-76. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ [Текст]. – М., 1999. – 85 с.
4. ДСТУ ГОСТ 24599-87. Рейферы канатные для навалочных грузов. Общие технические условия [Текст]. – М., 1997. – 48 с.
5. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М., 1996. – 258 с.
6. Устич, П.А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава [Текст] / П.А. Устич, В.А. Карпычев, М.Н. Овечников. – М.: Вариант, 1999. – 416 с.
7. Візник, Р.І. Піввагон і рейфер: вічна проблема несумісності [Текст] / Р.І. Візник, І.В. Чепурченко, В.О. Шевченко // Вагонный парк. – 2011. – №1. – С. 24-28.
8. Anyakwo A. Modelling rail vehicle dynamics using a novel 2d wheel-rail contact model [Text] / A. Anyakwo, C. Pislaru, A. Ball // Electrical and Electronics Engineers. – 2013. – №5. – P. 463-468.
9. Huang Z. The longitudinal dynamics of heavy-haul trains in the asynchronous brake control system [Text] / Z. Huang, H. Tong, Y. Fan // Electrical and Electronics Engineers. – 2010. – №3. – P. 900-903.
10. Ansari M. Longitudinal dynamics of freight trains [Text] / M. Ansari, E. Esmailzadeh, D.Younesian [Text] // International journal of heavy vehicle systems. – 2009. – № 16(1-2). – P. 102-131.
11. Bruni S. Modelling of suspension components in a rail vehicle dynamics context [Text] / S.Bruni, J.Vinolas, M.Berg, O.Polach, S.Stichel // Vehicle system dynamics / IEEE. – 2011. – № 49(7). – P. 1021-1072.

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

Візник Руслан Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)7301035. E-mail:viz-kart@edu.ua.

Чепурченко Ілля Вадимович, інженер. Тел.: (057)3383878. E-mail: ilyadrums@rambler.ru.

Яценко Анастасія Олексіївна, магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)7301035.

Viznyak Ruslan Ivanovich Ph.D., Associate Professor department of cars, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)7301035. E-mail:viz-kart@edu.ua.

Chepurchenko Illiya Vadimovich, engineer. Тел.: (057)3383878. E-mail: ilyadrums@rambler.ru.

Yatsenko Anastasiya Oleksiivna, Master student, department of cars, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)7301035.

Прийнята 25.02.2016 р.

УДК 625.032

ВПЛИВ ПОСТІЙНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕС ЗЧЕПЛЕННЯ МІЖ КОЛЕСОМ ТА РЕЙКОЮ

Асп. О.В. Волков

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС СЦЕПЛЕНИЯ МЕЖДУ КОЛЕСОМ И РЕЛЬСОМ

Асп. А.В. Волков

EFFECT OF CONSTANT MAGNETIC FIELD ON THE PROCESS OF ADHESION BETWEEN WHEELS AND RAILS

Graduate student A.V. Volkov

У статті пояснена актуальність використання методів впливу на характеристики зчеплення між колесом та рейкою та приведено результати пошукових досліджень існуючих методів. Описано результати вдосконалення стенда для дослідження параметрів зчеплення, а також проведено експериментальні дослідження з вивчення впливу зовнішнього магнітного поля на зміну характеристик зчеплення в модельному контакті «колесо-рейка».

Ключові слова: колесо, рейка, коефіцієнт зчеплення, магнітне поле, сила тертя.

В статті об'ясована актуальність використання методів впливу на характеристики сцепления между колесом и рельсом и приведены результаты поисковых исследований существующих методов. Описаны результаты совершенствования стенда для исследования параметров сцепления, а также проведены экспериментальные исследования по изучению влияния внешнего магнитного поля на изменение характеристик сцепления в модельном контакте «колесо-рельс».

Ключевые слова: колесо, рельс, коэффициент сцепления, магнитное поле, сила трения.

In the article actuality of the use of methods of influence is explained on descriptions of coupling between a wheel and rail and results over of searching researches of existent methods are brought. For example, to such it is possible to take a key-in through the contact of electric current and magnetic-field. According to these researches the coefficient of rolling friction grew from 0,325 to 0,512 at the key-in of electric current, and from 0,176 to 0,220 at influence the magnetic field. The results of perfection of stand are described for research of coupling parameters, namely possibility of his connecting to the personal computer and setting of electric drive. Connecting to the personal computer allowed to fix the got results on electronic carriers in future to work with

them in different electronic resources and programs. Setting of electric drive allowed to revolve a disk that imitates a driving-wheel, evenly and with an identical twisting moment. Due to these measures the increase of exactness of measuring and calculations was attained during realization of researches. Realization of experimental researches is also described on the study of influence of external magnetic-field on the change of coupling descriptions in a model contact "wheel-rail".

Keywords: *wheel, rail, adhesion coefficient, magnetic field, friction force.*

Вступ. Всебічні дослідження процесу зчеплення колеса із рейкою є актуальними питаннями протягом довгого періоду часу для багатьох учених [1-3]. Такі дослідження є ключем для створення нових засобів та методів керування силою зчеплення між контактуючими поверхнями, зношуванням гребенів коліс та рейок. Оскільки процес контактної взаємодії колеса із рейкою залежить від великої кількості змінних факторів [4, 5], виникає проблема забезпечення стабільних фрикційних зв'язків у контакті, незалежно від сукупності таких факторів. Це може бути реалізовано за рахунок виділення основних факторів, що впливають на зчеплення, та підведення до зони контакту додаткової енергії такої ж самої природи, що створить умови для керування зчепленням колеса із рейкою.

Огляд попередніх досліджень. Як уже відомо [6], основним фізичним фактором, що забезпечує можливість поступального руху ведучого колеса будь-якого колісного транспортного засобу, є тертя між колесом і опорною поверхнею (у нашому випадку рейкою). Тертя, з точки зору фізики, складається із цілого комплексу різноманітних фізико-механічних процесів, які відбуваються у поверхневих шарах контактуючих тіл.

Розрізняють два основних види взаємодії при терті [7]: механічна та молекулярна. Механічна взаємодія характеризується взаємним проникненням контактуючих точок унаслідок деформації тіл при високих питомих тисках. Молекулярна взаємодія пов'язана із взаємним тяжінням контактуючих твердих тіл, яке викликане нерівноваженим станом їх поверхневих атомів. Кількісні

співвідношення між двома видами контактної взаємодії колеса із рейкою сьогодні не мають повного теоретичного та експериментального обґрунтування, однак для тертя кочення або кочення з проковзуванням відомо, що такі співвідношення залежать від умов і особливостей контакту. Виходячи з того, що в контакті колеса із рейкою виникають напруження, близькі до межі міцності матеріалів, можна припустити, що молекулярна складова контактної взаємодії переважає над механічною в області дії таких напружень, тобто в такій області, де поверхні зближуються до атомарної шорсткості.

Молекулярні сили тертя мають електромагнітну природу, що у свою чергу дає змогу на теперішньому етапі досліджувати та створювати нові методи впливу на контакт. Принцип дії таких методів полягає у зміні властивостей контактуючих матеріалів під дією зовнішніх електричних та магнітних полів.

Вплив на молекулярну складову силу тертя описав у своїй роботі професор Марков Д.П [8]. Згідно з його дослідженнями, процес зчеплення слід розглядати при наближенні контактуючих поверхонь до рівня атомарної шорсткості. У цьому випадку запропонована ним фононна теорія тертя передбачає, що зовнішня енергія може використовуватися для збудження коливань атомів (фононів). Зміна коливань фононів призводить до суттєвої зміни електромагнітної взаємодії між контактуючими поверхнями, що неодмінно впливає на молекулярну складову сили тертя. Впливати на коливання атомів можна використовуючи струм і зовнішні силові поля електричної або магнітної природи.

Пропускання через контакт «колесо-рейка» струму та магнітного поля описав у своїй роботі Воробйов Д.В. Згідно з проведеними ним експериментальними дослідженнями [9] було встановлено, що при пропусканні через контакт електричного струму коефіцієнт зчеплення зростає з 0,325 до 0,512, а при впливі магнітним полем коефіцієнт зчеплення зростає з 0,176 до 0,220. Дослідження виконувались на установці, яка виконана за схемою «диск-площина», яка імітувала взаємодію колеса з рейкою.

Мета роботи полягає у вивченні впливу постійного магнітного поля на зміну параметрів зчеплення між колесом та рейкою.

Основна частина досліджень.

Проводити експериментальні дослідження параметрів зчеплення можна на різноманітному обладнанні, яке дає змогу імітувати контакт «колесо-рейка» [10]:

повномасштабні коткові стенди, портативні трибометри, лабораторні установки тощо. Пошукові дослідження роботи пропонується виконати на стенді, характеристики якого наведені в роботі [10].

Стенд (рис. 1) для дослідження фрикційних характеристик контакту «колесо-рейка» дає змогу імітувати процес зчеплення в системі «диск-площина» [10]. Диск імітує ведуче колесо, а площа – поверхню кочення головки рейки. Диск має сферичну форму поверхні кочення. Це дає змогу відтворити процес кочення колеса по рейці в умовах односточкового контакту, коли форма поверхні контакту має еліптичну форму. Подальше вдосконалення стенда, а саме встановлення електричного привода, дало змогу обертати диск рівномірно і з однаковим крутним моментом. Цим було досягнуто підвищення точності вимірювань, які виконувались на стенді.

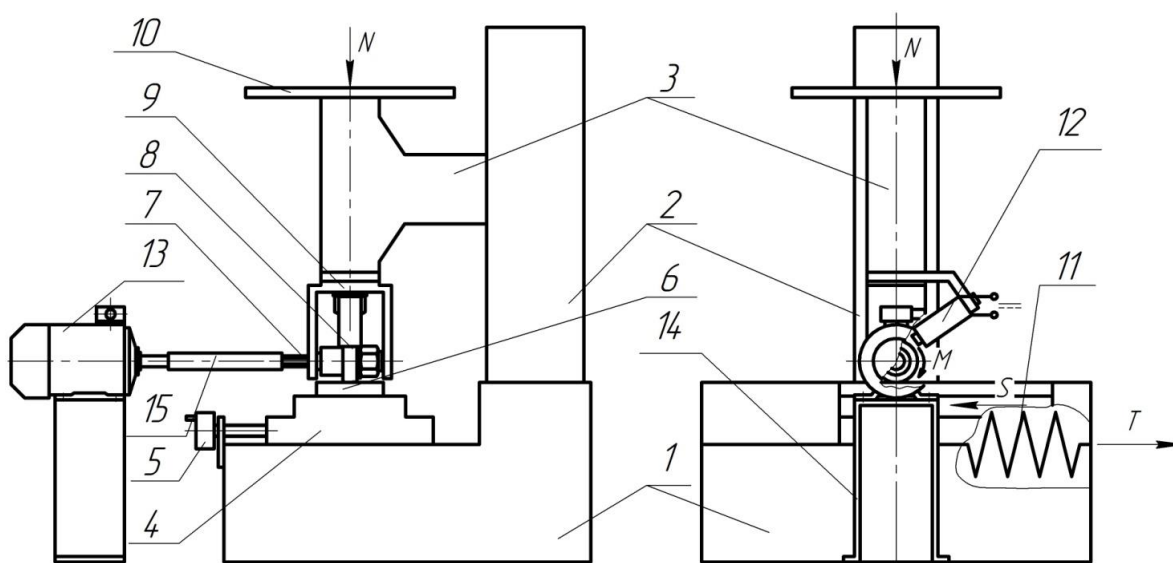


Рис. 1. Схема лабораторного стенда:

- 1 – станина; 2 – колонка; 3 – кронштейн; 4 – предметний стіл; 5 – маховик поперечної подачі; 6 – контактна площа; 7 – приводний вал; 8 – контактний ролик; 9 – стояк ролика; 10 – площа навантаження; 11 – пружини; 12 – електромагніт; 13 – електродвигун; 14 – стояк електродвигуна; 15 – з’єднувальна муфта

Для перевірки впливу залишкової намагніченості диска на параметри зчеплення на стенд було встановлено електромагніт постійного струму, який являє собою соленоїд зі сталевим осердям.

Принцип дії стенда полягає в тому, що до контактної ролика 8 за допомогою стояка 9 та площини 10 прикладається задане нормальне навантаження N . Потім вмикання електродвигуна 13 створює на приводному валу 7 крутний момент M , який змушує рухатись контактну площину 6 у напрямку S . Пружини 11 створюють опір переміщенню контактної площини 6. У певний момент нормального навантаження N не вистачає, щоб протидіяти пружинам 11 і переміщувати контактну площину 6 далі. Тоді відбувається зрив зчеплення.

Під предметним столом 4 до станини 1 прикріплено лінійний потенціометр. Бігунок потенціометра з'єднаний з предметним столом і під час випробувань переміщується разом з ним. Потенціометр через кабель з MIDI-портом під'єднується до персонального комп'ютера. Це дає змогу фіксувати різницю потенціалів з потенціометра у вигляді графіка, який описує залежність сили тертя від переміщення предметного стола. У момент зриву (переходу від кочення до ковзання) сила різко падає, при цьому фіксується її пікове значення. Коефіцієнт зчеплення в цьому випадку можна розрахувати як відношення максимальної сили натягу T до нормального навантаження N .

Щоб оцінити, як намагніченість впливає на зчеплення між роликом та площиною, було проведено три паралельних випробування: перше – без дії магнітного поля, друге та третє під дією магнітного поля при напрузі на котушці 7

та 14 В. Результати випробувань наведено на рис. 2.

З графіків, наведених на рис. 2, видно, що при створенні електромагнітного поля істотно змінюється коефіцієнт зчеплення. Залежність зміни середнього значення коефіцієнта зчеплення по кожній серії випробувань від напруги наведено на рис. 3.

На рис. 4 зображено графік, що відбиває зміну коефіцієнта зчеплення в одному випробуванні. Вмикання електродвигуна відбувається на третій з половиною секунди від початку досліду. Приблизно на п'ятій секунді значення коефіцієнта зчеплення досягає значення 0,47 і відбувається зрив зчеплення, сила тертя при цьому зменшується. На шостій секунді вмикається напруга і створюється магнітне поле, після чого сила тертя починає рости і коефіцієнт зчеплення зростає до значення 0,56 на восьмій секунді. Далі знову відбуваються зриви зчеплення. Після цього випробування завершується.

Висновки:

1. Дослідження впливу зовнішніх силових полів на молекулярну складову сил тертя є актуальним питанням, вирішення якого дасть змогу розробляти нові і вдосконалювати існуючі технології керування зчепленням між ведучими колесами та рейками.

2. Аналіз результатів проведених пошукових досліджень показав, що при впливі магнітного поля на контакт кочення моделей колеса та рейки коефіцієнт зчеплення зростає в середньому до 25%. Подальші дослідження цього явища даватимуть змогу отримати закономірності впливу магнітного поля на зчеплення колеса з рейкою.

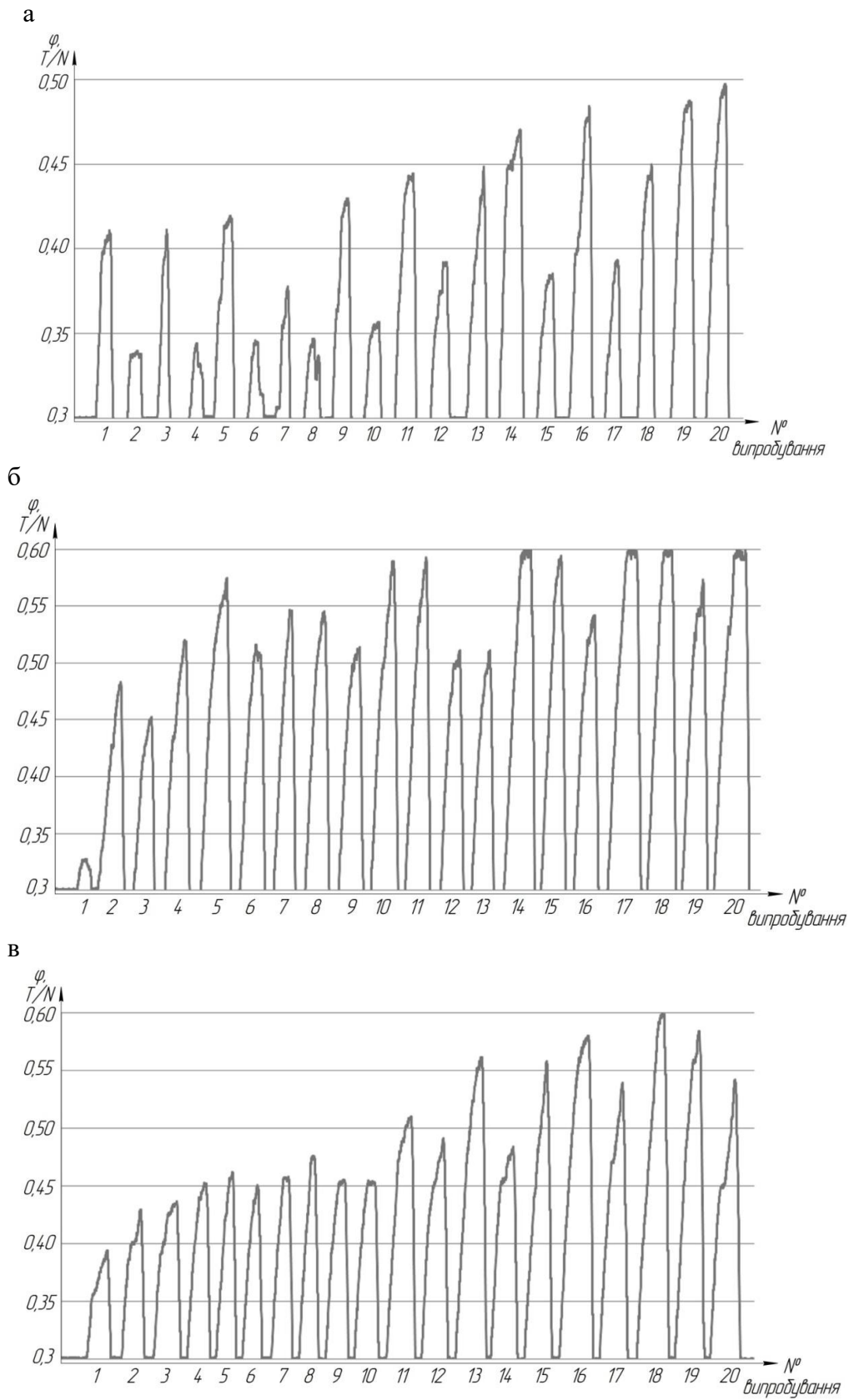


Рис. 2. Результати проведених досліджень:
а – без впливу магнітного поля; б – з впливом магнітного поля, $U=7\text{ V}$;
в – з впливом магнітного поля, $U=14\text{ V}$

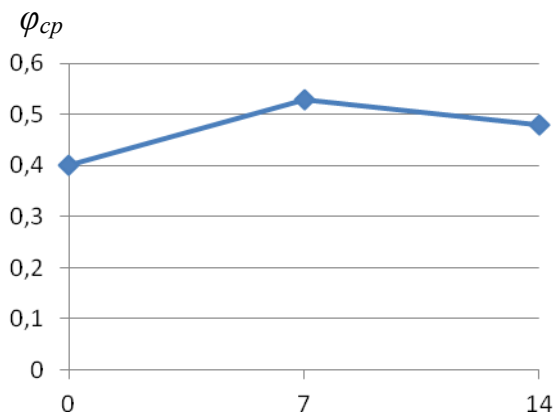


Рис. 3. Залежність середнього значення коефіцієнта зчеплення від напруги U, V

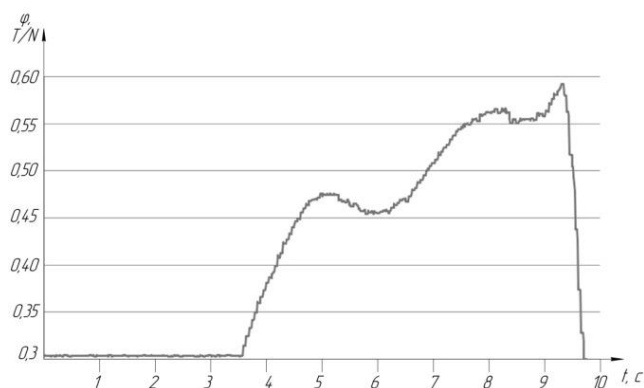


Рис. 4. Залежність коефіцієнта зчеплення від часу

Список використаних джерел

1. Barwell F.T. The tribology of wheel on rail [Text] / F.T. Barwell // Tribology. – 1974. – Vol. 7, Iss. 4. – P. 146-150.
2. Clayton P. Tribological aspects of wheel-rail contact: a review of recent experimental research [Text] / P. Clayton // Wear. – 1996. – Vol. 191, Iss. 1, 2. – P. 170-183.
3. Kabziński, J. Adaptive, compensating control of wheel slip in railway vehicles [Text] / J. Kabziński // Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. – 2015. – Vol. 63, Iss. 4. – P. 955-963.
4. Кузьмич, В.Д. Теория локомотивной тяги [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. транспорта / В.Д. Кузьмич, В.С. Руднев, С.Я. Френкель; под ред. В.Д. Кузьмича. – М.: Маршрут, 2005. – 448 с.
5. Аналіз робіт з керування тертям та зчепленням в контакті «колесо-рейка» [Текст] / С.В. Воронін, С.С. Карпенко, О.В. Волков, К.О. Бакін // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків, 2013. – Вип. 141. – С. 247-252.
6. Лисовский, Л.П. Трение в природе и технике [Текст] / Л.П. Лисовский, А.Е. Саломонович; под ред. проф. С.Э. Хайкина. – М., Л.: ОГИЗ «Гостехиздат», 1948. – 52 с.
7. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
8. Марков, Д.П. Механизмы сцепления пары колесо-рельс с учетом фоновго трения [Текст] / Д.П. Марков // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – №6. – С. 34-39.
9. Воробьев, Д.В. Улучшение фрикционных характеристик пары трения колесо-рельс за счет воздействия на контакт электрического тока и магнитного поля [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / Д.В. Воробьев. – Брянск, 2005. – 153 с.
10. Воронин, С.В. Изменение коэффициента сцепления колеса с рельсом в процессе приработки контактирующих поверхностей [Текст] / С.В. Воронин, И.С. Грунык, А.В. Волков // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків, 2014. – Вип. 148, ч.1. – С.170-176.

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

Волков Александр Викторович, аспірант кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-72.

Volkov Alexander Victorovich, graduate student of department of construction, railway and loading and unloading machines of Ukrainian State University of Railway Transport. Phone: (057) 730-10-66.

Прийнята 25.02.2016 р.

УДК 66.066

ВПЛИВ ВМІСТУ ВОДИ У ГІДРАВЛІЧНІЙ ОЛИВІ НА ЗНОС ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Асист. І.Ю. Сафонюк

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ГИДРАВЛИЧЕСКОМ МАСЛЕ НА ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА

Ассист. И.Ю. Сафонюк

INFLUENCE OF WATER IN HYDRAULIC OIL ON WEAR PARTS OF MEANS OF TRANSPORTAS

Assist. I.Y. Saphonyuk

У статті розглядається проблема вмісту води в гідравлічній оливі. Проведено аналіз механізмів трибохімічних реакцій, які відбуваються з поверхнею деталей тертя та із гідравлічною оливою при наявності води. Досліджувався параметр якісного вмісту води – дисперсність. Наведено результати експериментальних досліджень впливу концентрації та розмірів крапель води в гідравлічній оливі на процес зносу.

Ключові слова: знос, корозійний знос, забруднення оливи водою.

В статье рассматривается проблема содержания воды в гидравлическом масле. Проведен анализ механизмов трибохимических реакций, которые происходят с поверхностью деталей трения и с гидравлическим маслом при наличии воды. Исследовался параметр качественного содержания воды – дисперсность. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния концентрации и размеров капель воды в гидравлическом масле на процесс износа.

Ключевые слова: износ, коррозионный износ, загрязнение масла водой.

The article deals with the issue of quality hydraulic working fluids. Overview of experimental study of the effect of concentration and the size of water droplets in oil on the process of wear.

According hydraulic operating experience and track construction machinery working under moderate continental climate, water inevitably enters the hydraulic oil. The main causes of falling water in the hydraulic oil is high humidity and respiratory system. In the hydraulic oil acts as a water contamination and leads to negative consequences such as corrosion of metal surfaces, electrical corrosion, increased ability to cavitation and deterioration tribological properties of the oil.

Studies conducted by scientists before the impact of water on the tribological properties of the oil, do not take into account the size of drops, that is dispersion. These studies were conducted at Ukrainian State Academy Of Railway Transport using machines friction car. The research results give reason to believe that large drops emulsion "water in oil" has much worse tribological characteristics than small droplets emulsion. It was also found that the presence of water in the oil, even, reduces wear, requiring theoretical study and further research.

Keywords: wear, corrosive wear, contamination of oil with water.

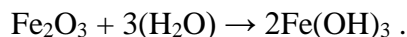
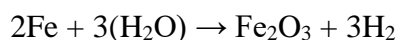
Вступ. Згідно з досвідом експлуатації гідроприводів колійних та будівельних

машин, які працюють в умовах помірно-континентального клімату, вода неминуче

потрапляє в гідравлічну оливу (ГО). Основними причинами потрапляння води в ГО є висока волога та дихання системи [1]. У ГО вода відіграє роль забруднення та призводить до таких негативних наслідків, як: корозія металевих поверхонь, електрокорозія, підвищення здатності до кавітації та погіршення трибологічних властивостей оливи [1-3].

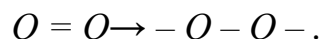
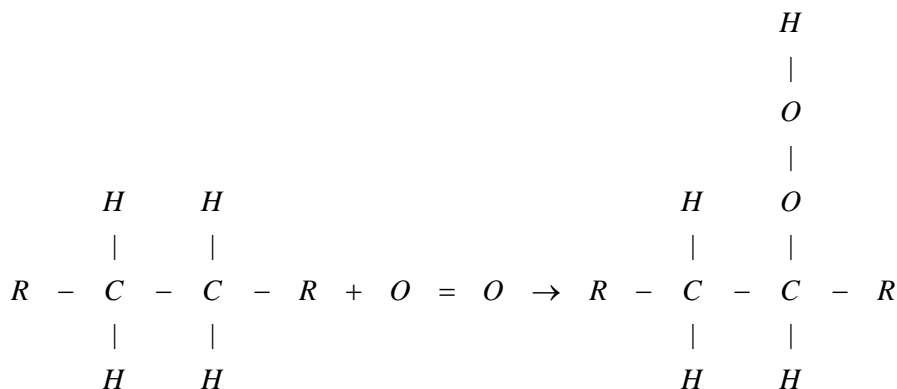
Аналіз публікацій та досліджень.

Вода в оливі являє собою корозійне середовище по відношенню до деталей тертя. Згідно з ГОСТ 27674-88 «Трение, изнашивание и смазка» такий вид зношування називається корозійно-механічним зношуванням та призводить до активного зносу. Тобто за присутності води в трибоконтаті метал окислюється із утворенням власне оксиду металу та водню. Потім відбувається гідроліз оксиду металу із утворенням гідроксиду металу [3]. На прикладі заліза ці реакції будуть мати такий вид:

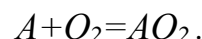


Як ми бачимо із реакцій, окрім утворення самих оксидів та гідроксидів, при окисленні металу водою отримується водень або його іони. Згідно з дослідженнями в галузі триботехніки водень впливає на поверхню металу таким чином: оскільки молекула водню за розмірами менша від розмірів кристалічних ґраток, то водень проникає в глибину металу і створює там надлишковий тиск, що у свою чергу прискорює поверхневу втомлюваність, яку називають водневим окрихчуванням [3].

Окрім окислення металевих поверхонь тертя відбувається також і окислення самої оливи. Найбільш достовірною теорією окислення вуглеводнів є перекисна теорія, сформульована в 1896-1897 рр. одночасно та незалежно один від одного А.Н. Бахом та К. Енглером. Перекисна теорія пояснює ряд установлених фактів, у першу чергу самоприскорення автоокислювальних реакцій, що обумовлено каталітичною роллю перекисів, які утворюються в проміжках реакції [4, 5]:



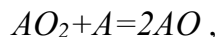
Продукти приєднання AO_2 є перекисами та характеризуються особливими хімічними властивостями:



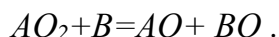
Основне положення перекисної теорії полягає в тому, що при автоокисленні кисень приєднується до окислюваного тіла A у вигляді цілої молекули, що переходить при цьому із неактивного стану в активний. Кисень характеризується розривом одного із зв'язків, що утримує атоми в молекулі O_2 .

Вони містять групу – O – O –, у якій половина кисню міститься в слабозв'язаному, активному стані і легко реагує з іншими речовинами.

Такі перекиси можуть окисляти не лише первинну речовину *A*:



але й інші речовини *B*, які не здатні окислюватися безпосередньо молекулярним киснем:



У реальних умовах вода в оливі може міститися в трьох станах [2]: вільна, емульсована та розчинена. Вільна вода, як правило, не спричиняє проблем, оскільки вона легко видаляється як при роботі машини, так і при проведенні технічного обслуговування. Розчинена вода теж не відіграє значної ролі, оскільки її кількість мізерна внаслідок поганої розчинності води у вуглеводнях. Таким чином, вирішальну роль у зношуванні відіграє емульсована вода. Така вода перебуває у вигляді дрібнодисперсних крапель [3].

У попередніх дослідженнях [1, 7, 8] проводились випробування впливу концентрації води на знос, згідно з якими при збільшенні концентрації води до 0,5 % знос збільшувався в три рази. Однак у цих дослідженнях не була врахована дисперсність води, що також впливає на процес мащення. Саме тому на кафедрі БКВРМ УкрДУЗТ було вирішено, що вивчення трибологічних властивостей ГО в залежності від концентрації води у поєднанні із дисперсністю крапель води є актуальним питанням для розроблення енергозберігаючих методів видалення води із оливи.

Мета досліджень: визначення впливу концентрації води у поєднанні із дисперсністю крапель води на трибологічні властивості ГО ТЗ транспортних засобів.

Проведення експериментальних досліджень

1. Обладнання та методика проведення дослідження

Дослідження проводились на ЧКМ (чотирикульковій машині тертя). Випробовували індустриальну оливу И-30А ГОСТ 20799-88. При вимірюванні показника зносу концентрація води в індустриальній оливі змінювалась у діапазоні концентрації води, найбільш подібному до реальних умов (0-3 %). Концентрація кожної нової проби змінювалась на 0,5 %. При визначенні індексу задиру одна проба містила 1 % крупнодисперсної води, а інша – була чистою.

Різна дисперсність води в оливі досягалась такими методами подрібнення: крупнодисперсна отримувалась шляхом ручного збовтування протягом 5 хв; дрібнодисперсна емульсія отримувалась шляхом ручного збовтування протягом 5 хв та обробки в ультразвуковій ванні протягом 10 хв. Перед безпосереднім наливом проби емульсії в чашу ЧКМ емульсія повторно перемішувалась шляхом збовтування протягом 1 хв. Випробування проводились згідно з ГОСТ 9490-75.

2. Результати дослідження та їх обговорення

Результати проведеного дослідження відображені в табл. 1-4. Оцінити відтворюваність можна виходячи із різниці плям зносу при випробуваннях чистої оливи. Як видно із табл. 3 та 4 ця різниця складає 0,022 мм, що значно менше від допустимої збіжності 0,06. Значення відтворюваності не перевищує граничного значення ГОСТ 9490-79.

З рис. 1 та 2 видно, що за наявності води у свіжій оливі в кількості 1 % підвищується індекс задиру на 6 %, з 56,99 до 60,5. Також зросло критичне навантаження з 980 до 1235 Н за основним рядом навантажень. Оскільки в умовах, створюваних у ЧКМ, не може формуватись гідродинамічний шар, то можна сказати, що покращення індексу задиру та

підвищення критичного навантаження є наслідком таких процесів: 1) утворення в контактї двох кульок оксидів та гідроксидів, які зменшують міру дії сил

адгезії; 2) окислення базової оливи, результатом чого є утворення поверхнево активних речовин.

Таблиця 1

Індекс задиру чистої індустріальної оливи И-30А

Навантаження, Н	Діаметр кульки d,мм			Середній діаметр, мм	Зведене навантаження, кгс
490	0,15	0,15	0,15	0,15	107,2
617	0,2	0,2	0,2	0,2	109,4
784	0,32	0,28	0,36	0,32	92,47
980	2,2	2,2	2,1	2,17	18,7
1235	2,6	2,4	2,5	2,5	22,06
1568	3,3	3	3,2	3,17	23,55
1960	4	4	4	4	25,53
Індекс задиру, кгс					56,99

Таблиця 2

Індекс задиру індустріальної оливи И-30А із вмістом крупнодисперсної води в кількості 1%

Навантаження, Н	Діаметр кульки d,мм			Середній діаметр, мм	Зведене навантаження, кгс
490	0,22	0,22	0,22	0,22	73,01
617	0,24	0,26	0,25	0,25	87,52
784	0,34	0,34	0,36	0,347	85,36
980	0,38	0,4	0,38	0,387	104,79
1235	2,6	2,6	2,6	2,6	21,2
1568	2,8	2,8	3	2,87	26,01
1960	4	4	4	4	25,53
Індекс задиру, кгс					60,5



Рис. 1. Індекс задиру індустріальної оливи із водою та без води



Рис. 2. Критичне навантаження індустріальної оливи із водою та без води

Таблиця 3

Рівень показника зносу на кульці ЧКМ у залежності від концентрації води крупнодисперсної емульсії

Показник	Вміст води, %						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Діаметр плям зносу d, мм	0,76	0,7	0,68	0,54	0,6	0,56	0,66
	0,76	0,7	0,72	0,54	0,62	0,56	0,64
	0,78	0,76	0,68	0,66	0,6	0,66	0,62
	0,76	0,76	0,68	0,66	0,6	0,66	0,64
	0,72	0,74	0,70	0,64	0,6	0,64	0,64
	0,73	0,74	0,72	0,62	0,6	0,62	0,64
Середній	0,752	0,733	0,69	0,61	0,603	0,62	0,64

Таблиця 4

Рівень показника зносу на кульці ЧКМ у залежності від концентрації води дрібнодисперсної емульсії

Показник	Вміст води, %						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Діаметр плям зносу d, мм	0,74	0,68	0,66	0,58	0,56	0,58	0,56
	0,72	0,68	0,66	0,56	0,58	0,58	0,56
	0,7	0,66	0,62	0,6	0,62	0,62	0,6
	0,7	0,66	0,6	0,6	0,58	0,58	0,58
	0,76	0,7	0,6	0,6	0,56	0,58	0,6
	0,76	0,7	0,6	0,58	0,58	0,58	0,6
Середній	0,73	0,68	0,623	0,587	0,58	0,59	0,583

Як видно із графіка на рис. 3, показник зносу зменшується при зростанні концентрації води до концентрації води 2 %.

При подальшому зростанні концентрації показник зносу знову збільшується, причому більш стрімке зростання показника зносу спостерігається для крупнодисперсної емульсії.

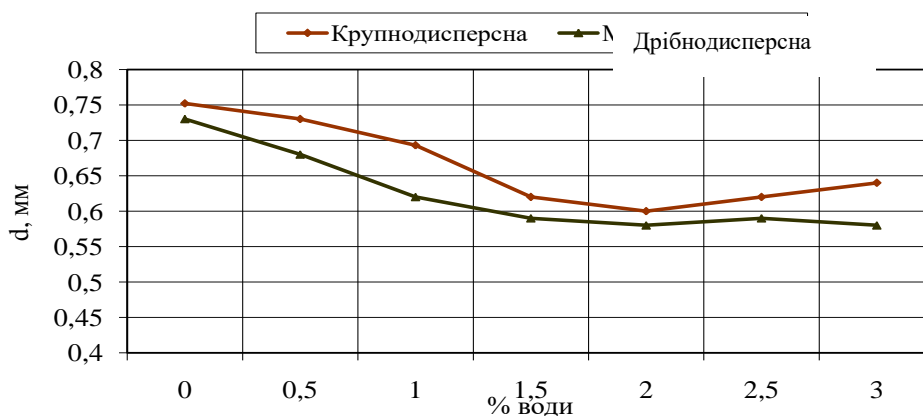


Рис. 3. Залежність показника зносу від концентрації води

Висновки:

1. Проведені експериментальні дослідження дали можливість установити реальний механізм впливу води на свіжу оливу та визначити загальну залежність характеру трибологічних процесів у оливі з вмістом води у різних концентраціях. Отже, в малих концентраціях наявність води в гідравлічній оливі може покращити трибологічні характеристики оливи. Зі зменшенням розмірів крапель позитивна дія води стає більш явною.

2. У реальних умовах роботи гідросистем транспортних засобів наявність

води в гідравлічній оливі пов'язана із напрацюванням, величина якого набагато більша за час проведення випробувань свіжої оливи на ЧКМ, тому за період проведення експерименту окислювальні процеси на поверхні металу та в самій оливі не встигли відбутися повною мірою. Це спричиняє необхідність проведення додаткових досліджень трибологічних властивостей ГО, відібраних із гідросистем транспортних засобів із різним напрацюванням.

Список використаних джерел

1. Руднев, В.К. Эксплуатационные материалы для строительных и дорожных машин [Текст] / В.К. Руднев, Е.С. Венцель, Е.Н. Лысыков. – К., 1993. – 238 с.
2. Воронін, С.В. Вплив частоти коливань електричного поля на процес коалесценції води в робочій рідині [Текст] / С.В. Воронін, І.Ю. Сафонюк, А.В. Олійник // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 142. – С. 169-173.
3. Хайнике, Г. Трибохимия [Текст] / Г. Хайнике. – М.: Мир 1987. – 584 с.
4. Иванов, К.И. Промежуточные продукты и промежуточные реакции автоокисления углеводов [Текст] / К.И. Иванов; под ред. Н.И. Черножукова. – М.; Л.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1949. – 192 с.
5. Бах, А.Н. Собрание трудов по химии и биохимии [Текст] / А.Н. Бах. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 684 с.
6. Berglund, K. Lubricant ageing effects on the friction characteristics of wet clutches Proceedings [Text] / K. Berglund, P. Marklund, R. Larsson // Part J: Journal of Engineering Tribology. – 2010. N 7. – P. 639–647.
7. Williamson, W. Effects of water on cellulose-based frictional surfaces in automatic transmission clutch plates [Text] / W. Williamson, B. Rhodes // SAE Special Publications. – 1996., P. 79–86.
8. Fatima, N., Marklund, P., Larsson, R. Water contamination effect in wet clutch system. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, Journal of Automobile Engineering. – 2012., N 3. – P. 376–389.

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

Сафонюк Іван Юрійович, асистент кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (093)303-31-38. E-mail: jonisaf@meta.ua.

Saphonyuk Ivan, assistant, Department building, track and handling machines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (093) 303-31-38. E-mail: jonisaf@meta.ua.

Прийнята 25.02.2016 р.

УДК 004.89

АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ ЖОРСТКОСТЕЙ ПРОМІЖНИХ СКРІПЛЕНЬ ТИПІВ Д-2, Д-4, КППД-2 ТА СКД-65

Инж. Ю.Л. Тулей

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ЖЕСТКОСТЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СКРЕПЛЕНИЙ ТИПОВ Д-2, Д-4, КППД-2 И СКД-65

Инж. Ю.Л. Тулей

ANALYSIS OF FORMING OF INFLEXIBILITIES OF INTERMEDIATE CLAMPING OF THE TYPES D-2, D-4, KPPD-2-2 AND SKD-65-65

Ing. J.L. Tuley

У статті розглянута робота скріплень типів Д-2, Д-4, КППД-2 та СКД-65Д в умовах кривих ділянок колії з радіусами менш ніж 350 м, у яких унаслідок виникнення значних бічних сил умови експлуатації значно складніші.

Ці скріплення є найбільш перспективними для укладання в кривих ділянках колії, у яких застосування безстыковой колії, як правило, неможливо внаслідок в першу чергу неможливості регулювання ширини колії, тому застосування ланкової колії із зазначеними типами скріплень буде перспективним протягом значного часу.

Ключові слова: вертикальна жорсткість скріплень, горизонтальна жорсткість скріплень, кручення рейки, скріплення типу Д-2, Д-4, КППД-2 та СКД-65Д.

В статье рассмотрена работа скреплений типов Д-2, Д-4, КППД-2 и СКД-65Д в условиях кривых участков пути с радиусами менее чем 350 м, в которых вследствие возникновения значительных боковых сил условия эксплуатации значительно более сложные.

Эти скрепления являются наиболее перспективными для укладки в кривых участках пути, в которых применение бесстыкового пути, как правило, невозможно вследствие в первую очередь невозможности регулирования ширины колеи, поэтому применение звеньевого пути с данным типом скреплений будет перспективным в течение значительного времени.

Ключевые слова: вертикальная жесткость скреплений, горизонтальная жесткость скреплений, кручение рельса, скрепления типов Д-2, Д-4, КППД-2 и СКД-65Д.

These fastening are most perspective for the conclusion in the crooked areas of track, in which application of bezsticovoi track, as a rule, it is impossible in investigation above all things to impossibility of adjusting of width of track, therefore application of lancovoi track with the noted types of fastening will be perspective during considerable time.

The mathematical model of spatial inflexibilities of the separate fastening for wooden railroad ties which it is possible to apply in the mathematical model of the spatial dynamic system a «crew» during conducting of numeral researches of forces of co-operation of track and rolling stock at the crooked small radiuses was developed.

At determination of vertical inflexibility of separate knots of fastening vertical deformations in fastening under action of vertical forces, and also condition of balance of powers under action of

the external loading were considered. A calculation chart for determination of vertical inflexibility of the system is resulted "subrail gasket - terminal"

Horizontal transversal inflexibility of knots of fastening, as well as vertical, can be certain taking into account successive connection of inflexibilities of the first and second systems.

Keywords: *vertical inflexibility of fastening, horizontal inflexibility of fastening, twisting of rail of fastening to the type D-2, D-4, CPPD-2-2 and SCD-65D-65Д.*

Вступ. Із загальної протяжності головних колій магістральних залізниць України, яка складає понад 29 тис. км, 74 % в середньому – це безстикова колія на залізобетонних шпалах. Ця конструкція є прогресивною, але не у всіх умовах експлуатації її можна застосовувати. Це стосується насамперед кривих ділянок колії з радіусами менш ніж 350 м, у яких унаслідок виникнення значних бічних сил умови експлуатації значно складніші. Практично єдиною конструкцією проміжних скріплень у таких кривих є скріплення типу ДО, яке має низку суттєвих недоліків, насамперед низький рівень опору бічним (горизонтальним поперечним) та повздовжнім силам.

Проте діючі нормативні документи, наприклад [1], передбачають можливість застосування роздільних скріплень типів Д-2, Д-4, КППД-2 та СКБ-65Д, які не мають зазначених недоліків.

Але більш широке застосування цих типів скріплень неможливе без визначення раціональних сфер їх укладання. Таке завдання є комплексним та повинно базуватись на теоретичних та експериментальних дослідженнях, у тому числі числових дослідженнях взаємодії колії та рухомого складу.

Аналіз досліджень та публікацій. Основною розрахунковою при числових дослідженнях взаємодії колії та рухомого складу є схема, за якої колія розглядається як балка, що спирається на суцільну пружну основу. Така схема застосована в працях В.І. Ангелейка [2], Е.І. Даніленка [10], В.В. Рибкіна [11], В.А. Лазаряна [5] та М.А. Фрішмана [4], М.Ф. Веріго [3], С.П. Першина [9], В.Ф. Яковлева [8],

О.Я. Когана [6, 7], а також питання взаємодії колії і рухомого складу розглядаються у працях закордонних авторів [12-14].

Постановка проблеми у загальному вигляді. У розглянутих працях застосовуються схеми, у яких взаємодія екіпажа та колії розраховується тільки у вертикальній площині, а дія бічних сил ураховується коефіцієнтами. Для розв'язання задачі визначення сфер застосування зазначених рейкових скріплень такий підхід неможливий.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є розроблення математичних моделей просторових жорсткостей роздільних скріплень для дерев'яних шпал, які можна застосовувати в математичній моделі просторової динамічної системи «екіпаж - колія» при проведенні числових досліджень сил взаємодії колії та рухомого складу в кривих малих радіусів.

Основна частина. Скріплення зазначених типів, призначені для укладання на дерев'яних шпалах, за конструкцією, на відміну від скріплень типу ДО, є роздільними. У цих скріпленнях рейки прикріплюються до підкладки двома жорсткими (Д-2, СКД-65Д) або пружними клемами і клеми болтами – в скріпленні Д-4 клеми пружні пластинчаті, у скріпленні КППД-2 – пружні пруткові (рис. 1). При жорстких клемах під гайки клемих болтів ставляться двовиткові пружні шайби.

У роздільних скріпленнях підкладки прикріплюються до дерев'яної шпали чотирма (Д-2, Д-4, КППД-2) або шістьма шурупами (СКБ-65Д). Під подошву рейки на прокладку укладається прокладка, яка аналогічна прокладкам скріплення КБ.

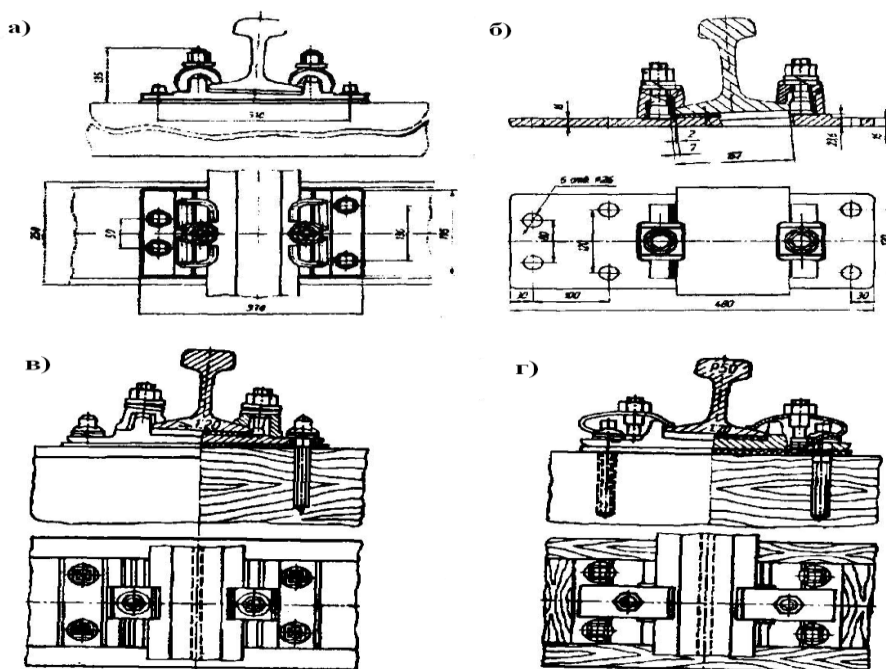


Рис. 1. Скріплення: а – типу КППД-2; б – типу СКД-65Д; в – роздільне типу Д-2; г – роздільне типу Д-4

Вертикальна жорсткість роздільних вузлів скріплення

Вертикальні деформації в скріпленнях під дією вертикальних сил, m , можна подати як

$$z_{ck} = z_1 + z_2 ,$$

де Z_1 – вертикальні деформації за рахунок системи «підрейкова прокладка – клеми (перша система), m ;

Z_2 – вертикальні деформації за рахунок зім'яття і стиснення деревини шпали (друга система), m .

Або, виражаючи деформації через вертикальну реакцію скріплення на дію зовнішнього навантаження R_z і відповідні жорсткості, одержимо

$$\frac{R_z}{C_y} = \frac{R_z}{C_{y1}} + \frac{R_z}{C_{y2}}$$

Тоді вертикальна жорсткість вузла скріплення, kH/m :

$$C_{zck} = \frac{C_{z1} \cdot C_{z2}}{C_{z1} + C_{z2}} , \quad (1)$$

де C_{z1} і C_{z2} – вертикальні жорсткості першої і другої систем, kH/m .

Розглянемо умови рівноваги сил у першій системі при дії сили R_z (рис. 2).

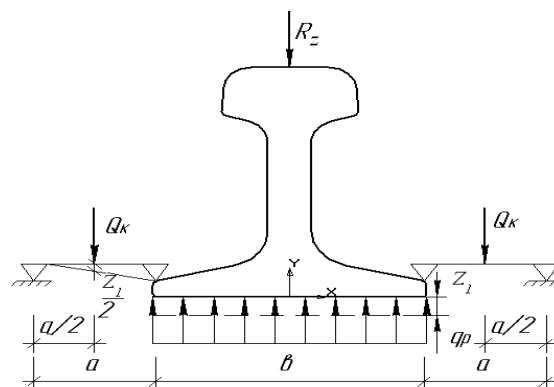


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення вертикальної жорсткості системи «підрейкова прокладка – клема»

$$R_y - q_p \cdot \epsilon + 2 \cdot \frac{Q_k}{2} = 0, \quad (2)$$

де q_p – розподілена реакція підрейкової прокладки на стиснення, $\kappa\text{H}/\text{м}$;

ϵ – ширина підшви рейки, м ;

Q_k – сила натиснення однієї клеми на підшву рейки, κH .

Сила Q_k при дії на вузол скріплення вертикальної сили R_y буде становити:

$$Q_k = Q_k^{\text{нач}} - \Delta Q_k,$$

де $Q_k^{\text{нач}}$ – початкова сила клемного натиснення при монтажі вузла скріплення, κH ;

ΔQ_k – зміна сили клемного натиснення при вертикальних навантаженнях R_z на вузол скріплення, κH .

$$\Delta Q_k = \mathcal{J}_k \cdot \frac{Z_1}{2}, \quad (3)$$

де \mathcal{J}_k – жорсткість пружинної шайби клемного болта або пружної клеми, $\kappa\text{H}/\text{м}$.

Розподілена реакція підрейкової прокладки при її стисненні клемами і зовнішнім навантаженням становить

$$q_p = q_p^{\text{нач}} + q_p^{\text{дин}},$$

де $q_p^{\text{нач}}$ – розподілена реакція на початкове клемне натиснення при монтажі вузла скріплення, $\kappa\text{H}/\text{м}$;

$q_p^{\text{дин}}$ – розподілена реакція на дію динамічної сили, $\kappa\text{H}/\text{м}$.

Тоді

$$\left. \begin{aligned} q_p^{\text{нач}} &= \frac{2Q_k^{\text{нач}}}{2\epsilon} = \frac{Q_k^{\text{нач}}}{\epsilon} \\ q_p^{\text{дин}} &= \frac{z_1 u_p^{\text{дин}}}{\epsilon} \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де $u_p^{\text{дин}}$ – динамічна жорсткість підрейкової прокладки при стисненні, $\kappa\text{H}/\text{м}$.

Підставляючи вирази (3) і (4) у формулу (2), одержимо

$$R_y - \epsilon \left(\frac{Q_k^{\text{нач}}}{\epsilon} + \frac{z_1 u_p^{\text{дин}}}{\epsilon} \right) + \left(Q_k^{\text{нач}} - \frac{\mathcal{J}_k \cdot z_1}{2} \right) = 0;$$

або після перетворень

$$R_y = z_1 u_p^{\text{дин}} + z_1 \frac{\mathcal{J}_k}{2}.$$

Переходячи до жорсткості першої системи,

$$C_{z1} = u_p^{\text{дин}} + \frac{\mathcal{J}_k}{2} \quad (5)$$

Вертикальну жорсткість другої системи можна одержати аналогічно до вертикальної жорсткості скріплення Д0:

$$C_{zII} = \omega_n \cdot C_{\text{под}} \quad (6)$$

де ω_n – площа підкладки, м^2 ;

$C_{\text{под}}$ – коефіцієнт постілі підкладки при дерев'яних шпалах, $\kappa\text{H}/\text{м}^3$.

Горизонтальна поперечна жорсткість скріплення

Горизонтальна поперечна жорсткість вузлів скріплень $C_{\text{уск}}$, як і вертикальна, може бути визначена з урахуванням послідовного з'єднання жорсткостей першої і другої систем:

$$C_{\text{уск}} = \frac{C_{y1} \cdot C_{y2}}{C_{y1} + C_{y2}} \quad (7)$$

Розглянемо формування жорсткості першої системи. Умови рівноваги сил, діючих у першій системі,

$$R_z = 2F_{\text{mp}} + Q_p^F,$$

де $F_{тр}$ – сила тертя на контакті підшви рейки і клеми, κH ;

$Q_p^Г$ – пружний опір підрейкової прокладки при зсуві, κH .

Розрахункова схема для визначення горизонтальної жорсткості скріплень роздільного типу подана на рис. 3.

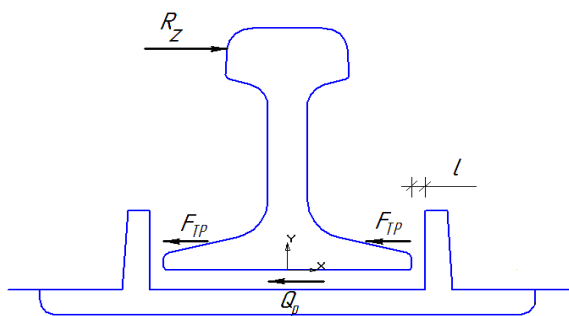


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення горизонтальної жорсткості скріплень роздільного типу

Силу тертя $F_{тр}$ можна визначити з виразу

$$F_{тр} = \left(Q_{\kappa}^{нач} - \frac{1}{2} R_y \frac{\mathcal{J}\kappa_{\kappa}}{u_p^{дин} + \frac{\mathcal{J}\kappa_{\kappa}}{2}} \right) \cdot f_{кл}, \quad (8)$$

де $f_{кл}$ – коефіцієнт тертя клеми по підшві рейки.

Решта позначень у формулі (8) колишня.

Горизонтальне поперечне переміщення рейки за рахунок першої системи можливе в межах зазора між бічними гранями підшви рейки і ребрами підкладки. Величина таких зазорів 1мм (для скріплення СКД-65Д – з урахуванням регулювання карток).

Таким чином, для першої системи можна записати:

$$\left. \begin{aligned} -npu R_y < \left(Q_{\kappa}^{нач} - R_z \frac{\mathcal{J}\kappa_{\kappa}}{u_p^{дин} + \frac{\mathcal{J}\kappa_{\kappa}}{2}} \right) \cdot f_{кл} \\ C_{y1} = \infty; y_1 = 0 \\ -npu R_y = \left(Q_{\kappa}^{нач} - R_y \frac{\mathcal{J}\kappa_{\kappa}}{u_p^{дин} + \frac{\mathcal{J}\kappa_{\kappa}}{2}} \right) \cdot f_{кл} \\ C_{y1} = u_p^Г; y_1 = 0 \div 1 \text{ мм} \\ -npu R_y > \left(Q_{\kappa}^{нач} - R_z \frac{\mathcal{J}\kappa_{\kappa}}{u_p^{дин} + \frac{\mathcal{J}\kappa_{\kappa}}{2}} \right) \cdot f_{кл} \\ C_{y1} = \infty; y_1 = 1 \text{ мм} \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

де $u_p^Г$ – горизонтальна поперечна жорсткість підрейкової прокладки при її зсуві, $\kappa H/м$.

Оскільки жорсткість гумових прокладок істотно залежить від величини її стиснення вертикальними силами, величина $u_p^Г$ визначена експериментально у вигляді функції від величини її стиснення:

$$u_p^{Гz} = f(\Delta h),$$

де Δh – зміна висоти підрейкової прокладки за рахунок її стиснення, $м$.

Підрейкова підкладка стискається спочатку клемами при монтажі вузла скріплення, а потім додатково навантаженням від рухомого складу:

$$\Delta h = z_{cm} + z_1.$$

З урахуванням характеру роботи клемних прикріплювачів величину Δh , $м$, можна виразити через діючі зусилля і жорсткості пружних елементів першої системи:

$$\Delta h = \frac{Q_k^{max}}{u_p^{cm}} + \frac{R_y}{u_p^{dyn} + \frac{\pi C_k}{2}}, \quad R_y = F_{mp} + m \cdot Q_m, \quad (11)$$

де u_p^{cm} – статична жорсткість підрейкової прокладки при стисненні, $кН/м$.

Решта позначень колишня.

Монтажне натягнення клемних болтів залежить від моменту закручування їх гайок. У роботі [12] цю величину запропоновано визначати як

$$Q_k^{нач} = M_{монт}^k \cdot K,$$

де $M_{монт}^k$ – момент закручування гайок клемних болтів, $Н\cdot м$, (початкове нормативне значення $M_{монт}^k = 200 Н\cdot м$);

K – коефіцієнт пропорційності, визначуваний за виразом:

$$K = \frac{2\pi \cdot C}{h + \pi \cdot f \cdot (d + D)},$$

де C – емпіричний коефіцієнт, $\left(\frac{Н \cdot мм}{Н \cdot м}\right)$;

h – крок різі, $мм$;

f – коефіцієнт тертя;

d – середній діаметр кола тертя в різі, $мм$;

D – середній діаметр кола тертя торця гайки, $мм$.

Тоді жорсткість першої системи можна визначити так:

$$C_{z1} = u_p^r = f \left(\frac{M_{монт}^k \cdot K}{u_p^{cm}} + \frac{R_y}{u_p^{dyn} + \frac{\pi C_k}{2}} \right) \quad (10)$$

При відсутності зазорів між пікладкою проміжного скріплення та шурупами умова рівноваги другої системи (підкладка - шурупи) буде мати такий вигляд:

де F_{mp} – сила тертя підкладки по шпалі;

Q_m – опір одного шурупа поперечного віджиманню;

m – кількість шурупів у вузлі скріплення.

До подолання сили тертя F_{mp} горизонтальних поперечних переміщень у другій системі відбуватись не буде. Тоді умови прояву і формування поперечної жорсткості 2 системи можна подати як

$$\left. \begin{array}{l} - \text{при } R_y < f_{под} R_z \\ C_{yz} = \infty \\ - \text{при } R_y \geq f_{под} R \\ C_{yz} = m C_{ш} \end{array} \right\}, \quad (12)$$

де R_y, R_z – діючі на скріплення горизонтальні і вертикальні сили;

$f_{под}$ – коефіцієнт тертя підкладки по шпалі;

$C_{ш}$ – жорсткість шурупа при віджиманні, $Н/м$.

Жорсткість скріплень при крученні рейки

Жорсткість скріплень при крученні рейки під дією горизонтальних поперечних сил і дії вертикальних сил з урахуванням послідовного з'єднання жорсткостей першої і другої системи рівна

$$C_{\varphi} = \frac{C_{\varphi 1} \cdot C_{\varphi 2}}{C_{\varphi 1} + C_{\varphi 2}}. \quad (13)$$

Розглянемо дію сумарного крутного моменту $M_{кр}$ на першу систему (рис. 4).

Умова рівноваги зовнішнього крутного моменту $M_{кр}$, моментів сил клемного натиснення і моменту нерівномірно розподіленої реакції підрейкової прокладки щодо центра повороту перерізу рейки (ЦП) можна записати як

$$M_{кр} + Q_{к2} \cdot \frac{\epsilon}{2} - (q_2 + q_{cp}) \frac{\epsilon^2}{16} + (q_{cp} + q_1) \frac{\epsilon^2}{16} - Q_{к1} \frac{\epsilon}{2} = 0$$

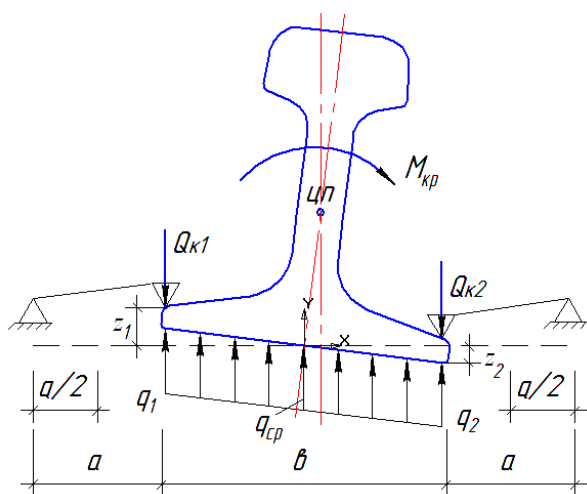


Рис. 4. Розрахункова схема для визначення жорсткості при крученні системи «підрейкова прокладка – клема»

Після перетворень одержимо

$$M_{кр} = (Q_{к1} - Q_{к2}) \frac{\epsilon}{2} + (q_2 - q_1) \frac{\epsilon^2}{16}, \quad (14)$$

де $Q_{к1}$ і $Q_{к2}$ – сила натиснення клем, кН;

q_1 і q_2 – інтенсивності нерівномірно розподіленої реакції підрейкової прокладки при її стисненні клемами і зовнішнім крутним моментом $M_{кр}$, кН/м.

Сили натиснення клем на підшви рейки при сумісній дії на вузол скріплення вертикальних сил і крутних моментів будуть рівні:

$$Q_{к1} = Q_{к}^{нач} - \Delta Q_{к} + \Delta Q_{кр1};$$

$$Q_{к2} = Q_{к}^{нач} - \Delta Q_{к} + \Delta Q_{кр2},$$

$$M_{кр} = \frac{\epsilon^2}{4} \mathcal{J}_{кш} \left(\frac{\Delta z_1 + \Delta z_2}{\epsilon} \right) + \frac{\epsilon^2}{16} u_{\psi}^{\Delta u_{кш}} \frac{(\Delta z_1 + \Delta z_2)}{\epsilon}. \quad (17)$$

де $Q_{к}^{нач}$ – монтажна сила натиснення клем, кН;

$\Delta Q_{к}$ – зміна сили клемного натиснення при дії вертикальної сили на скріплення, кН;

$\Delta Q_{кр1}$, $\Delta Q_{кр2}$ – зміна сил клемного натиснення при крученні рейки, кН.

Позначимо зміну прогинань кромки підшви рейки при її крученні через Δz_1 і Δz_2 (рис. 4). Тоді величини $\Delta Q_{кр1}$ і $\Delta Q_{кр2}$ з урахуванням характеру роботи становлять:

$$\Delta Q_{кр1} = \frac{\Delta y_1}{2} \mathcal{J}_{кк};$$

$$\Delta Q_{кр2} = \frac{-\Delta y_2}{2} \mathcal{J}_{кк},$$

де $\mathcal{J}_{кк}$ – жорсткість клем, кН/м.

Різницю величин $Q_{к1} - Q_{к2}$ у формулі (14) можливо записати як

$$Q_{к1} - Q_{к2} = \frac{\mathcal{J}_{кк}}{2} (\Delta z_1 + \Delta z_2). \quad (15)$$

Застосовуючи той же підхід для значень q_1 і q_2 отримаємо

$$q_2 - q_1 = u_{\psi}^{\Delta u_{кш}} \left(\frac{\Delta z_1 + \Delta z_2}{\epsilon} \right). \quad (16)$$

Підставимо вирази (15) і (16) у формулу (14)

Замінюючи в цьому виразі

$$M_{кр} = C_{\varphi 1} \cdot \varphi_1$$

і враховуючи малість кута

$$\varphi_1 = \frac{\Delta z_1 + \Delta z_2}{g}$$

набудемо значення жорсткості першої системи при крученні рейки залежно від характеристик пружних елементів, $\kappa\text{H/рад}$:

$$C_{\varphi 1} = \frac{g^2}{4} \left(\mathcal{J}_{ш} + \frac{u_p^{дин}}{4} \right), \quad (18)$$

де g – ширина підшви рейки, м .

Аналогічно, розглядаючи жорсткість другої системи при крученні, можна одержати вираз для скріплень Д-2, Д-4 та КППД-2 (рис. 5), $\kappa\text{H/рад}$,

$$C_{\varphi 2} = \frac{C^2}{2} \mathcal{J}_{ш} + \frac{d^2}{16} \omega_n c_{под}, \quad (19)$$

де c – відстань між осями шурупів, м ;

d – довжина підкладки скріплення, м ;

$\mathcal{J}_{ш}$ – жорсткість шурупа при висмикуванні, H/м ;

ω_n – площа підкладки, м^2 ;

$c_{под}$ – коефіцієнт постілі підкладки, H/м^3 .

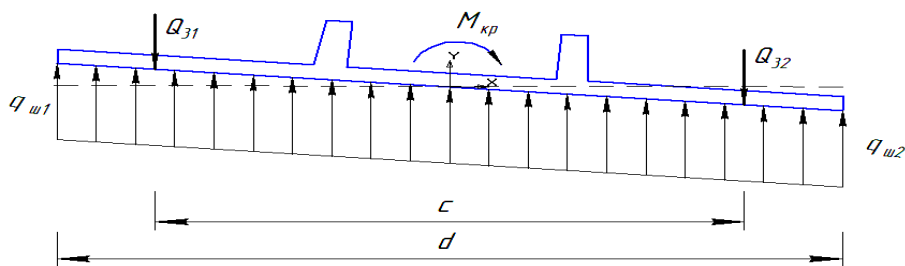


Рис. 5. Розрахункова схема для визначення жорсткості при крученні системи «нашпальна прокладка – шурупи»

Для скріплення СКД-65Д жорсткість другої системи буде визначатись рівнянням

$$C_{\varphi 2} = \left[\frac{C^2}{2} + \frac{(c + g)^2}{8} \right] \cdot \mathcal{J}_{ш} + \frac{d^2}{16} \omega_n \cdot c_{под},$$

де g – відстань між осями основних та додаткових шурупів, м .

Решта позначень колишня.

Висновки. Вивчення формування просторової жорсткості вузлів скріплень Д-2, Д-4, КППД-2 та СКД-65Д дало змогу визначити необхідний перелік характеристик пружних елементів цих скріплень і перелік залежностей їх зміни в процесі експлуатації.

До таких характеристик і залежності слід віднести такі:

- статична і динамічна жорсткість підрейкових прокладок і їх зміни в процесі експлуатації;

- динамічна жорсткість підрейкових прокладок при зсуві в поперечному напрямку і залежності цієї жорсткості від величини стиснення прокладок вертикальними силами;

- жорсткість клем (скріплення Д-4 та КППД-2) або жорсткість пружних шайб (Д-2 та СКД-65Д) при стисненні;

- коефіцієнт постілі підкладки;

- жорсткість шурупів при віджиманні та при висмикуванні.

Ці характеристики і залежності повинні бути визначені експериментально.

Список використаних джерел

1. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП 0269) [Текст] / Е.І. Даніленко, А.М. Орловський, М.Б. Курган, В.О. Яковлев та [ін.]. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.: іл.
2. Ангелейко, В.И. Вывод основных уравнений для расчета рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях [Текст]: монография / В.И. Ангелейко. – Харьков: ХИИТ, 1958. – 38 с.
3. Вериго, М.Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго // Труды ВНИИЖТ. – М.: Трансжелдориздат, 1955. – № 97. – С. 25-288.
4. Фришман, М.А. Экспериментальные определения жесткостей и неупругих сопротивлений пути [Текст] / М.А. Фришман, Л.Я. Воробейчик, Р.С. Липовской // Вестник ЦНИИ МПС. – 1970. – № 8. – С. 31-35.
5. Лазарян, В.А. Изгибные колебания кузова полувагона в вертикальной и горизонтальной плоскостях [Текст] / В.А. Лазарян, В.Ф. Ушаков // Труды ДИИТ. – 1967. – № 68. – С. 32-38.
6. Коган, А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь [Текст] / А.Я. Коган // Труды ЦИИТ МПС. – М.: Транспорт, 1969. – 206 с.
7. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку [Текст] / под. ред. А.Я. Когана // Труды ВНИИЖТ. – 1973. – № 502. – 80 с.
8. Яковлев, В.Ф. Определение расчетных параметров пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью вибромашины [Текст] / В.Ф. Яковлев, И.И. Семенов, В.И. Абросимов // Труды ЛИИЖТа. – Л.: ЛИИЖТ, 1971. – Вып. 326. – С. 66-85.
9. Першин, С.П. Вертикальная жесткость пути и его надежность [Текст] / С.П. Першин // Путь и путевое хозяйство. – 1996. – №8. – С. 8-10.
10. Даніленко, Е.І. Сучасні рейкові пружні скріплення і особливості вимог до вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах [Текст] / Е.І. Даніленко, М.Д. Костюк, О.М. Жученко // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 6. – С. 3-12.
11. Теоретичні дослідження впливу пружності проміжних рейкових скріплень на деформативну роботу колії [Текст] / В.В. Рибкін, М.Д. Костюк, Н.П. Настечик, М.П. Сисин // Тези LXVI Міжнар. наук.-практ. конф. “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”. – Дніпропетровськ, 2006. – № 1. – С. 188.
12. Effects of profile wear on wheel–rail contact conditions and dynamic interaction of vehicle and turnout [Electronic resource] / J. Xu, P. Wang, L. Wang, R. Chen // Advances in Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 8, №1. – P. 1-14. – Available at: <http://ade.sagepub.com/content/8/1/1687814015623696.full.pdf+html>. – Title from the screen. – Accessed: 14.03.2016.
13. Kim, S. J. A Study on the Running Safety of F26 Turnout and Vehicle Model [Electronic resource] / S. J. Kim, B.-G. Eom, H. S. Lee // International Journal of Railway. – 2012. – Vol. 5, № 4. – P. 156-162. – Available at: [http://www.ijr.or.kr/On_line/admin/files/\(156-162\)-12-024.pdf](http://www.ijr.or.kr/On_line/admin/files/(156-162)-12-024.pdf). – Title from the screen. – Accessed: 15.03.2016.
14. Herian, J. Modelling of structure and properties of pearlitic steel and abrasive wear of the turnout frog in the cyclic loading conditions [Electronic resource] / J. Herian, K. Aniołek // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2011. – Vol. 49, Iss. 1. – P. 71-81. – Available at: http://www.journalam-me.org/papers_vol49_1/4918.pdf. – Title from the screen. – Accessed: 15.03.2016.

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

Тудей Юзеф Леонідович, начальник Департаменту колії Укрзалізниця. Тел.: 044-465-03-50.

Tuley Yusef Leonidovich, head of the Department Ukrzaliznytsia. Tel. 044-465-03-50.

Прийнята 25.02.2016 р.

УДК 629.424.1:621.436.004.15

**РОЗРАХУНКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ МЕТОДОМ
ПЕРЕТВОРЕННЯ КООРДИНАТ**

Д-р техн. наук В.І. Мороз, канд. техн. наук О.В. Братченко,
асп. В.І. Громов

**РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА
МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ**

Д-р техн. наук В.И. Мороз, канд. техн. наук А.В. Братченко,
асп. В.И. Громов

**CALCULATION DETERMINATION OF KINEMATICS DESCRIPTIONS OF
ELEMENTS OF CONSTRUCTION OF HARDWARE'S OF TRANSPORT BY THE
METHOD OF TRANSFORMATION OF CO-ORDINATES**

Doct. of Techn. Sciences V. Moroz, Cand. of Techn. Sciences A. Bratchenko,
Postgraduate V. Gromov

Відзначено важливість уточненого визначення кінематичних характеристик основних елементів конструкції технічних засобів транспорту, за які найчастіше розглядаються складні просторові механізми. Показано, що найбільш раціональним шляхом проведення таких досліджень є розроблення і використання відповідних аналітичних описів на основі методу перетворення координат. Наведено результати аналітичного дослідження уточнених кінематичних характеристик ланок просторового кулачкового механізму газорозподілу тепловозного дизеля Д49.

Ключові слова: *технічні засоби транспорту, складні просторові механізми, кінематичні характеристики, метод перетворення координат.*

Отмечена важность уточненного определения кинематических характеристик основных элементов конструкции технических средств транспорта, в качестве которых наиболее часто рассматриваются сложные пространственные механизмы. Показано, что наиболее рациональным путем проведения таких исследований является разработка и использование соответствующих аналитических описаний на основе метода преобразования координат. Представлены результаты аналитического исследования уточненных кинематических характеристик звеньев пространственного кулачкового механизма газораспределения тепловозного дизеля Д49.

Ключевые слова: *технические средства транспорта, сложные пространственные механизмы, кинематические характеристики, метод преобразования координат.*

It is marked that in the complex decision of issue of the day of updating of home hauling rolling stock priority direction providing of railways of Ukraine is diesel engines and electric locomotives of mainly new generation. It is shown that to one of the most responsible stages of works on providing of high technical - economic indicators of technical equipments of transport it is necessary to take planning of their basic elements constructions as that the difficult spatial are most often examined planning of their basic elements is constructions as that difficult spatial

mechanisms are most often examined . Importance of the specified determination of kinematics descriptions of such mechanisms is distinguished for the further design of dynamic processes. It is shown that the most rational way of realization of such researches are development and use of corresponding analytical descriptions on the basis of method of transformation of coordinates. The results of analytical research of the specified kinematics descriptions of links of spatial cam-gear of газораспределения of diesel engine diesel of Д49 are presented, that was compared to the calculations executed on traditional methodologies. Drawn conclusion oh to expediency of application offered approach in researches of kinematics of other difficult mechanisms of technical equipments of transport - current removable devices, hauling drives et al.

Keywords: *technical equipments of transport, difficult spatial mechanisms, kinematics descriptions, method of transformation of coordinates.*

Вступ. У комплексному вирішенні актуальної проблеми оновлення вітчизняного тягового рухомого складу (ТРС) пріоритетним напрямком є забезпечення залізниць України тепловозами та електровозами переважно нового покоління [1,2]. Це дасть змогу поліпшити техніко-економічні показники діяльності залізничного транспорту, підвищити безпеку та зручність перевезень, ефективність роботи галузі в цілому.

У практичній реалізації комплексу сформованих технічних рішень зі створення ТРС нового покоління особлива роль відводиться науково-дослідним і дослідно-конструкторським розробкам, які спрямовані на забезпечення високого рівня показників енергетичної економічності і надійності відповідних технічних засобів залізничного транспорту [3]. До одного з найбільш відповідальних етапів таких робіт слід віднести проектування їх основних елементів конструкції, за які найчастіше розглядаються так звані складні, просторові механізми – кривошипно-шатунні механізми, струмозмінальні пристрої, кулачкові механізми газорозподілу тепловозних дизелів, тягові приводи залізничного рухомого складу [4-6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При вирішенні цієї проблеми одним з вузлових питань є розрахункове визначення кінематичних характеристик таких механізмів. При цьому точність отриманих результатів визначає достовірність подальших оцінок динамічних

процесів та напружено-деформованого стану елементів конструкції.

Разом з тим у спеціальній довідковій літературі для проведення таких досліджень наведені спрощені методи розрахунків кінематичних параметрів – механізми розглядаються як плоскі, не урахується особливість передачі просторових рухів і навантажень [7,8]. Це визначає необхідність розроблення і впровадження нових методів розрахункового визначення кінематичних характеристик складних просторових механізмів, що забезпечують найбільш високу точність результатів у порівнянні з традиційними методами. Одним зі шляхів вирішення таких завдань є використання методу перетворення координат [9].

Визначення мети і задачі дослідження. Метою статті є викладення процесу проведення аналітичного дослідження кінематики ланок складних просторових механізмів технічних засобів транспорту методом перетворення координат на прикладі кулачкового механізму газорозподілу (КМГР) сучасного тепловозного дизеля Д49.

Основна частина дослідження. На першому етапі з використанням відповідної документації проводився аналіз конструкції КМГР дизеля Д49, за результатами якого визначено геометричні параметри ланок, встановлено особливості їх з'єднань (клас кінематичних пар), а також розроблено кінематичну схему просторового КМГР, що подана на рис. 1.

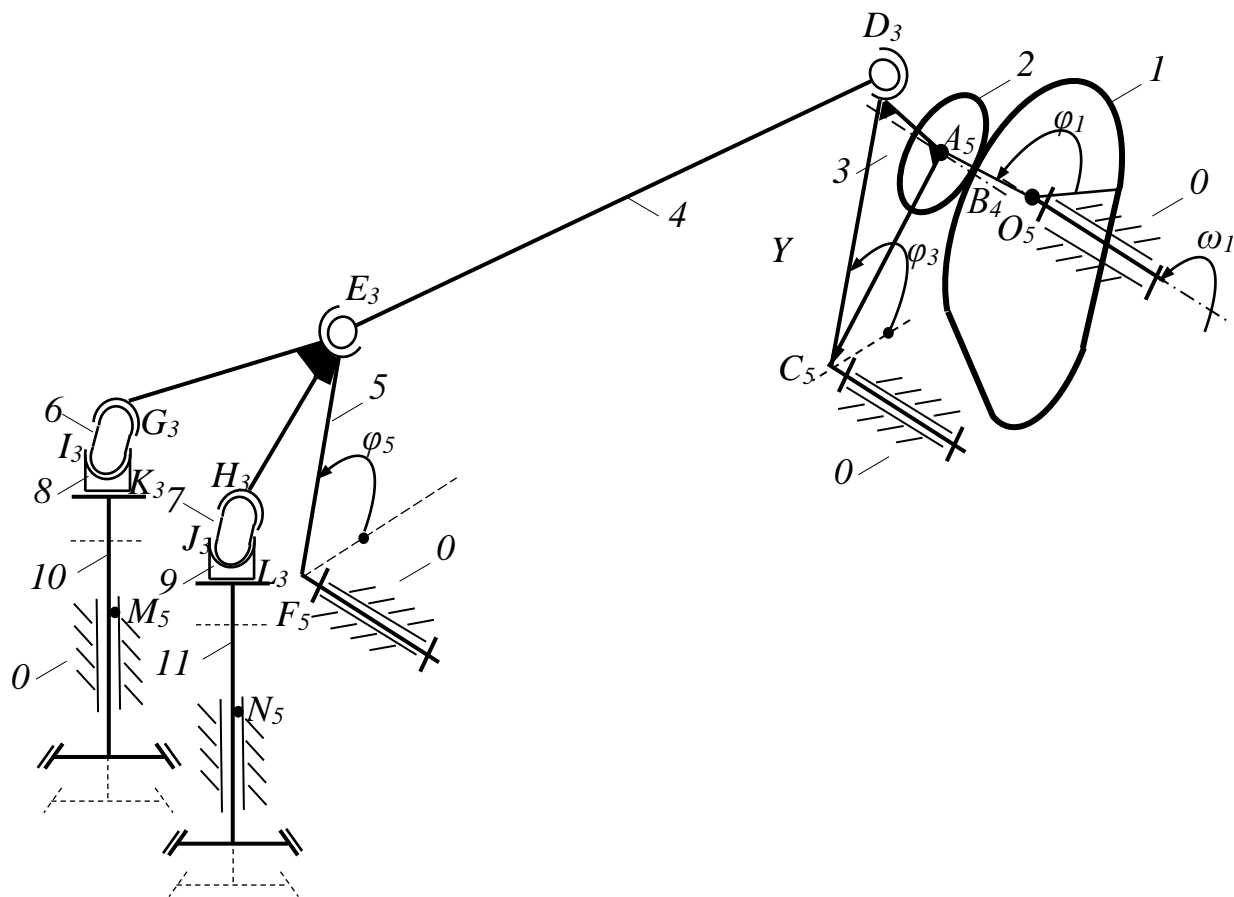


Рис. 1. Кінематична схема просторового КМГР тепловозного дизеля

На кінематичній схемі позначено такі ланки механізму: 1 – газорозподільний кулачок; 2 – ролик штовхача; 3 – коромисловий штовхач; 4 – штанга; 5 – траверса; 6, 7 – гідравлічні елементи; 8, 9 – штовхачі; 10, 11 – клапани. Указані ланки утворюють відповідні кінематичні пари, які позначені на кінематичній схемі з виділенням їх класу.

При виконанні дослідження окрім геометричних параметрів усіх ланок і координат центрів обертання ланок 1 (т. O), 3 (т. C) і 5 (т. F), для коромислового роликів штовхача 3 задаються закономірності зміни його кутових положень $\varphi_3 = f(\varphi_1)$, швидкостей $\omega_3 = f(\varphi_1)$ і прискорень $\varepsilon_3 = f(\varphi_1)$, характер яких визначається профілем газорозподільного кулачка 1.

Вузловим моментом у розрахунках кінематичних характеристик клапанів є визначення поточних значень кутових переміщень (положень) φ_5 , швидкостей ω_5 і прискорень ε_5 траверси 5, за величинами яких з використанням відомих формул [9] визначаються кінематичні характеристики клапанів. Таким чином, метою цього дослідження є отримання аналітичних залежностей виду $\varphi_5 = f(\varphi_1)$, $\omega_5 = f(\varphi_1)$ і $\varepsilon_5 = f(\varphi_1)$ з використанням методу перетворення координат, який передбачає матричний запис рівнянь координат шуканих положень точок відповідних ланок.

Загальні формули перетворення координат для систем $X_iY_iZ_i$ і $X_jY_jZ_j$ мають вид

$$\begin{aligned} X_i &= k_{11} \cdot X_j + k_{12} \cdot Y_j + k_{13} \cdot Z_j + A_i; \\ Y_i &= k_{21} \cdot X_j + k_{22} \cdot Y_j + k_{23} \cdot Z_j + B_i; \\ Z_i &= k_{31} \cdot X_j + k_{32} \cdot Y_j + k_{33} \cdot Z_j + C_i, \end{aligned} \quad (1)$$

де A_i, B_i, C_i – координати початку системи $X_j Y_j Z_j$ в системі $X_i Y_i Z_i$;
 $k_{11}, k_{12}, \dots, k_{33}$ – коефіцієнти при координатах (напрямні косинуси)

$$\begin{aligned} k_{11} &= \cos(X_i \wedge X_j); & k_{12} &= \cos(X_i \wedge Y_j); & k_{13} &= \cos(X_i \wedge Z_j); \\ k_{21} &= \cos(Y_i \wedge X_j); & k_{22} &= \cos(Y_i \wedge Y_j); & k_{23} &= \cos(Y_i \wedge Z_j); \\ k_{31} &= \cos(Z_i \wedge X_j); & k_{32} &= \cos(Z_i \wedge Y_j); & k_{33} &= \cos(Z_i \wedge Z_j). \end{aligned}$$

Запис рівняння (1) у матричній формі має вид

$$r_i = T_{ji} \cdot r_j, \quad (2)$$

де

$$r_i = \begin{Bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{Bmatrix}, \quad r_j = \begin{Bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \\ 1 \end{Bmatrix}, \quad T_{ji} = \begin{Bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & A_i \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & B_i \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & C_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

При виконанні дослідження розглядався умовно відокремлений від механізму просторовий кінематичний ланцюг 0-3-4-5-0, схема якого з прив'язаними до відповідних точок системами координат показана на рис. 2.

Шуканими є положення точки E траверси 5 у системі координат $X_0 Y_0 Z_0$.

Тоді для цього випадку рівняння (2) буде мати вид

$$r_{E0} = T_{30} \cdot T_{43} \cdot r_{E4}, \quad (4)$$

де r_{E0}, r_{E4} – матриці-стовпці, що містять координати точки E в системах координат $X_0 Y_0 Z_0$ і $X_4 Y_4 Z_4$;

$$r_{E0} = \begin{Bmatrix} -l_{FC} \cdot \sin \beta_{FCX_0} \\ -l_{FC} \cdot \cos \beta_{FCY_0} + l_{FE} \cdot \cos \varphi_5 \\ l_{FC} \cdot \cos \beta_{FCZ_0} \\ 1 \end{Bmatrix}; \quad r_{E4} = \begin{Bmatrix} -l_{DE} \cdot \sin \beta_{DEX_4} \\ -l_{DE} \cdot \cos \beta_{DEY_4} \\ l_{DE} \cdot \cos \beta_{DEZ_4} \\ 1 \end{Bmatrix}; \quad (5)$$

T_{30}, T_{43} – матриці, що містять коефіцієнти рівняння (1), які характеризують поворот осей і перенос початку координат відповідних систем координат – $X_3Y_3Z_3$ в $X_0Y_0Z_0$, $X_4Y_4Z_4$ в $X_0Y_0Z_0$

$$T_{30} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi_3 & \sin\varphi_3 & l_{ED} \cdot \sin\varphi_3 \\ 0 & \sin\varphi_3 & \cos\varphi_3 & l_{ED} \cdot \cos\varphi_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad T_{43} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi_3 & \sin\varphi_3 & 0 \\ 0 & \sin\varphi_3 & \cos\varphi_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

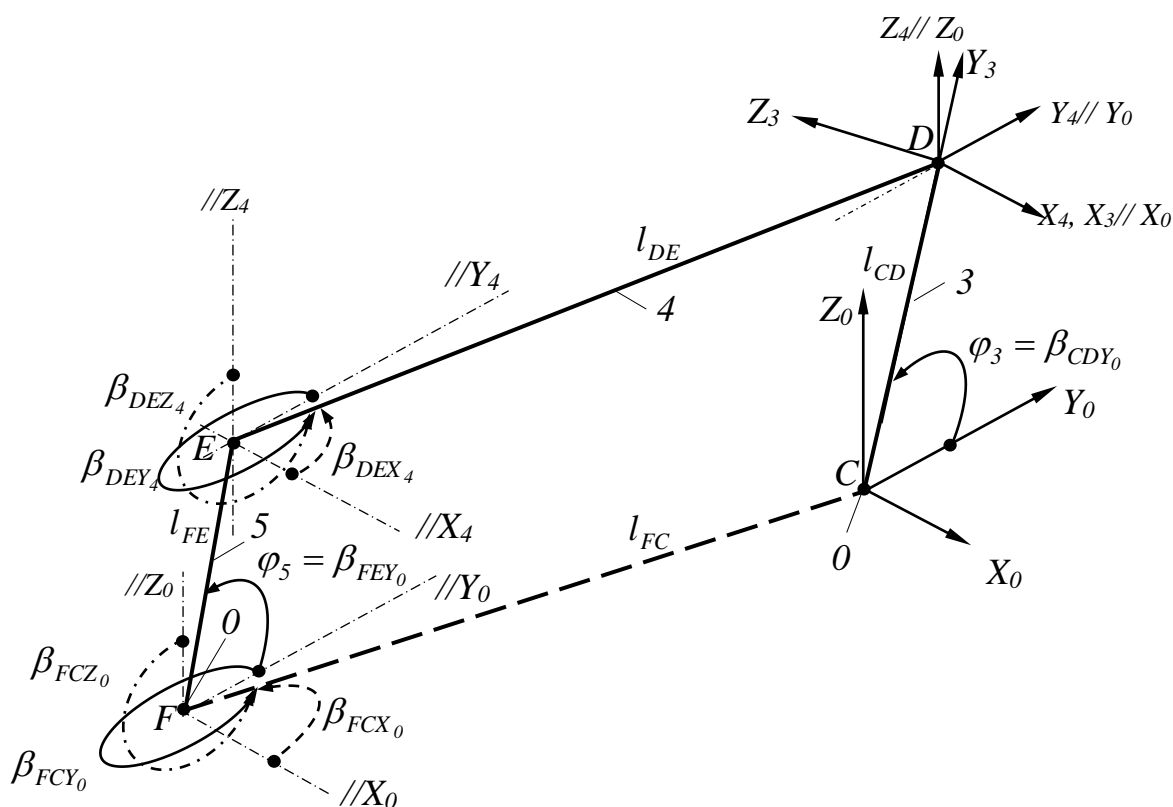


Рис. 2. Схема кінематичного ланцюга 0-3-4-5-0

З використанням рівняння (4), у яке підставлялись матриці (5) і (6), було складено систему рівнянь, при розв'язанні

якої отримана формула для визначення поточних положень траверси 5 у залежності від заданого кута φ_3

$$\varphi_5 = \arccos \left\{ \frac{(k_2 \cdot k_6)}{(k_2^2 + k_3^2)} \pm \sqrt{\left[\frac{k_2 \cdot k_6}{(k_2^2 + k_3^2)} \right]^2 - \frac{(k_6^2 - k_3^2)}{(k_2^2 + k_3^2)}} \right\}, \quad (7)$$

де допоміжні коефіцієнти:

$$k_1 = l_{FC} \cdot x_{FC}; \quad k_2 = l_{FC} \cdot y_{FC} + l_{CD} \cdot y_{CD}; \quad k_3 = l_{FC} \cdot z_{FC} + l_{CD} \cdot z_{CD};$$

$$k_4 = \frac{k_1^2 + k_2^2 + k_3^2 - l_{ED}^2 - l_{FE}^2}{2 \cdot l_{FE} \cdot l_{ED}}; \quad k_5 = k_4 \cdot l_{ED}; \quad k_6 = k_5 + l_{FE} \quad (\text{прийняті позначення})$$

$x_{FC}, y_{FC}, z_{FC}, y_{CD}, z_{CD}, x_{ED}, y_{ED}, z_{ED}, y_{FE}, z_{FE}$ відповідають косинусам кутів $\beta_{FCX}, \beta_{FCY}, \beta_{FCZ}, \beta_{CDY}, \beta_{CDZ}, \beta_{EDX}, \beta_{EDY}, \beta_{EDZ}, \beta_{FEY}, \beta_{FEZ}$.

Формула (7) дає два значення кута φ_5 , що теоретично відповідають двом можливим положенням ланки 5 при заданому положенні ланки 3 (рис. 2). Тому для отримання однозначного розв'язку були проведені пошукові дослідження, результати яких показали, що для розрахунків кінематики ланок привода

впускних клапанів у формулі (7) потрібно використовувати від'ємне значення підкореневого виразу, а випускних клапанів – додатне.

Подальші перетворення системи рівнянь дали змогу отримати шукані аналітичні залежності виду $\omega_5 = f(\varphi_1)$ і $\varepsilon_5 = f(\varphi_1)$.

$$\omega_5 = \omega_3 \frac{l_{CD}}{l_{FE}} \cdot \frac{(\sin \varphi_3 \cdot y_{ED} - \cos \varphi_3 \cdot z_{ED})}{(\sin \varphi_5 \cdot y_{ED} - \cos \varphi_5 \cdot z_{ED})}; \quad (8)$$

$$\varepsilon_5 = \frac{l_{CD} \cdot (\ddot{y}_{CD} \cdot y_{ED} + \ddot{z}_{CD} \cdot z_{ED}) - l_{ED} \cdot (\dot{y}_{ED}^2 + \dot{z}_{ED}^2)}{l_{FE} \cdot (z_{ED} \cdot \cos \varphi_5 - y_{ED} \cdot \sin \varphi_5)} +$$

$$+ \frac{l_{FE} \cdot \omega_5^2 \cdot (y_{ED} \cdot \cos \varphi_5 + z_{ED} \cdot \sin \varphi_5)}{l_{FE} \cdot (z_{ED} \cdot \cos \varphi_5 - y_{ED} \cdot \sin \varphi_5)} \quad (9)$$

Формули (7)...(9) є основою для моделювання уточнених кінематичних характеристик клапанів тепловозного дизеля Д49 при використанні різних профілів газорозподільних кулачків. Для прикладу на рис. 3 подано графіки зміни переміщень h_k , швидкостей v_k і прискорень a_k впускних клапанів дизеля Д49 у залежності від кута обертання серійного тангенціального кулачка φ_1 , одержані за результатами розрахунків за отриманими аналітичними залежностями (суцільні лінії) і за традиційною методикою (пунктирні лінії).

Проведений аналіз отриманих результатів засвідчив суттєве уточнення кінематичних характеристик впускних і випускних клапанів дизеля Д49, особливо

за значеннями максимальних прискорень клапанів. Так, для впускних клапанів: рівні переміщень уточнені на 2%, швидкостей на 7%, прискорень – 13%. Для випускних клапанів: рівні переміщень уточнені на 3%, швидкостей на 10%, прискорень – 20%.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості більш точного оцінювання міцності окремих деталей КМГР. Наприклад, визначення інерційних навантажень за отриманими уточненими величинами максимальних прискорень виявило порушення умови забезпечення стійкості штанги привода випускних клапанів. Це обумовило необхідність зміни її конструктивних параметрів [10].

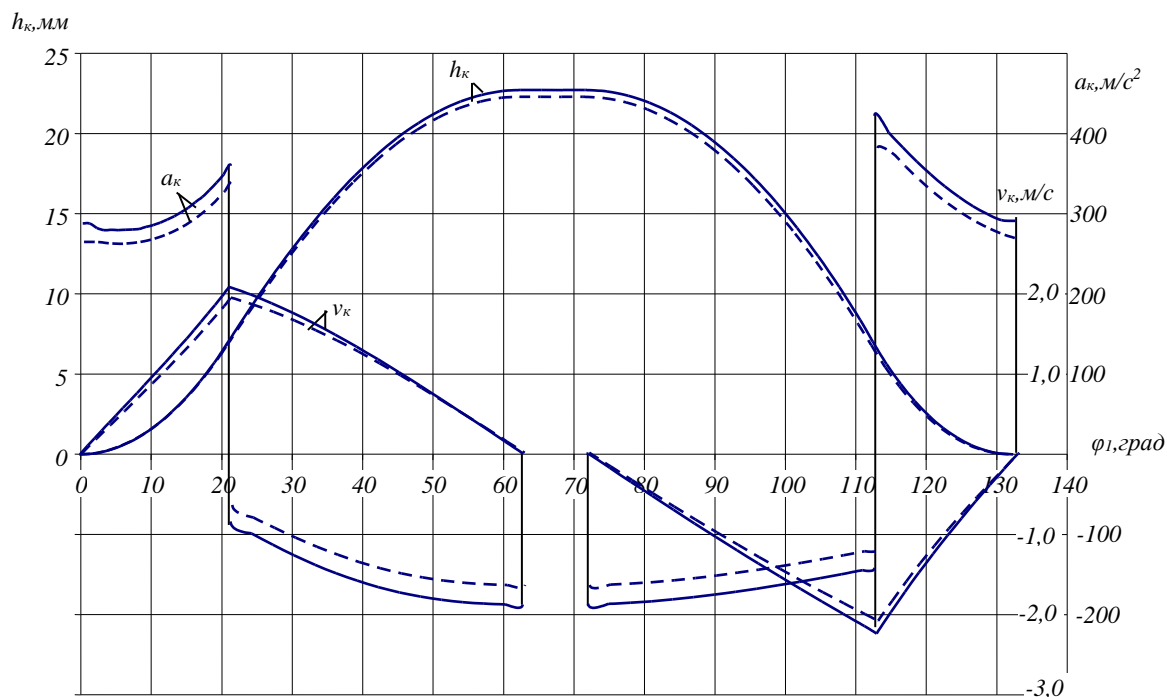


Рис. 3. Кінематичні характеристики впускних клапанів дизеля Д49

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Отримані результати підтверджують ефективність використання розроблених аналітичних залежностей для уточненого моделювання характеристик руху ланок КМГР дизеля Д49.

Запропонований підхід доцільно використовувати в дослідженнях кінематики складних просторових механізмів залізничних технічних засобів — струмозмінальних пристроїв електрорухомого складу, тягових приводів залізничного рухомого складу та ін.

Список використаних джерел

1. Карпов, В.М. Стан, проблеми та перспективи оновлення рухомого складу України [Текст] / В.М. Карпов, О.І. Никифоров // Формування ринкових відносин в Україні: зб. наук. праць науково-дослідного економічного інституту. — К.: НДЕІ, 2012. — Вип. 6 (133)/2012. — С. 160-166.
2. Тартаковський, Е.Д. Пріоритетні напрямки досліджень у галузі тягового рухомого складу [Текст] / Е.Д. Тартаковський // Зб. наук. праць. — Харків: УкрДАЗТ, 2004. — Вип. 64. — С. 5-12.
3. Мороз, В.І. Особенности формализованного описания конструкции технических средств железнодорожного транспорта [Текст] / В.І. Мороз, А.В. Братченко // Инновационный транспорт. — Екатеринбург: УрГУПС, 2014. — № 4(14). — С.10-13.
4. Мороз, В.І. Новий підхід до формалізованого описання конструкції технічних засобів залізничного транспорту [Текст] / В.І. Мороз // Залізничний транспорт України. — 2010. — № 4. — С.41-42.

5. Мороз, В.І. Удосконалення методів розрахунку механічних характеристик струмозмінювальних пристроїв сучасного моторвагонного рухомого складу [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, А.В. Павшенко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 107. – С. 163-173.

6. Братченко, О.В. Особливості використання методу перетворення координат в дослідженнях кінематики кривошипно-шатунних механізмів [Текст] / О.В. Братченко // Зб. наук. праць Дон. ін-ту залізнич. трансп. – Донецьк: ДонІЗТ, 2014. – Вип. 37. – С. 115-120.

7. Марченко, А.П. Двигуни внутрішнього згоряння [Текст]: серія підручників у 6 томах. Т.2. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин / А.П. Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов. – Харків: Прапор, 2004. – 384 с.

8. X. Zhang. Effects of late intake valve closing (LIVC) and rebreathing valve strategies on diesel engine performance and emissions at low loads / X. Zhang, Hu Wang, Z. Zheng, Rolf D. Reitz, Mingfa Yao // Applied Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 98. – pp. 310-319.

9. Морошкин, Г.Ф. Уравнения динамики простых систем с интегрируемыми соединениями [Текст] / Г.Ф. Морошкин. – М.: Наука, 1981. – 116 с.

10. Мороз, В.І. Нові підходи до розрахунків на міцність деталей клапанного привода форсованих транспортних дизелів з урахуванням проявів динаміки [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, О.А. Логвіненко // Зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2000. – Вип. 44. – С. 35-39.

Мороз Володимир Ілліч, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-51.

Братченко Олександр Васильович, канд. техн. наук, професор кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53.

Громов Володимир Ігорович, аспірант кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53.

Moroz Volodimir Illich, doct. tech. sciences, professor, manag. of department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53.

Bratchenko Alexander Vasilyevich, cand. tech. sciences, professor department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53.

Gromov Volodimir Igorovich, postgraduate of department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53.

Прийнята 25.02.2016 р.

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

**COLLECTED SCIENTIFIC WORKS OF UKRAINIAN STATE
UNIVERSITY OF RAILWAY**

Випуск 159

Збірник 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

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 02.03.2016 р.
Формат паперу А4. Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 7,0. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейсрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.