

Міністерство транспорту та зв'язку України

**Донецький інститут залізничного транспорту
Української державної академії залізничного транспорту**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ZBIRNIK NAUKOVIH PRAC'

Випуск 24

Донецьк 2010

Збірник містить статті, присвячені теоретичним, методологічним та прикладним проблемам галузі залізничного транспорту. У статтях збірника розглядаються питання організації та управління процесом перевезень; автоматики, телемеханіки та зв'язку; рухомого складу; будівництва, реконструкції та експлуатації конструкцій і споруд залізничного транспорту, економіки залізниць.

Призначений для науковців, викладачів, студентів вищих навчальних закладів та працівників залізничного транспорту.

Засновник і видавець – Донецький інститут залізничного транспорту.

РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧА КОЛЕГІЯ:

В.Й. Поддубняк, к.т.н., професор (головний редактор);
Г.І. Загарій, д.т.н., професор (заступник головного редактора);
М.М. Чепцов, д.т.н., професор (заступник головного редактора);
А.Б. Бойнік, д.т.н., професор;
Т.В. Бутько, д.т.н., професор;
А.О. Каргін, д.т.н., професор;
М.В. Паламарчук, д.т.н., професор;
М.В. Сунцов, д.х.н., професор;
Е.Д. Тартаковський, д.т.н., професор;
В.П. Шамота, д.т.н., професор;
О.В. Фінагіна, д.е.н., професор;
А.А. Плугін, д.т.н., професор.

Під загальною редакцією М.М. Чепцова

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9278 від 21.10.2004 р.

Рекомендовано до друку Вченою Радою ДонІЗТ
(протокол № 2 від 30 листопада 2010 р.)

Статті збірника рецензували члени редакційної ради, друкуються мовою оригінала.

Збірник внесено до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора та кандидата наук (№ 355 переліку, затверджено постановою президії ВАК України № 1-05/4 від 14.10.09).

Електронна версія збірника знаходиться в мережі Internet за адресою
<http://www.drty.donetsk.ua/zbirnik.htm>

ЗМІСТ

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНІКА, ЗВ'ЯЗОК

Лисіков Є.М., Астахов В.М., Воронін С.В., Тулей Ю.Л. Шляхи удосконалення стрілочних переводів залізниць України при використанні систем дозованого вводу мастильних матеріалів.....	5
--	---

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Лаврухін О.В. Формування наукових підходів щодо пріоритетного формування поїздів при застосуванні інтелектуальних методів.....	11
Мойсеєнко В.І., Бородай Г.П., Лазарєв О.В. Дослідження потоку кількості транспортних подій на залізницях України.....	18
Пасічник А.М., Андрющенко В.О., Кравчук С.С. Імітаційне моделювання роботи вантажного митного комплексу.....	32
Подригало М.А., Клец Д.М., Файст В.Л. Экспериментальная оценка распределения ускорений при движении автомобилей в транспортном потоке.....	38
Скалозуб В.В., Бардась О.О. Удосконалення методів вибору черговості розпуску составів на сортувальній станції.....	46
Чеклов В.Ф., Чеклова В.М., Лях Л.О., Даценко Д.П., Наumenко О.М. Удосконалення технології роботи під'їзної колії ВАТ «ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ» в умовах посилення технічних засобів.....	53
Шеховцов О.І. Автоматизоване робоче місце диспетчера залізничних перевезень порту.....	62

РУХОМИЙ СКЛАД

Корнейчук С.Г., Ломотько Д. В., Романович Е.В., Повороженко Е.В. Выбор критерия качества вибрационной очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов.....	69
Бондарь Е.А. Совместные технологические и экологические реостатные испытания тепловозов.....	77
Мямлін С.В., Барановський Д.М. Дослідження довговічності дизелів спеціального самохідного рухомого складу в умовах експлуатації залізниць.....	81
Рябов Е.С., Любарский Б.Г. Имитационная модель тягового безредукторного привода на основе индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком.....	88
Матвієнко С.А. Визначення параметрів математичної моделі руху поїзда для виконання оптимізаційних розрахунків.....	98

Крашенінін О.С., Шапатіна О.О. Резерви підвищення ефективності використання маневрових локомотивів.....	107
Горобченко О.М. Розробка методу оцінки факторів, що впливають на дії локомотивних бригад в нештатних ситуаціях.....	113
Фалендиш А.П., Володарець М.В. Розробка моделі для вибору потужнісних характеристик маневрового тепловозу із гібридною передачею.....	122
Грицук І.В., Гушін А.М., Прилепський Ю.В., Краснокутська З.І., Адров Д.С. Особливості визначення часу прогріву охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання, оснащеного системою регулювання температури.....	131
Мямлин С.В., Недужая Л.А., Тен А.А. Теоретические исследования динамики полувагонов.....	143
Гущин А.М., Дорошко В.І., Сацюк О.В., Володарець М.В., Лихошва О.В. Обґрунтування необхідності та можливості регулювання продуктивності вентиляторів тягових двигунів локомотивів.....	152
Іщенко В.М., Дуганов О.Г., Вислогузов В.Т. Термодинамічні особливості діагностування холодильного обладнання при використанні альтернативних холодоагентів.....	155
Обуховський В.В. Діагностування електрообладнання пасажирського вагона з кондиціонуванням повітря типу 47к/к.....	160
Савенков В. Н., Тимохин Ю. В. Влияние формы переходных участков на концентрацию напряжений в валах.....	164
Ткач В.В. Вплив змащувальної плівки на втомну міцність деталей підшипників ковзання.....	172

БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Даренский А.Н. Результаты исследований численными методами вертикальных воздействий на путь специальных и специализированных вагонов промышленного транспорта.....	178
Татьянченко А.Г. О нелинейности работы гибких элементов.....	190
Славінська О.С. Дослідження гідродинамічних процесів у відкритих зависених потоках у зоні впливу мостових переходів.....	198
Анотації.....	212

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНІКА, ЗВ'ЯЗОК

УДК 625.03

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СИСТЕМ ДОЗОВАНОГО ВВОДУ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Лисіков Є. М., д.т.н., професор (УкрДАЗТ)

Астахов В. М., к.т.н., професор (УкрДАЗТ)

Воронін С. В., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ)

Тулєй Ю. Л., інженер (Укрзалізниця)

При експлуатації стрілочних переводів, особливо таких що працюють на магістральних напрямках руху, має місце підвищений знос основних елементів, пов'язаний із високими динамічними навантаженнями, виникаючими при контакті колеса з рейками. Швидкість такого зносу визначає, в цілому, ресурс переводів та рівень безпеки руху поїздів, тому на сучасному етапі виникає необхідність розробки ефективних шляхів модернізації переводів з метою збільшення їх ресурсу.

Стрілочний перевід є складним механізмом, елементи якого повинні надійно виконувати свої функції протягом усього терміну служби. З огляду на це, основною вимогою до стрілочного переводу є рівний ресурс усіх його елементів. Однак, навіть при простому аналізі поверхонь контакту «колесо – рейка» по окремих елементах переводу, зрозуміло, що ця вимога не може бути виконана без впровадження спеціальних заходів зменшення контактних напружень. Внаслідок цього, ресурс стрілочного переводу обмежений ресурсом меншої частини його елементів, наприклад, вістряки стрілки, осердя хрестовини, рейка переводної кривої тощо [1]. Тому при розробці спеціальних засобів підвищення ресурсу переводів слід керуватися необхідністю зменшення зносу, в першу чергу, названих елементів.

На сьогоднішній день існують два магістральні шляхи підвищення ресурсу швидкозношуваних елементів стрілочних переводів, таких як удосконалення їх матеріалів, конструкції та підбір раціональних геометричних параметрів [2, 3], а також впровадження в експлуатації систем дозованого вводу змащувального матеріалу в місця контакту «колесо-рейка» з найбільшими контактними напруженнями [4, 5, 6]. Другий метод

добре зарекомендував себе на залізницях США і Європи [4], досліджується та впроваджується у Росії [5, 6] та є найбільш перспективним з точки зору його впровадження в експлуатації залізниць України. Не зважаючи на достатню кількість виробників, сьогодні не існує загального підходу до обґрунтування параметрів (періодичність уведення та величина дозування) автоматичних систем змащення стрілочних переводів та вибору змащувального матеріалу з урахуванням його несучої здатності. Комплексне вирішення таких питань дозволить не тільки збільшити ресурс елементів переводів, але й мінімізувати витрати на їх модернізацію.

З урахуванням існуючих даних по інтенсивності зношування та діючим навантаженням в окремих елементах стрілочних переводів [1, 2] можна уявити типову карту змащення, наприклад, звичайного одиночного переводу, як показано на рисунку 1.

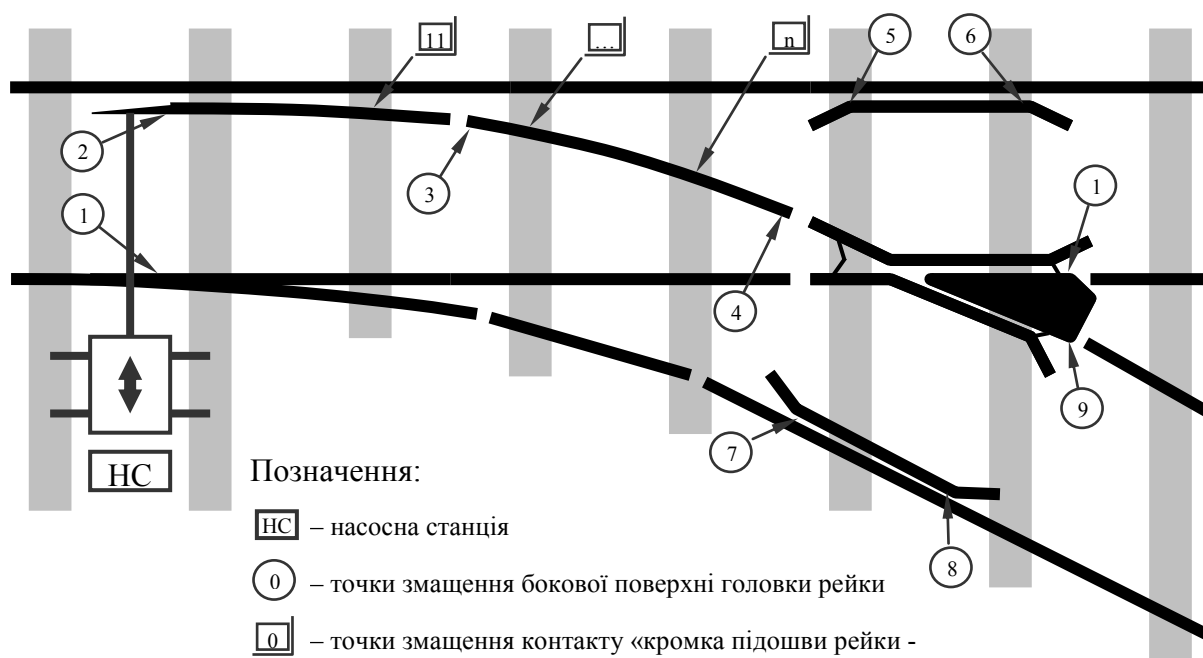
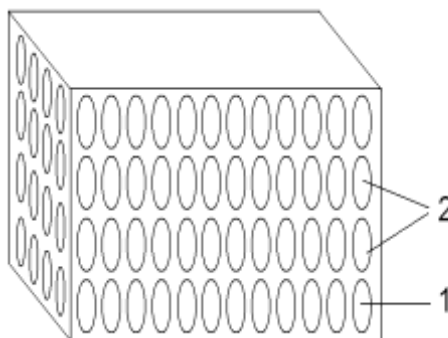


Рисунок 1 – Карта змащення звичайного одиночного переводу

Слід відзначити, що на карті змащення, наведеній на рисунку 1, пропонується змащувати не тільки бокову поверхню головки рейки у найбільш напружених місцях контакту, але й зовнішні стики контакту «кромка підшви рейки - підкладка» для перевідної кривої, оскільки контактні напруження в цих місцях іноді перевищують допустимі [2]. Звичайно, це стосується тільки переводів, що працюють на магістральних напрямках руху.

При використанні систем змащення рейок та інших елементів переводів одним з головних питань є вибір змащувального матеріалу [6], оскільки несуча здатність мастильного шару, який утворюється на контактуючих поверхнях, є вирішальною у розподілі контактних напружень. Тобто міцність такого шару в значній мірі визначає інтенсивність процесів пластичного деформування поверхневих шарів і втомного зношування деталей. Згідно класичних робіт з трибології [7, 8, 9] несуча здатність граничного змащувального шару визначається, з одного боку, силовим полем поверхні тертя, а з іншого, поверхневою активністю молекул, що входять до складу змащувального матеріалу, рисунок 2. Крім несучої здатності шару, до його головних характеристик з точки зору розробки параметрів систем змащення слід віднести «латентний період», тобто час «життя» під дією навантажень, а також час формування такого шару з моменту подачі порції мастильного матеріалу до поверхні тертя [7]. Обидва показники визначають режим роботи системи змащення (періодичність введення та величина дозування) при дії періодичних навантажень від коліс на стрілочний перевід.



- 1 – мономолекулярний шар молекул присадки;
2 – полімолекулярні шари молекул присадки.

Рисунок 2 – Розташування поверхнево-активних молекул присадки в змащувальному шарі

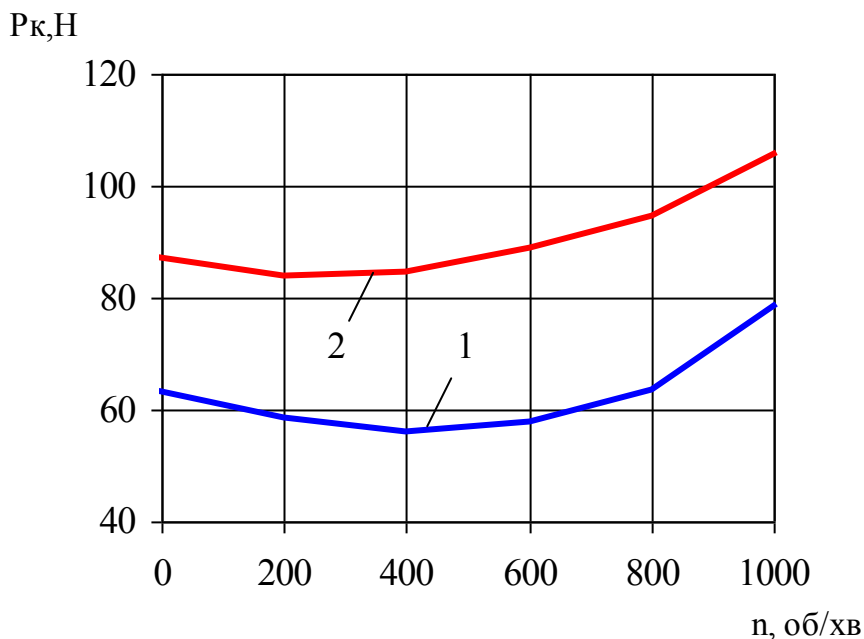
Традиційно, ефект формування на поверхнях тертя досягається за рахунок розробки і введення в мастильні матеріали присадок, молекули яких, за рахунок рознесення позитивних та негативних електричних зарядів володіють власним електричним полем. За рахунок цього поля утворення змащувального шару на поверхнях контакту відбувається більш інтенсивно, а утворені шари, як показано на рисунку 2 мають високу несучу здатність. Сучасні пластичні та рідкі мастильні матеріали, які могли б бути використані в системах дозованого змащення стрілочних

переводів, мають великий вміст функціональних присадок [10], як слід велику вартість. Тому вони здебільшого використовуються в циркуляційних система змащення, ДВЗ, гідравлічні системи та інш. Оскільки системи дозованого вводу мастильних матеріалів стрілочних переводів є відкритими, то одним з перспективних рішень щодо вибору змащувальних матеріалів є використання відпрацьованих мастил після їх регенерації. Така регенерація повинна складатися з декількох основних етапів:

- збір та сортування відпрацьованих мастил;
- діагностика стану мастил по критеріям в'язкості, кислотного числа, вмісту води, вмісту механічних домішок;
- вибір для систем змащення переводів таких відпрацьованих мастил, які за показниками в'язкості і кислотного числа не досягли своїх граничних значень. З досвіду експлуатації мобільної та шляхової техніки, до таких мастил можуть бути віднесені індустріальні та гідравлічні мастила, що працюють в умовах помірних температур та тисків [11];
- проведення тонкої очистки обраних мастил від води та механічних домішок;
- введення пакету протизношувальних і антифрикційних присадок до мастил. При виборі присадок слід керуватися показниками їх «латентного періоду» і несучої здатності в залежності від концентрації, діапазоном робочих температур та вартістю.

Використання регенованих мастил може привести до значного економічного ефекту при експлуатації стрілочних переводів лише у випадку дотримання розробленої технології регенерації. Цей напрямок є актуальною науковою задачею, особливо в контексті використання регенованих мастил для змащення елементів стрілочних переводів.

При використанні для змащення переводів мастил з поверхнево активними присадками слід відзначити наявність специфічного фізичного явища, котре негативно відбивається на змащувальних властивостях. Це явище полягає у взаємодії молекул присадок між собою в об'ємі мастильного матеріалу з утворенням надмолекулярних структур, що сприяють погіршенню умов формування змащувального шару на поверхнях [12, 13], і має місце як у регенованих та і у нових мастилах. Проведеними раніше дослідженнями на машині тертя встановлено, що запобігти негативній дії вказаного явища можливо за рахунок обробки рідких мастильних матеріалів електричними полями, оскільки природа взаємодії присадок між собою також електрична. В результаті, досягається значне збільшення несучої здатності полімолекулярного змащувального шару, рисунок 3.



1 – без електричної обробки мастила;
2 – з обробкою.

Рисунок 3 – Зміна несучої здатності змащувального шару від числа обертів

Запропонована технологія також може бути використана для удосконалення стрілочних переводів залізниць України. Для цього необхідно провести оснащення систем дозованого вводу мастильних матеріалів пристроями для їх електричної обробки.

Висновки. При експлуатації стрілочних переводів, оснащених системами дозованого вводу мастильних матеріалів можна виділити два основних шляхи їх удосконалення:

- розробка та впровадження засобів регенерації відпрацьованих мастил з метою створення для дозованих систем мастильних матеріалів з високою несучою здатністю та максимальним «латентним періодом»;

- введення в систему змащення підготовчого етапу, спрямованого на підвищення несучої здатності та «латентного періоду» мастильних матеріалів для систем дозованого вводу. Такий етап полягає в обробці мастильного матеріалу зовнішніми електромагнітними полями безпосередньо у момент вводу матеріалу в зону контакту.

Сукупна дія наведених процесів дозволить у короткий термін перейти до створення та впровадження на залізницях України ефективних систем дозованого вводу мастил, при одночасному забезпеченні максимального рівного по елементах ресурсу стрілочних переводів та мінімальних витрат на їх модернізацію і експлуатацію.

Список літератури

1. РТМ 32/ЦП-3-75. Признаки дефектных и остродефектных элементов стрелочных переводов. МПС СССР, Москва.
2. Волошко Ю. Д., Орловский А. Н. Как работают стрелочные переводы под поездами. – М.: Транспорт, 1987. – 120 с.
3. T. Kageyama, Y. Hori. International Railway Journal, 2001, № 9, p. 25 – 26.
4. M. Luczak. Railway Age, 2000, № 4, p. 66 – 67.
5. В. М. Богданов, С. М. Захаров. Современные проблемы системы колесо – рельс // Железные дороги мира. Вып.1. – 2004.
6. Л. И. Бартенева, В. Е. Никитин. Технология комплексного снижения износа гребня колеса и рельса с помощью передвижных рельсосмазывателей // Железные дороги мира. Вып.1. – 2004.
7. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматгиз, 1963 – 471 с.
8. Основы трибологии /Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001 – 664 с.
9. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника)/Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003 - 576с.
10. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочное изд. /Под ред. В.М. Школьников. - М.: Издательский центр «Техинформ», 1999 - 596 с.
11. Руднев В.К., Венцель Е.С., Лысиков Е.Н. Эксплуатационные материалы для строительных и дорожных машин: Учебное пособие. - Киев: ИСИО, 1993 -236 с.
12. Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.Н. Лысиков и др. Повышение ресурса технических систем путем воздействия электрическими и магнитными полями. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006 – 544с.
13. Лысиков Е. Н., Косолапов В. Б., Воронин С. В. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем. – Харьков: ЭДЭНА, 2009 – 274 с.

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

УДК 656.222.6:656.212

Лаврухін О.В. доц. (УкрДАЗТ)

ФОРМУВАННЯ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ЩОДО ПРІОРИТЕТНОГО ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ

Вступ. В умовах ринку транспортних послуг залізничний транспорт займає провідне положення серед інших видів транспорту про це свідчить той факт, що на його долю припадає більш 60% вантажо- і 40% пасажирообігу.

Ефективна робота залізничної інфраструктури залежить від раціонального використання засобів транспорту та людських ресурсів. Це можливо в умовах впровадження інноваційних проектів та удосконалення існуючих технологій роботи залізниць.

Світові тенденції розвитку транспортного ринку свідчать про необхідність переорієнтації виробництва у бік поліпшення якості обслуговування клієнтів при умові збільшення прибутковості галузі, але нажаль на даний час спостерігаються дестабілізуючі процеси, які негативно відбиваються на якості роботи Укрзалізниці. Для підтвердження цього положення доцільно проаналізувати тенденцію виконання основних кількісних і якісних показників експлуатаційної роботи.

Аналіз статистичних даних та досліджень. Останні офіційно-опубліковані дані Укрзалізниці свідчать про погіршення виконання показників у порівнянні з попередніми роками. Так простій під однією вантажною операцією з 2005 року збільшився на 1,61 години (рисунок 1.1). Це свідчить про те, що існуюча технологія формування, просування та обробки поїздопотоків не відповідає існуючим вимогам реального часу. Як правило погіршення цього показника свідчить про зменшення вагонопотоку, яке в свою чергу призводить до збільшення часу на формування поїздів різних категорій.

Також у негативний бік змінився такий якісний показник, як час простою під однією вантажною операцією (рисунок 1.2). Погіршення цього показника пов'язане з тим, що залізниця і вантажовідправник дуже повільно, в технологічному аспекті реагують на зменшення або збільшення вантажопотоку.



Рисунок 1.1 - Аналіз простою вагонів на одній технічній станції

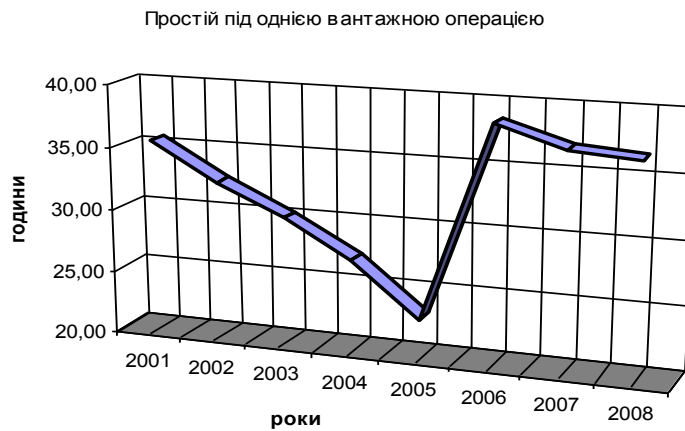


Рисунок 1.2 - Аналіз простою під однією вантажною операцією

І хоча в умовах погіршення проаналізованих показників відбулося певне підвищення середньої дільничної швидкості (рисунок 1.3), істотного позитивного впливу на величину обігу вантажного вагону – основного комплексного показника ефективності використання рухомого складу не відбулося (рисунок 1.4).

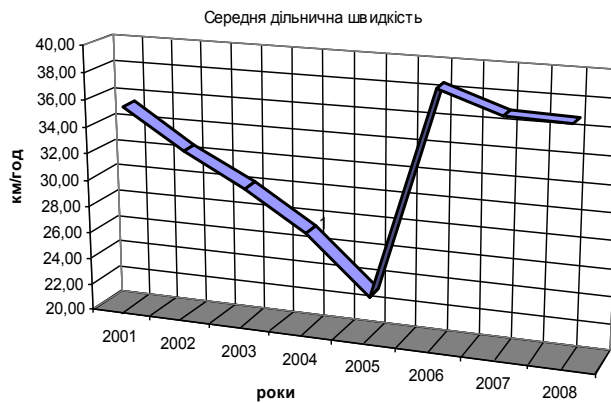


Рисунок 1.3 - Аналіз середньої дільничної швидкості

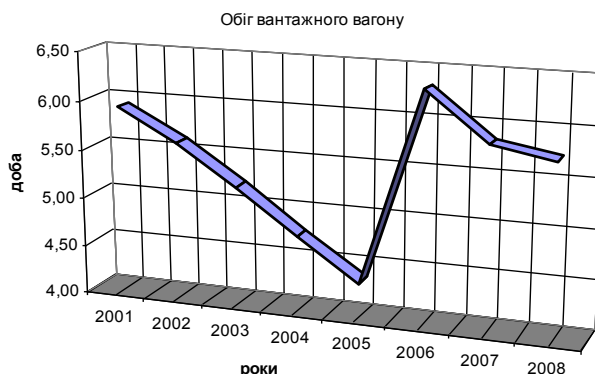


Рисунок 1.4 - Аналіз обігу вантажного вагону

Однією з причин такого становища є наявність певних недоліків в системі оперативного управління перевізним процесом основою якого є диспетчерське управління експлуатаційною роботою. Це пов'язано з тим, що майже всі рішення «управлінці» приймають на основі свого досвіду тобто управління перевізним процесом обумовлюється великою долею суб'єктивізму незважаючи на існування комп'ютерних засобів обробки інформації. В даному випадку автоматизовані робочі місця носять характер, інформаційно-довідкових систем з яких диспетчера можуть лише констатувати виникнення певних подій, а планування і прогноз розвитку по найбільш раціональним варіантам покладають на свій досвід, що в кінцевому підсумку може призвести до порушення технологічного процесу просування поїздопотоків на всій мережі [1].

В роботі [2] розглядаються питання розробки принципів побудови системи підтримки прийняття рішень (СППР) при управлінні вантажними перевезеннями, яка дозволяє впливати на окремі елементи обігу вантажного вагону, що мають найбільше значення, але така СППР не враховує оперативного характеру дій з боку диспетчерського апарату щодо пріоритетного виконання операцій пов'язаних з поїзним процесом.

Відповідно до цього доцільно подальше удосконалення перевізного процесу виконувати на основі формування автоматизованої інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень оперативного персоналу щодо пріоритетного виконання операцій пов'язаних з поїзним процесом. Відповідно до цього слід зазначити, що поїзному диспетчеру (ДНЦ) – основному організатору поїзної роботи згідно оперативного плану роботи підрозділу необхідно при відправленні поїздів зі станції враховувати їх пріоритетність. З цією метою ДНЦ повідомляє маневрового диспетчера (ДСЦ) у якій послідовності необхідно виконувати закінчення формування складів, що знаходяться на станції. На підставі цього ДСЦ забезпечує таку послідовність розпуску складів і виведення вагонів з

вантажних пунктів, яка забезпечить виконання відправлення відповідно до пріоритетності визначеної ДНЦ.

Формування моделі пріоритетного формування поїздів. Визначення пріоритетності щодо підготовки поїздів свого формування до відправлення, ДНЦ повинен здійснювати на підставі аналізу та узагальнення певного переліку факторів (параметрів) впливу. Значення цих параметрів як правило мають різну розмірність або вона зовсім відсутня, а в деякому випадку певні параметри доволі складно описати стандартними математичними виразами. До переліку зазначених параметрів можливо віднести:

- кількість накопичених на певній колії вагонів (f_1);
- наявність вагонів необхідних призначень на станції в парку прийому і на під'їзних коліях, а також на підходах до станції (f_2);
- обсяг виконання операцій розпуску (тобто скільки составів необхідно розпустити для накопичення визначеного поїзду і як в цих складах розташовані відчепи для цього поїзду) (f_3);
- наявність нитки графіку руху поїздів (f_4);
- можливості станції призначення або вантажоодержувача для переробки вагонів, що надійдуть на станцію (f_5).

Відповідно зазначених параметрів можливо сформувати загальну умову доцільності формування певного поїзда, яка є основою визначення пріоритету при його формуванні у наступному вигляді:

$$F = \begin{cases} (f_1, f_2) = m_g^n \geq m_{скл} \\ (f_3) = s_{розф} \rightarrow \min \\ (f_4) = r_{оч}^{нз} \rightarrow 0 \\ (f_5) = v_{во} \rightarrow 0 \end{cases}, \quad (1)$$

де m_g^n - загальна кількість вагонів одного призначення, яка знаходиться на станції (в тому числі вагони на коліях сортувального парку, вагони в поїздах, які знаходяться в парку прибуття, вагони, які знаходяться під вантажними операціями), ваг.;

$m_{скл}$ - кількість вагонів у складі поїзду згідно встановлених норм та плану формування вантажних поїздів, ваг.;

$s_{розф}$ - кількість составів, які необхідно розформувати для накопичення нового составу.

$r_{оч}^{нз}$ - часове відхилення часу нитки ГРП від значення часу формування поїзду певного призначення, год.;

$v_{во}$ - відхилення часових значень прибуття вантажного поїзду на станцію призначення від закінчення вантажних операцій з поїздами, що надійшли раніше, год.

На практиці ДНЦ фактично враховує лише незначну частину цих факторів, а саме: кількість накопичених на певній колії вагонів та наявність нитки графіку руху поїздів. Це призводить до того, що після відправлення поїзда за станції та його прибуття на станцію призначення (згідно показників роботи) виникають наступні ситуації:

- вантажоотримувач не має змоги прийняти вагони, що надійшли на його адресу;

- вантажоотримувач не має змоги переробити вагони згідно вимог єдиного технологічного процесу роботи вантажної станції і станцій примикання (ЄТП);

- станції на які відправляється поїзд не можуть своєчасно його прийняти та обробити. В цьому випадку поїзда лишають на підходах до станції призначення без локомотиві (кинуті поїзди);

- поїзда прямують минаючи станцію призначення. Така ситуація виникає у випадку відсутності колій на станціях, які розташовані перед станцією призначення поїзда проходять далі і кидаються на станціях, які розташовані поза станцією призначення. Після того як такі поїзди «піднімають» стає питання про нераціональний пробіг вагонів за який вантажоотримувач не буде здійснювати оплату за перевезення. Тим самим плата за перевезення покладається на Укрзалізницю, що негативно відбивається на прибутковості підприємства;

- сортувальні станції не мають можливості справитися з поїздопотокм який надходить у переробку. Така ситуація виникає як правило при відновлювальних або планово-ремонтних роботах якщо є необхідність закриття однієї з сортувальних систем або окремого парку.

Зазначений перелік ситуацій свідчить про негативний вплив людського фактору з боку поїзного та маневрового диспетчерів на раціональне виконання експлуатаційного процесу в галузі формування та просування поїздо- і вагонопотоків.

З цією метою необхідно розробити модель визначення пріоритету закінчення формування вантажних поїздів, яка буде враховувати раніше зазначені фактори.

Поставлену задачу можливо віднести за своїм характером до класу слабкоструктурованих оскільки постає необхідність узагальнення значної кількості різнозначних факторів. Задачі такого класу як правило найбільш доцільно вирішувати шляхом застосування евристичних методів до яких відноситься нечітка логіка.

Таким чином для вирішення поставленої задачі необхідно сформувати комплекс функцій приналежності, які будуть відтворювати вплив визначених факторів на пріоритетність при закінченні формування вантажних поїздів різних категорій.

Якщо дані параметри розглядати локально від інших то вони також можуть бути покладені в основу оперативного планування підрозділу при визначенні обсягів відправлення поїздів зі станцій формування (2), що буде відображено при формуванні нечіткої змінної (3).

$$(f_1, f_2) = \left\{ \begin{array}{l} t_{p-\phi} \cdot n + \Delta \\ \Delta = t_{\text{BO}}^{\text{пп}} - t_{p-\phi} \cdot n \\ \text{якщо } \Delta > 0 \\ t_{p-\phi} \cdot n + \Delta \\ \text{якщо } \Delta < 0 \\ t_{p-\phi} \cdot n + 0 \end{array} \right\} \text{при } m_{\epsilon}^n \geq m_{\text{скл}}, \quad (2)$$

$t_{p-\phi} \cdot n$ - час на розформування поїздів в яких знаходяться вагони певного призначення;

$m_{скл}$ - кількість вагонів у складі поїзду згідно встановлених норм та плану формування вантажних поїздів, ваг.

Для вирішення задачі побудови функцій приналежності, які будуть описувати параметри (f_1) та (f_2) і знаходження впевненості у відправленні поїзда зі станції формування в планову добу необхідно визначити лінгвістичні змінні у вигляді набору ознак, які в достатній мірі описують обрані параметри [3]. Безпосередньо переходячи до формалізації лінгвістичних змінних одержано:

$$\begin{aligned} & \langle "Êëüêñòùââñî³â", \{ "ãðîà ââñî³â", "ñçà" \}, [0, 50] \rangle \\ & \langle "×āñ āī çàê³í÷āīīý ôîðîáâāīīý", \{ "īā â³āīðāâèò ñý", "â³āīðāâèò ñý" \}, [0, 24] \rangle. \end{aligned} \quad (3)$$

на рисунку 1 відображено графічну інтерпретацію побудови функції приналежності лінгвістичної змінної « Кількість вагонів », яка має граничні значення $[0;50]$. В даному випадку верхньою межею було взято 50 вагонів. На практиці розмір составу обирається у відповідності для кожного варіанту плану формування поїздів.

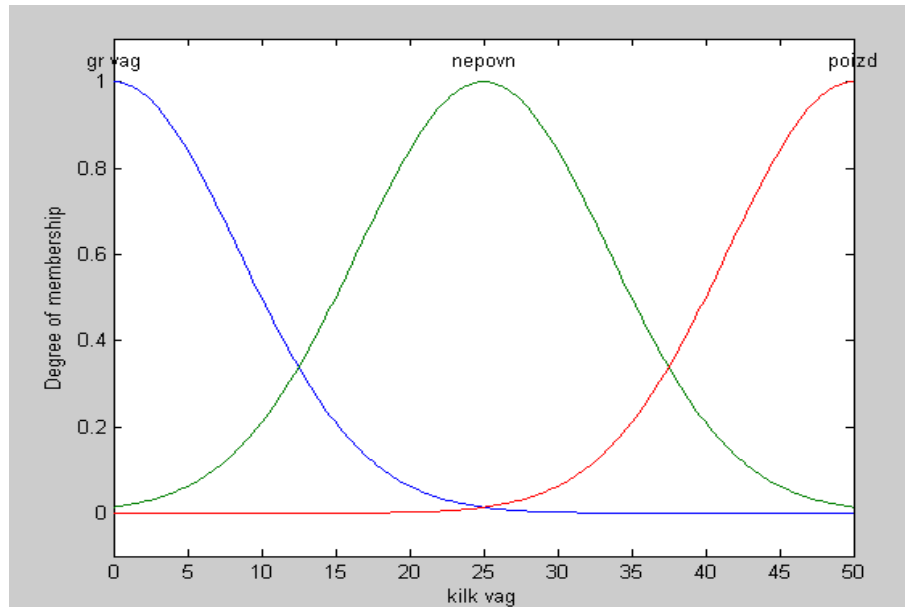


Рисунок 1 - Функції приналежності лінгвістичної змінної $\mu_{\alpha_j^{kv}}$ - „Кількість вагонів”.

Таким чином було сформовано лінгвістичні змінні у вигляді набору ознак, які в достатній мірі описують параметри (f_1) та (f_2) і сформовано набір відповідних функцій приналежності.

В подальшому при формуванні моделі пріоритетного формування поїздів на станції необхідно сформувати лінгвістичні змінні та відповідні функції приналежності, які будуть описувати параметри (f_3, f_4, f_5) .

Висновок. Сформовані в даній науковій роботі підходи щодо пріоритетного формування вантажних поїздів дозволяють найбільш раціонально виконувати всі технологічні процедури пов'язані з їх формуванням на станціях та просуванням по дільцях, що стало основою формування лінгвістичних змінних, які описують основні параметри поїздоутворення та відповідні функції приналежності. Це в свою чергу є базою для подальшої розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень оперативним персоналом станцій та дирекцій залізничних перевезень, яка надасть можливість зменшити або усунути вплив людського фактору на прийняття рішень щодо виконання експлуатаційної роботи і як наслідок підвищити економічну ефективність роботи залізничної галузі.

Список використаних джерел

1. Грошев Г.М. Пособие поездному диспетчеру и дежурному по отделению / Грошев Г.М., Кудрявцев В.А., Платонов Г.А., Чернюгов А.Д. – М.: Транспорт, 1992. – 368с.
- 2 Жуковицький І.В. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень і управління вантажними перевезеннями на основі аналітичних серверів АСК ВП УЗ / І.В. Жуковицький, В.В. Скалозуб, А.Б. Устинко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2007. – №.17. – С.28-34.
3. Мелехов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечёткой логикой / Мелехов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. – М. Наука. Гл. ред. Физ.-мат.-лит. – 1990.

УДК 519.246:656.2.08

*Мойсеєнко В.І., к.т.н., професор (УкрДАЗТ)
Бородай Г.П., к.фіз.-мат.н., доцент (УкрДАЗТ)
Лазарєв О.В., ст. викладач (УкрДАЗТ)*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКУ КІЛЬКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ
ПОДІЙ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ**

Аналіз стану проблеми та постановка задачі. Кожну залізнично-транспортна подію (ЗТП) можна й варто розглядати як свого роду науковий експеримент, що спонтанно здійснився, планомірна постановка якого зажадала б значних фінансових, часових і емоційних витрат.[1]

Ретельне розслідування кожної ЗТП, нагромадження, наступна обробка й систематизація відповідних даних дозволяють установити закономірності явищ і процесів, що протікають у досліджуваних об'єктах. Метою такого дослідження є розроблення рекомендацій для вдосконалювання технологічних процесів, усунення вад й протиріч в нормативних документах, формулювання задачі оптимізації транспортного процесу й відшукування їх нетрадиційних рішень [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження будь-яких потоків даних виконується в багатьох галузях науки і техніки. Потік кількості транспортних подій на залізниці досліджений поки-що недостатньо. Це питання розглядається в працях [2, 3]

Окремі дослідження вказують на існування закономірностей зміни чисельності порушень по рокам у вигляді рівняння другого порядку [3]:

$$y = A + Bx + Cx^2$$

Місячні реалізації, за даними вказаних авторів та результатів дослідження сходів рухомого складу з рейок [2] мають випадковий характер і представляють собою реалізації x_1, x_2, \dots, x_n випадкового процесу. Виходячи з цього сформульована гіпотеза про нормальний закон розподілення випадкової змінної x_i місячних реалізацій [3].

При вирішенні науково-практичних завдань, пов'язаних з моделюванням ЗТП та формуванням кількісних оцінок небезпек дуже важливе значення мають такі властивості випадкових змінних, як стаціонарність, ординарність та відсутність або наявність післядії

У роботі Сокола Е.М. [2] показано, що за період 1994-1995 років реалізації даних по сходах рухомого складу можуть розглядатися як дискретна імовірнісна величина з пуасонівським законом розподілення. Автор припускає наявність стаціонарності та відсутності післядії потоку даних, що є важливими характеристиками при прогнозуванні ймовірнісних величин. Також слід визнати, що дані для дослідження взяті тільки по Львівській залізниці й, можливо, не враховують тенденцію інших залізниць та Укрзалізниці в цілому.

Тому у [3] на основі вибірки кількості транспортних подій по Укрзалізниці за 1995-2003 роки перевірено гіпотезу про нормальний розподіл ймовірнісної величини кількості порушень протягом місяця.

У вказаних працях акцентується увага на визначенні законів розподілення ймовірнісних величин. Питання дослідження потоків даних не набули належної наукової підтримки. Внаслідок цього належним чином не досліджено вплив людського фактору та якості керування галуззю на кількість транспортних подій, тому ця проблема є актуальною як в науковому, так і в практичному плані.

Формулювання мети статті. Метою статті є визначення закономірностей та тенденцій поведінки потоку кількості транспортних подій.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо чисельні характеристики реалізацій ЗТП по рокам та місяцям маючи на увазі дані офіційної статистики [4]. Характер поведінки кількісних показників окремих видів порушень має максимум у кінці дев'яностих років двадцятого століття з наступним спадом у 2001-2008 роках та стабілізацією на протязі останніх п'яти років, рисунки 1-2.

Максимум функції спостерігається у 1995 році, а потім з кожним роком кількість транспортних подій зменшується. Таким чином можна

зробити висновок, що розподілення ЗТП по рокам має сталу тенденцію до зменшення їх кількості та їх реалізації не є випадковими.

Починаючи з 2004 року спостерігається відносно стала тенденція характеру поведінки реалізацій чисельності порушень по рокам. Розглянемо більш докладно період з 2005 по 2009 роки. Розглянемо поведінку місячних реалізацій порушень, досліджуючи розгортання даного процесу протягом року. Чисельні дані, що наведені у таблиці 1 та характер їх поведінки (рисунок 3) дають попередню підставу вважати їх випадковими реалізаціями.

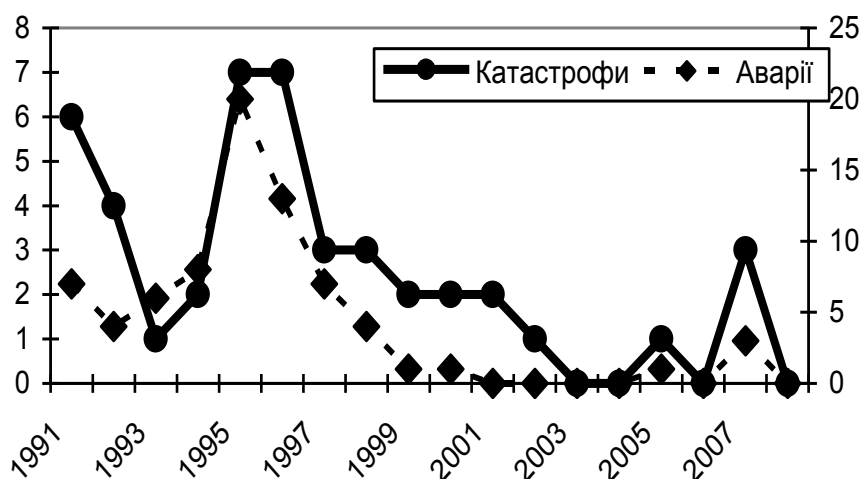


Рисунок 1 - Зміни чисельності катастроф та аварій

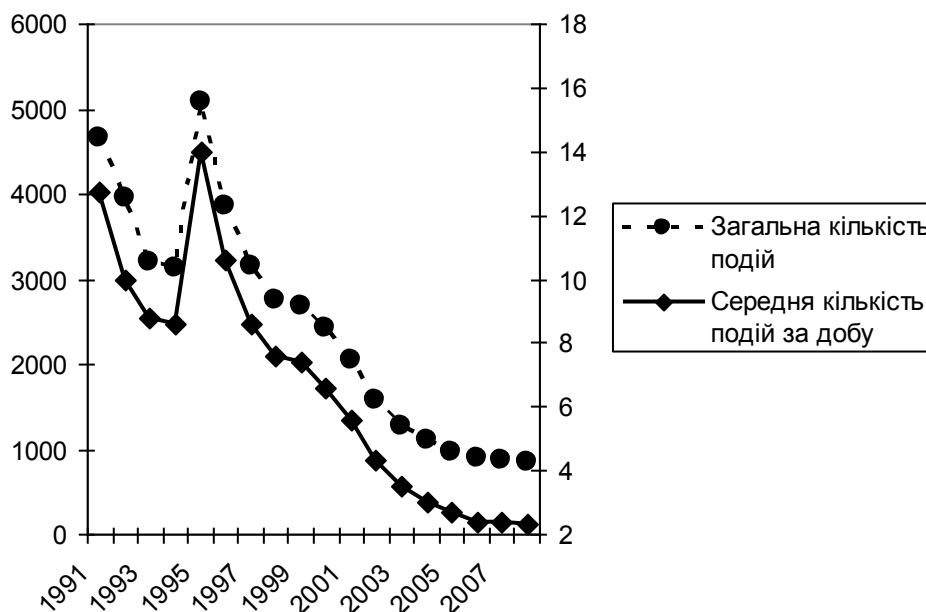


Рисунок 2 - Загальна чисельність ЗТП та їх середня кількість за добу

У зв'язку з цим авторами сформульоване припущення щодо випадкового характеру цих реалізацій ЗТП, крім того вважається, що потік подій у 2005-2009 рр. є стаціонарним (однорідним), та не має післядії (вибірка є дійсно випадковою реалізацією незалежних випадкових величин).

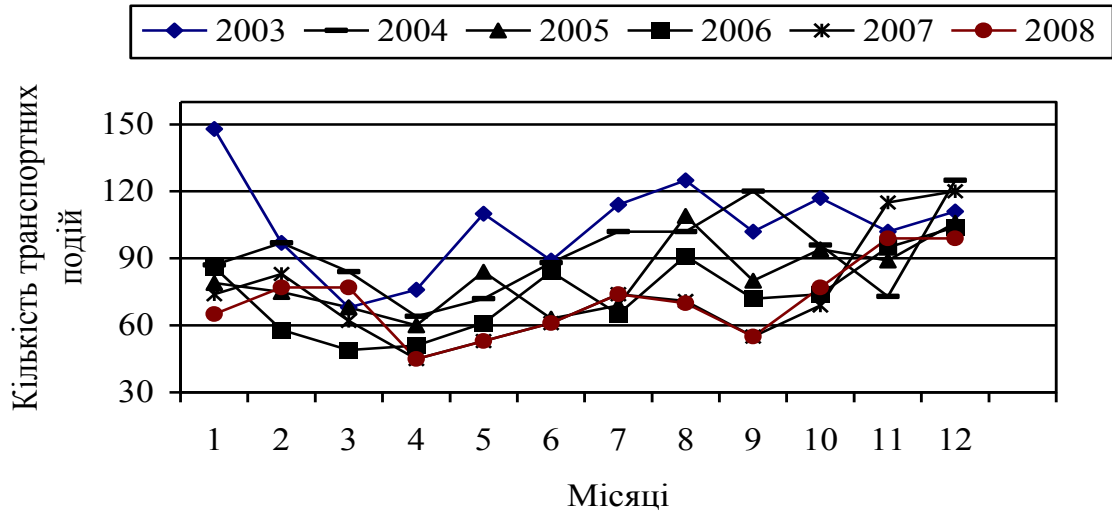


Рисунок 3 - Розподіл кількості ЗТП по місяцях року

Таблиця 1 - Розподіл кількості транспортних подій по місяцях

Рік	Місяць											
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
1995	354	365	433	421	448	460	461	430	422	392	506	405
1996	362	392	324	325	306	319	313	341	332	241	276	331
1997	231	217	265	260	262	291	304	253	217	296	239	333
1998	209	164	241	255	226	283	295	251	194	184	205	237
1999	152	155	213	191	214	246	249	247	184	219	368	249
2000	160	164	258	249	167	210	240	218	174	137	242	196
2001	120	95	100	133	262	201	295	210	184	139	149	153
2002	98	92	82	109	147	148	160	148	144	138	153	156
2003	148	97	68	76	110	89	114	125	102	117	102	111
2004	87	97	84	64	72	88	102	102	120	96	73	125
2005	79	75	68	60	84	63	69	109	80	94	89	106
2006	86	58	49	51	61	84	65	91	72	74	95	104
2007	74	83	62	45	53	61	74	71	55	69	115	120
2008	65	77	77	45	53	61	74	70	55	77	99	99
2009	59	76	73	43	48	61	74	68	65	77	83	101

Перевірка незалежності ряду спостережень.

Перед тим як піддати результати спостережень відповідній статистичній обробці, необхідно переконатись, що вони дійсно утворюють випадкову виборку, тобто є стохастично незалежними. У нашому випадку x_1, \dots, x_m ($m=12$) випадкові величини, які визначають число транспортних подій у $m=12$ місяцях (протягом року). Для перевірки твердження про незалежність скористаємось даними таблиці 1. Будемо вважати спостереження випадкової величини в різні роки, як n реалізацій x_i $n=4,5,6$. Для перевірки незалежності використаємо 2 критерії:

- критерій серій, заснований на медіані виборки;
- критерій квадратів послідовних різниць (критерій Аббе) [5, 7]

Критерій серій, заснований на медіані виборки [5].

Розглянемо три періоди часу виникнення ЗТП: 2006-2009 рр., 2005-2009 рр., 2004-2009 рр. та для кожного з них застосуємо критерій серій, що заснований на медіані виборки.

Перший період з 2006р. по 2009 рр. Кількість елементів виборки $n = 48$, медіана виборки $x_{med} = 71.5$

Таблиця 2 – Розподіл кількості транспортних подій по місяцях у 2006-2009рр.

Рік	Місяць												Кіл. серій
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2006	86	58	49	51	61	84	65	91	71	74	95	104	7
2007	74	83	62	45	53	61	74	72	55	69	115	120	4
2008	65	77	77	45	53	61	74	70	55	77	99	99	6
2009	59	76	73	43	48	61	74	68	65	77	83	101	6

Елементи, для яких $x_i > x_{med}$ підкреслені. Серією є послідовність підряд розташованих підкреслених або не підкреслених елементів варіаційного ряду. Кількість серій позначається $v(n)$, а довжина найдовшої серії $\tau(n)$. У таблиці 2 $v(n) = v(48) = 23$, $\tau(n) = 5$. За критерієм серій перевіряється одночасне виконання нерівностей [5]

$$\begin{aligned} v(n) &> \frac{1}{2}(n+1-1.96\sqrt{n-1}), \\ \tau(n) &< 3.3 \log_{10}(n+1), \end{aligned} \quad (1)$$

які при $n = 48$ виконуються:

$$\begin{aligned} 23 &> 17.78 \\ 5 &< 5.5947. \end{aligned}$$

Таким чином можна зробити висновок, що гіпотеза про незалежність виборки з 48 елементів таблиці 2 не відкидається.

Розглянемо другий період з 2005 по 2009рр. Кількість елементів виборки $n = 60$, медіана виборки $x_{\text{med}} = 73.5$

Таблиця 3 – Розподіл кількості ЗТП по місяцях у 2005-2009рр.

Рік	Місяць												Кіл. серій
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2005	79	75	68	60	84	63	69	109	80	94	89	106	5
2006	86	58	49	51	61	84	65	91	71	74	95	104	6
2007	74	83	62	45	53	61	74	72	55	69	115	120	4
2008	65	77	77	45	53	61	74	70	55	77	99	99	6
2009	59	76	73	43	48	61	74	68	65	77	83	101	6

$v(n) = v(60) = 27$, $\tau(n) = \tau(n) = 6$. Нерівності (1) при $n = 60$:

$$27 > \frac{1}{2}(61 - 1.96\sqrt{59}) = 22,97$$

$$6 < 5.8918.$$

Тобто критерій незалежності виконується не повною мірою через хибність другої нерівності. Отримані результати вказують на те, що чисельні дані не підтверджують впевнено висунуту гіпотезу.

Розглянемо останній період з 2004 по 2009рр. Кількість елементів виборки $n = 72$, медіана виборки $x_{\text{med}} = 74$

Таблиця 4 – Розподіл кількості ЗТП по місяцях у 2004-2009рр.

Рік	Місяць												Кіл. серій
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2004	87	97	84	64	72	88	102	102	120	96	73	125	5
2005	79	75	68	60	84	63	69	109	80	94	89	106	4
2006	86	58	49	51	61	84	65	91	71	74	95	104	6
2007	74	83	62	45	53	61	74	72	55	69	115	120	2
2008	65	77	77	45	53	61	74	70	55	77	99	99	4
2009	59	76	73	43	48	61	74	68	65	77	83	101	4

Елементи виборки, які дорівнюють $x_{\text{med}} = 74$ викреслюються. $v(n) = v(72) = 25$, $\tau(n) = \tau(72) = 7$. Нерівності (1) при $n = 72$: не виконуються.

$$27 > \frac{1}{2}(73 - 1.96\sqrt{71}) = 28,3$$

$$7 < 3.31 \frac{\ln 73}{\ln 10} = 6.16$$

Таким чином можна зробити висновок, що гіпотеза про незалежність не може бути прийнята та відкидається.

Проведені розрахунки за критерієм серій, заснованим на медіані виборки, для трьох періодів вказують на те, що гіпотеза про незалежність ряду спостережень у 2004-2009рр. відкидається, у 2005-2009рр. не підтверджується впевнено, а у 2006-2009рр. не відкидається.

Перевіримо незалежність ряду спостережень ЗТП за критерієм квадратів послідовних різниць (критерій Аббе) [5, 7].

Виборка, яка досліджується, добирається з нормальної генеральної сукупності. Це буде доведено пізніше. Для перевірки стохастичної незалежності реалізацій ЗТП за допомогою даного критерію обчислюють величину [5]

$$\gamma^{(n)} = \frac{q^2(n)}{s'^2(n)},$$

$$\text{де } q^2(n) = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2;$$

$$s'^2(n) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2;$$

$$\bar{x} = \bar{x}(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Якщо виявиться, що $\gamma(n) \leq \gamma_{\alpha}^{\text{кр}}(n)$, то гіпотеза про стохастичну незалежність результатів вимірювання відкидається. При цьому величина $\gamma_{\alpha}^{\text{кр}}(n)$ для $n > 60$ обчислюється за формулою [5]

$$\gamma_{\alpha}^{\text{кр}}(n) = 1 - \frac{u_{\alpha}}{\sqrt{n + 0.5(1 + u_{\alpha}^2)}}, \quad (2)$$

де u_{α} - α -квантиль нормального розподілу: $u_{0.001} = 3.09$, $u_{0.01} = 2.326$, $u_{0.05} = 1.645$ [8].

Величина $\gamma_{\alpha}^{kp}(n)$ при $n \leq 60$ для трьох рівнів значущості $\alpha=0,001$, $\alpha=0,05$, $\alpha=0,01$ надані в таблиці 4.9 [7].

Значення $q^2(n)$, $s'^2(n)$, $\gamma(n)$ обчислювались за допомогою PASCAL програм, що розроблені авторами.

1) Розглянемо перший період з 2006р. по 2009 рр., коли $n=48$, тоді

$$\bar{x} = 71.6667, s'^2 = 319.3759, q^2 = 185.3298, \gamma(48) = 0.5803 > \gamma_{0.001}^{kp}(48) = 0.5781.$$

Таким чином можна зробити висновок, що гіпотеза про незалежність виборки з 48 елементів таблиці 2 приймається (не суперечить результатам експерименту).

2) Розглянемо другий період з 2005 по 2009 рр., коли $n=60$, тоді

$$\bar{x} = 73.6, s'^2 = 316.5492, q^2 = 186.0508, \gamma(60) = 0.5817 < \gamma_{0.001}^{kp}(60) = 0.6174.$$

Таким чином гіпотеза про незалежність відкидається, оскільки нерівність $\gamma(n) \leq \gamma_{\alpha}^{kp}(n)$ виконується.

3) Розглянемо останній період з 2004 по 2009 рр., коли $n=72$. За формулою (2) обчислюємо $\gamma_{\alpha=0.001}^{kp}(72) = 0.6484$. Далі знаходимо

$$\bar{x} = 76.75, s'^2 = 366.3310, q^2 = 206.9377, \gamma(72) = 0.5649 < \gamma_{0.001}^{kp}(72) = 0.6484.$$

Таким чином гіпотеза про незалежність відхиляється, оскільки нерівність $\gamma(n) \leq \gamma_{\alpha}^{kp}(n)$ так само як у п.2 виконується.

Проведені розрахунки по критерію Аббе дозволяють зробити висновок про те, що у періоді 2006-2009рр. гіпотеза про незалежність виборки приймається; у періоді 2005-2009рр. гіпотеза відкидається; у періоді 2004-2009рр. гіпотеза відхиляється.

Надалі переходимо до перевірки стаціонарності потоку реалізації порушень безпеки. У стаціонарного потоку випадкові величини x_1, \dots, x_m ($m=12$) мають один і той же закон розподілу. Для перевірки цього твердження використовується виборка з таблиці 1. Гіпотеза про стаціонарність потоку (однорідність виборки) перевіряється за допомогою критерію Крускала-Уолліса [6], заснованого на статистиці

$$KW = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \left(\bar{x}_i - \frac{1}{2}(N+1) \right)^2}{\frac{1}{12}(N^2 - 1)}. \quad (3)$$

У даному випадку k - кількість сукупностей є кількість років спостережень $k = 5, 6, 7$; n_t - число спостережень у виборці з сукупності t ; $n_t=12$; \bar{x}'_t - середнє значення рангів для сукупності t . доведено, що статистика (3) розподілена приблизно як $\frac{N}{N-1}\chi^2$ з $k-1$ степенями свободи.

За допомогою розроблених авторами PASCAL програм відбувається побудова варіаційного ряду, сортування виборки, призначення рангів та обчислення статистики Крускала-Уолліса для $k = 5, 6, 7$ років:

а) розглянемо перший період $k = 5, 2005-2009pp.$ $N = 5*12=60$. Результати роботи програми KrW_59.PAS наведені у таблиці 5.

Таблиця 5 - Результати роботи програми KrW_59.PAS

Реалізація	Кількість ЗТП, хі	Ранг, гі	Реалізація	Кількість ЗТП, хі	Ранг, гі	Реалізація	Кількість ЗТП, хі	Ранг, гі
20712	120	1.0	20910	77	21.5	20909	65	40.0
20711	115	2.0	20810	77	21.5	20506	63	42.0
20508	109	3.0	20802	77	21.5	20703	62	43.0
20512	106	4.0	20902	76	24.0	20605	61	45.5
20612	104	5.0	20502	75	25.0	20906	61	45.5
20912	101	6.0	20807	74	28.0	20706	61	45.5
20812	99	7.5	20907	74	28.0	20806	61	45.5
20811	99	7.5	20610	74	28.0	20504	60	48.0
20510	94	9.0	20707	74	28.0	20901	59	49.0
20608	91	10.0	20701	74	28.0	20602	58	50.0
20511	89	11.0	20903	73	31.0	20809	55	51.5
20601	86	12.0	20609	72	32.0	20709	55	51.5
20611	85	13.0	20708	71	33.0	20805	53	53.5
20505	84	14.5	20808	70	34.0	20705	53	53.5
20606	84	14.5	20710	69	35.5	20604	51	55.0
20911	83	16.5	20507	69	35.5	20603	49	56.0
20702	83	16.5	20503	68	37.0	20905	48	57.0
20509	80	18.0	20908	66	38.0	20804	45	58.5
20501	79	19.0	20801	65	40.0	20704	45	58.5
20803	77	21.5	20607	65	40.0	20904	43	60.0
KW=3.9109 sr=1830 rt2=97.7								
rt[1]=266.0 rt[2]=361.0 rt[3]=396.0 rt[4]=390.5 rt[5]=416.5								

Обчислене за виборкою значення критерію Крускала-Уолліса (3) $KW=3.9109$. Число ступенів свободи $k-1=4$. Оскільки $KW=3.9109$ значно менше взятих з таблиці значень критерію χ^2 , а саме значень:

$$\frac{60}{59}\chi_{4,0.1}^2 = \frac{60}{59}7.78 = 7.91, \quad \frac{60}{59}\chi_{4,0.05}^2 = \frac{60}{59}9.49 = 9.65, \quad \frac{60}{59}\chi_{4,0.01}^2 = \frac{60}{59}13.3 = 13.53$$

то припущення про стаціонарність виборки є правильним;

б) розглянемо наступний період $k=6$, 2004-2009рр., $N=6*12=72$. За допомогою програми KrW_49.PAS одержимо: $KW=11.7718$, сума рангів $sr=2628$, $rt^2=423.7$, суми рангів за 2004-2009рр. $rt[i]=249.5, 361.5, 471.0, 508.5, 502.5, 535.0, i=1, \dots, 6$. Число ступенів свободи $k-1=5$. Оскільки $KW=11.7718$, а $\chi_{5,0.1}^2=9.24$ $\chi_{5,0.05}^2=11.1$ $\chi_{5,0.01}^2=15.1$, то гіпотеза приймається для рівня значущості $\alpha=0.01$ та відкидається для $\alpha=0.1$ та $\alpha=0.05$;

в) нарешилі третій період $k=7$, 2003-2009, $N=7*12=84$. За допомогою програми KrW_39.PAS одержали $KW=24.6543$, сума рангів $sr=3570$, $rt^2=215.5$, суми рангів у 2003-2009рр.: $rt[i]=351.0, 479.5, 598.0, 628.0, 630.5, 667.5, i=1, \dots, 7$. Оскільки $KW=24.0543$ значно більше $\chi_{6,0.1}^2=10.6$ $\chi_{6,0.05}^2=12.6$ $\chi_{6,0.01}^2=16.8$, то гіпотеза про стаціонарність відкидається.

Таким чином за результатами обчислень за критерієм Крускала-Уолліса виборки 2005-2009рр та 2004-2009рр є стаціонарними, а у виборки 2003-2009рр. гіпотеза про стаціонарність відкидається.

Виникає питання про те, **який вид має закон розподілу** випадкової величини x_1, \dots, x_m ($m=12$) коли є $k=5$ сукупностей реалізацій цієї випадкової величини. Інтервал зміни цієї випадкової величини (43;120) розбиваємо на 8 проміжків рівної довжини $\Delta=10$ та обчислюємо число елементів виборки, які попали у i -й проміжок $i=1, \dots, 8$ (за допомогою таблиці 5) та вміщуємо їх у таблицю 6.

Таблиця 6 - Обчислення кількості елементів у i -інтервалі

Інтервал	41;50	51;60	61;70	71;80	81;90	91;100	101;110	111;120
Кількість елементів	$n_1=5$	$n_2=8$	$n_3=14$	$n_4=16$	$n_5=7$	$n_6=4$	$n_7=4$	$n_8=2$

За даними таблиці 6 будуємо гістограму.

Гістограма (рисунок 4) нагадує графік нормального закону. Природно виникає припущення про те, що випадкова величина, яка досліджується, розподілена за нормальним законом $N(\bar{x}, s^2)$.

За допомогою розробленої авторами PASCAL програми, початковими даними якої є границі проміжків розбиття з таблиці 6 та числа n_i - кількість елементів у i -му проміжку ($i=1, \dots, 8$) за критерієм χ^2 перевірено гіпотезу про нормальний розподіл виборки 2005-2009рр. Число ступенів свободи $k=8-1-2=5$. Одержано $\chi^2_{\text{виб}}=4.47$, $\bar{x} = 73.33$, $s=17.48$.

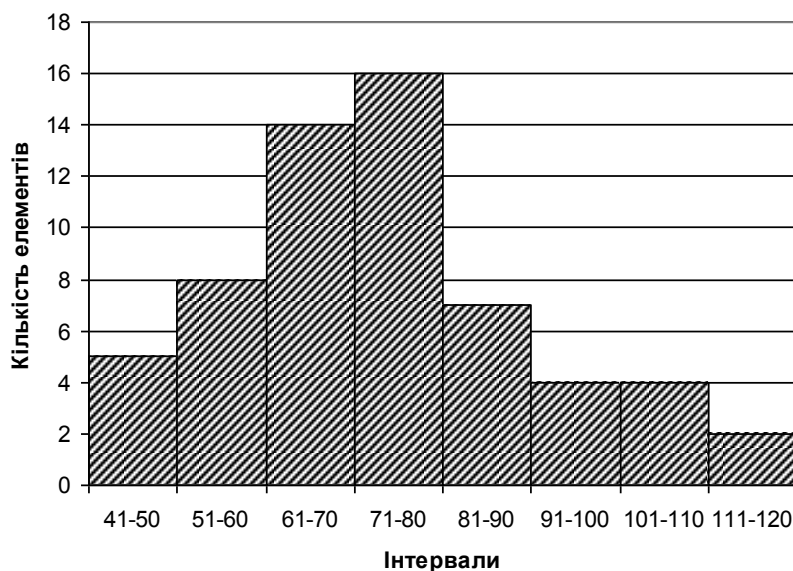


Рисунок 4 - Гістограма розподілу випадкової величини ЗТП

Таким чином, оскільки $\chi^2_{\text{виб}}$ значно менше $\chi^2_{5,0.1}=9.24$ $\chi^2_{5,0.05}=11.1$ $\chi^2_{5,0.01}=15.1$, то вважаємо, що гіпотеза про нормальний закон виконується.

У зв'язку з вищевикладеним можна розглянути питання прогнозування кількості ЗТП. Це можна зробити двома шляхами, а саме:

- параболічна апроксимація кількості транспортних подій;
- кусково-лінійна апроксимація кривої кількості ЗТП.

Спочатку розглянемо параболічну апроксимацію кількості ЗТП. Початковими даними є кількість ЗТП по місяцях кожного року з 2005 по 2009 роки. Криву кількості транспортних подій (рисунок 5) одержано методом найменших квадратів за допомогою пакету MathCad.

Застосована кусково-поліноміальна апроксимація кривої за допомогою поліномів другого степеня, тобто парабол на 5 відрізках року

$$K_{\text{ЗТП}} = \begin{cases} -4.7x^2 + 15.5x + 51.8, & x = 1, 2, 3 \\ 14x^2 - 115x + 285, & x = 3, 4, 5 \\ 4x^2 - 38x + 151, & x = 5, 6, 7 \\ -12x^2 + 189x - 664, & x = 7, 8, 9 \\ -2x^2 + 55.7x - 274, & x = 9, 11, 12. \end{cases}$$

Одержана крива може бути використана для прогнозування кількості транспортних подій у будь-якому місяці.

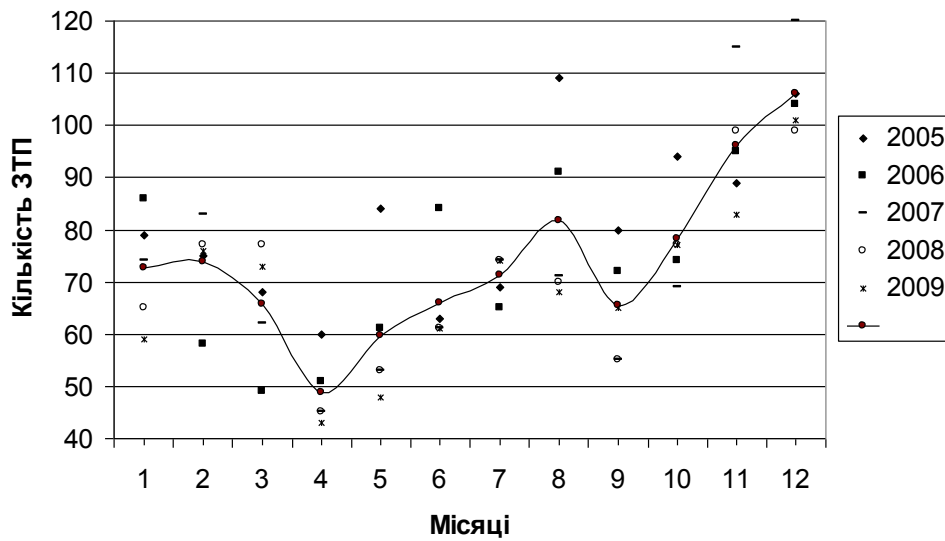


Рисунок 5 - Характеристика зміни кількості транспортних подій у 2005 - 2009 р.

Розглянемо прогнозування кількості ЗТП $K_{ЗТП}$ та оцінимо похибку прогнозу. Оскільки поняття довірчої області визначається лише для прямих регресії, то застосуємо кусково-лінійну апроксимацію кривої кількості ЗТП та побудуємо для кожної з прямих довірчої області (рисунок 6). Найбільший розмір довірчої області буде характеризувати похибку.

Прямі регресії та границі довірчих областей обчислені за допомогою розробленої авторами PASCAL програми.

$$K_{ЗТПЛ} = \begin{cases} 85.1 - 7.94x, & x = 1, 2, 3, 4 & r = -0.6732 \\ 20.7 + 7.42x, & x = 4, 5, 6, 7, 8 & r = 0.6873 \\ 198.6 - 14.8x, & x = 8, 9 & r = -0.4622 \\ -59.76 + 13.92x, & x = 9, 10, 11, 12 & r = 0.8571 \end{cases}$$

Коефіцієнти кореляції r характеризують точність лінійної апроксимації по чотирьох ділянках. Найнижчий коефіцієнт кореляції на третій ділянці $r = -0.4622$, де спостерігається найбільший розкид значень кількості ЗТП, а найбільший $r = 0.8571$ на четвертій ділянці, де розкид значень найменший (рисунок 6).

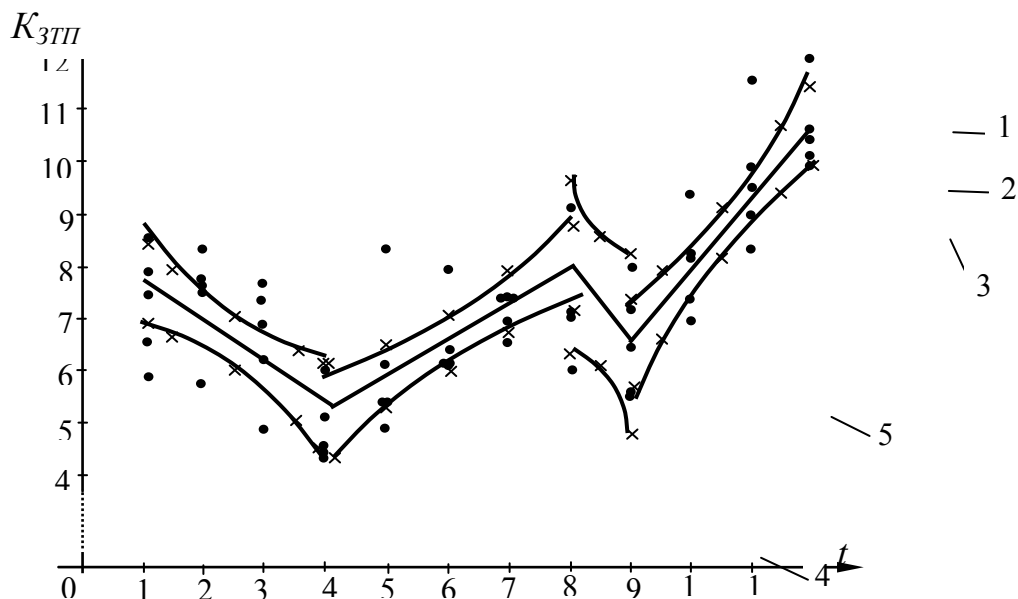


Рисунок 6 - Кусково-лінійна апроксимація кривої кількості ЗТП та довірчі області для чотирьох ділянок:

- 1 - верхня довірча межа;
- 2 - кусково-лінійна апроксимація;
- 3 - нижня довірча межа;
- 4 - значення меж довірчої області, обчислені за (4);
- 5 - реалізації кількості ЗТП у 2005-2009 рр.

Обчислимо границі області надійності $1-\epsilon$ (довірчої області) для прямої регресії $y = \beta_0 + \beta_1 x$, що є такими [9]:

$$y + \beta_1(x - \bar{x}) \pm t_{\epsilon}(n-2)S_e \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{(n-1)S_x^2}}, \quad (4)$$

де β_0, β_1 - коефіцієнти прямої регресії,

\bar{x} - середнє значення величини x ,

S_x^2 - дисперсія величини x ,

S_e^2 - залишкова дисперсія,

$t_{\epsilon}(n-2)$ - значення критерію Стюдента для відповідного числа точок n .

Границі довірчої області являють собою гіперболи, розташовані симетрично відносно прямої регресії (рисунок 6). Обчислення зроблені для рівня значущості $\epsilon = 0.05$ та надійності $1 - \epsilon = 0.95$. Довірчі області для чотирьох ділянок зображені на рисунку 6. З ймовірністю $p = 0.95$ прямі відповідної ділянки знаходяться між гіперболами.

Відносна похибка прогнозу не перевищує відношення довжини довірчого інтервалу для крайньої точки ділянки до ординати прямої у цій

точці. Так, у січні відносна похибка $\delta = (77-69)/77 = 0,103$, тобто 10.3%; у квітні доцільно обчислити похибку як середню похибок ліворуч та праворуч $\delta = \frac{1}{2} \left(\frac{51.5 - 45}{51.5} + \frac{51.5 - 42}{51.5} \right) = \frac{0.126 + 0.184}{2} = 0.155$, тобто 15.5%.

Найбільша відносна похибка спостерігається у вересні $\delta = \frac{1}{2} \left(\frac{65 - 48}{65} + \frac{65 - 58}{65} \right) = 0.184$, тобто 18.4%, а найменша у грудні $\delta = (107-99)/107 = 0.074$, тобто 7.4%. Таким чином відносна похибка прогнозування не перевищує 18.4%.

Висновок. Таким чином за результатом обчислень критеріїв: серій, що заснований на медіані виборки, квадратів послідовних різниць (критерій Аббе) та критерію Крускала-Уолліса можна зробити висновок, що виборка ЗТП у 2006-2009рр. є стаціонарною та незалежною, виборка за 2005-2009 рр. є стаціонарною та «частково незалежною», а виборка за 2004-2009рр. - стаціонарною, але залежною. Можна наближено вважати виборку 2005-2009рр. стаціонарною та незалежною. Гіпотеза про нормальний закон розподілення виборки 2005-2009рр виконується.

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що потік кількості ЗТП володіє стаціонарністю та відсутністю післядії протягом 2005-2009рр. та розподілений за нормальним законом. Це дає підстави прогнозувати кількість ЗТП на майбутнє. Подальшим напрямком роботи є дослідження поведінки порушень по окремим галузям залізничного транспорту і, зокрема, пристроїв та систем залізничної автоматики.

Список літератури

1. Сокол Э.Н. Судебная железнодорожно-транспортная экспертиза: настоящее и будущее // Залізнич. Транспорт України. - 1997. - №2-3. - С. 67-72.
2. Сокол Э.Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики). Монография. 2 издание, дополненное. - К. : Транспорт України, 2004. - 368 с.
3. Мойсеенко В.І., Головка О.В. Аналіз та програмування стану безпеки руху поїздів // Зб. наук. праць. - Донецьк : ДонІЗТ, 2005. - Вип. №4. - С.5-12.
4. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2009 році / [Укрзалізниця. Головне управління безпеки руху та екології]. – К. : Транспорт України, 2010. - 98 с.
5. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
6. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. / Н. Джонсон, Ф. Лион. - М. : Мир, 1980. - 610 с.
7. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики. / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. - М. : Наука, 1968. - 473 с.

8. Сборник задач по математике для вузов. Специальные курсы. / [Вуколов Э.А., Ефимов А.В., Земсков В.Н. и др.] ; под ред. А.В. Ефимова - М. : Наука, 1984. - 585 с.

9. Эконометрика: учебн. [для студ. высш. уч. завед.] / [Елисеева И.И., Курышева С.В., Костеева Т.В. и др.] ; под ред. И.И. Елисеевой. - М. : Финансы и статистика, 2003. - 344 с.

УДК 656.078

*Пасічник А.М., д. фіз. - мат. н., професор (АМСУ)
Андрющенко В.О., к.т.н., доцент (ДНУЗТ)
Кравчук С.С., ст. викл. (АМСУ)*

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВАНТАЖНОГО МИТНОГО КОМПЛЕКСУ

При виконанні технологічних операцій на вантажних станціях виникає взаємозв'язок з іншими системами (митницею та іншими контролюючими органами), який суттєво впливає на час обслуговування. В роботі запропоновано імітаційну модель вантажного митного комплексу, в якій враховано виконання операцій з зовнішньоторговельним вантажопотоком, який прибуває (відправляється) залізничним та автомобільним магістральним транспортом.

Вступ. Одним з важливих завдань по модернізації транспортної системи України є комплексний розвиток транспортної, митної, складської та термінальної інфраструктури, а також створення ефективної системи управління взаємодією цих компонентів для забезпечення їх скоординованої роботи і отримання синергетичного ефекту.

Для скорочення непродуктивних простоїв транспортних засобів, підвищення якості транспортного обслуговування та ефективності роботи контролюючих органів при обслуговуванні експортно-імпортних і транзитних вантажопотоків інфраструктура залізниць доповнюється створенням на вантажних станціях мережі вантажних митних комплексів (ВМК) [1-8].

Вантажна станція, що обслуговує ВМК – це система масового обслуговування, з пріоритетами, що складається з окремих підсистем з очікуванням, де утворюється складна мережа причинно-наслідкових технологічних взаємозв'язків з одним або декількома паралельними каналами.

Складність системи вантажної станції полягає в тому, що при виконанні операцій, пов'язаних з прийомом, навантаженням, зберіганням, вивантаженням та видачею вантажів виникає значна кількість технологічних операцій та їх очікування: технічні, комерційні, інформаційне супроводження, а при виконанні міжнародних перевезень виникає взаємозв'язок з іншими системами - митницею та іншими органами державного контролю, час перебування в яких суттєво впливає на час обслуговування відправки.

Відмінними особливостями станцій, що обслуговують ВМК, є:

- виконання операцій з зовнішньоторговельним вантажопотоком, який прибуває (відправляється) залізничним та автомобільним магістральним транспортом, що потребує виділення відокремлених площ та технічних засобів для їх оперативного обслуговування;
- суворо регламентоване розташування вагонів з експортно-імпортними вантажами в зонах митного контролю, і, відповідно, вагонів із вантажами що переміщуються в межах України, поза дією таких зон. Як правило, така спеціалізація відбувається або за колійним розвитком біля вантажних фронтів, або за частиною складської площі біля вантажного фронту;
- забезпечення встановлених Держмитслужбою умов до структури зон митного контролю на станції, наприклад наявність пункту поглибленого огляду, складу тимчасового зберігання, митного ліцензійного складу та ін.;
- крім перевантаження з одного виду транспорту на інший на таких станціях передбачено надання додаткових логістичних послуг.

Постановка задачі. Для дослідження функціонування зазначеної системи пропонується розробити імітаційну модель, яка б дозволила проаналізувати стан системи у визначений проміжок часу.

В імітаційній моделі процес обслуговування заявки являє собою послідовність виконання певної сукупності операцій у відповідності до обраної схеми. Кожна операція характеризується тривалістю виконання, яка визначається випадково в залежності від вагової характеристики заявки та встановленим законом розподілу.

На вхід системи поступає неоднорідний потік заявок $\{z_i\}$. Атрибутами заявки z_i є:

1. Вид відправлення v (дрібне, повагонне, групове чи контейнерне відправлення залізницею, або партія вантажу яка перевозиться автомобільним транспортом) - це вагова характеристика заявки, яка впливає на тривалість виконання вантажних операцій, проведення митного огляду, і, при необхідності, площу, яку вона займає на складі.

2. Вантажний фронт f на який надходить заявка. Вантажний фронт для кожної заявки визначається випадково за рівномірним законом розподілу та може приймати значення з допустимої множини:

$$f(z_i) \in F = \{f_k\}, \quad (1)$$

де $k = \overline{1...K}$, K - кількість вантажних фронтів станції.

3. Пріоритет обслуговування p . Заявку можна обслуговувати в порядку її надходження (без пріоритету) та з пріоритетом - абсолютним або відносним. При абсолютному пріоритеті і надходженні заявки, яка має більш високий клас пріоритету, зупиняється обслуговування попередньої заявки та починається обслуговування нової. Заявка з більш високим класом відносного пріоритету починає обслуговуватися одразу після закінчення обслуговування заявки, яка знаходиться в системі. До заявок, які користуються абсолютним пріоритетом належать ті відправлення, з якими виконуються вантажні операції за «прямим варіантом». Відносним пріоритетом користуються заявки, які обслуговуються вагонами країн СНД.

4. Параметри зберігання заявки на складі s_i . Характеризують тривалість зберігання та площу складу, яку займає заявка. Склад визначається транспортно – технологічною схемою обробки заявки та вантажним фронтом. Тривалість зберігання визначається випадково за обраним законом розподілу.

5. Транспортно-технологічна схема обробки заявки g визначається множиною параметрів:

- відправлення чи прибуття заявки;
- вид магістрального транспорту (автомобільний або залізничний);
- вид перевезення (внутрішньодержавне або міжнародне). Заявки, що надходять магістральним автомобільним транспортом можуть виконувати лише міжнародне перевезення;
- спосіб митного огляду:
- заявка не потребує митного огляду (внутрішньодержавне перевезення);
- повний митний огляд заявки (оглядається вся партія вантажу);
- вибірковий митний огляд (оглядається частина партії вантажу);
- без митного огляду (міжнародне перевезення, але вантаж оглядатися не буде);

Технологічна схема переробки вантажу (за «прямим варіантом», або через склад).

Транспортно-технологічна схема обробки для кожної заявки також визначається випадковим чином за рівномірним законом і може приймати значення із припустимої множини:

$$g(z_i) \in G = \{g_j\} \quad (2)$$

де: $j = \overline{1...J}$, J - кількість схем обробки, які застосовуються на станції.

Кожна схема являє собою паралельно-послідовний потоковий граф операцій (Op, R_{Op}) , де Op - множина операцій (вузлів графа), а R_{Op} - бінарне відношення на множині операцій (дуги графа). Множина вузлів і дуг графа визначають послідовність виконання операцій. У кожного вузла може бути одна або кілька вхідних дуг і одна або кілька вихідних дуг:

$$op_a = (\{op_l\}, l=1, L_a : (op_l, op_a) \in R_{Op}; \{op_m\}, m=1, M_a : (op_a, op_m) \in R_{Op}) \quad (3)$$

Кілька вихідних дуг відповідають паралельній обробці заявки різними операціями, наприклад вивантаження вантажу та проведення митного огляду цієї партії. Наявність вхідних дуг означає, що подальше виконання операції неможливо без завершення всіх попередніх операцій.

Кожна операція op_a здійснюється із застосуванням певних виконавців та ресурсів $W_a \subset W$ (одним або декількома одночасно):

$$w_{a_q} \in W_a, \quad q = \overline{1, Q_a}, \quad (4)$$

де Q_a - кількість виконавців a -ї операції.

Наприклад, для операції митного огляду вантажу обов'язковим є наявність таких виконавців та ресурсів, як інспектор митниці, комплексна механізована бригада, прийомоздавач вантажного фронту, та вільний вантажний фронт.

Передбачається паралельна робота виконавців одного виду, що відповідає багатоканальній системі масового обслуговування. Так, на ВМК можуть одночасно виконуватись вантажні операції з різними транспортними засобами окремими комплексними механізованими бригадами, або митне оформлення різних відправлень, можуть здійснювати різні інспектори.

Для кожного виду виконавців ведеться черга заявок. Заявки надходять у чергу в хронологічному порядку та займають місце в черзі відповідно до пріоритету. Для виконання чергової заявки виділяється один виконавець

або комплект виконавців (один канал обслуговування в термінології СМО). В момент, коли для обслуговування заявки виділені всі необхідні для здійснення чергової операції виконавці (ресурси), починається виконання операції.

Довжина черги до виконавців кожного виду може бути:

- без обмежень (наприклад, документи, які надаються для оформлення);

- з обмеженням за максимально можливою кількістю (кількість вагонів чи автомобілів на вантажному фронті, місткість складу та ін.). При заповненні черги забороняється постановка в чергу та блокується завершення попередньої операції;

- нульова довжина черги. Блокується попередня операція (наприклад, зайнятий вантажний фронт).

Процес моделювання визначається наступним алгоритмом:

1. Почати відлік часу $t = 0, t_1 = 0$.
2. Згенерувати параметри заявки. Кожний параметр визначається випадковим чином відповідно до обраного для нього закону розподілу.
3. Згенерувати випадковий інтервал між заявками τ та визначити момент надходження наступної заявки $t_{i+1} = t_i + \tau$.
4. За схемою обробки заявки визначити виконавців першої операції та поставити заявку в чергу до виконавців цієї операції.
5. Перевірити завершення кожної операції всіх транспортно-технологічних схем обробки.
6. Якщо операція завершена, передати заявку в подальшу обробку (поставити в чергу до виконавців наступних операцій).
7. Перевірити можливість запуску кожної з операцій (визначити чи вільні виконавці при наявності заявки у черзі).
8. Перейти на наступний крок часу $t = t + 1$.
9. Якщо час моделювання завершено - вихід; інакше перейти на п.2.

Результати дослідження. Результатом імітаційного моделювання роботи вантажного митного комплексу є статистична інформація про:

- час роботи та простою виконавців (ресурсів);
- наявність та довжину черги до кожного виду виконавців;
- час непродуктивного простою заявки в очікуванні виконання операцій;
- час на обслуговування заявки кожною з передбачених транспортно-технологічною схемою операцією;
- завантаження системи зберігання та переробки вантажів.

Отримані дані дозволять дослідити систему та проаналізувати основні якісні характеристики її діяльності, знайти шляхи підвищення ефективності роботи окремих виконавців, раціоналізувати логістичні процеси.

Таким чином, у роботі представлена модель багатоканальної системи масового обслуговування, що має наступні особливості:

- потік заявок не є однорідним, різним заявкам може відповідати різна послідовність операцій. У той же час ті самі виконавці обслуговують заявки за різними транспортно-технологічними схемами, що вимагає їх спільного розгляду і моделювання;
- операції із заявкою не є лінійною послідовністю. Деякі дії із заявкою допускається виконувати паралельно;
- у деяких операцій системи немає єдиного виконавця, для виконання таких операцій необхідна синхронізація декількох видів виконавців та ресурсів;
- в системі є обмеження на довжину черги, однак це приводить не до відмови в обслуговуванні, а до перерозподілу навантаження на чергу попередніх вузлів схеми обслуговування.

Література

1. Формування мережі розташування вантажних митних комплексів [Текст]/ А.М. Пасічник, С.С. Кравчук // Митна політика України в умовах інтеграції до світової спільноти (Мат. міжнародної наук.-практ. конф.). - 2006.- С. 213
2. Методи управління матеріальними потоками в логістичних системах транспортно-складського комплексу. [Текст]/ А.М. Пасічник, С.С.Кравчук, // Матем. Та прогр. Забезп. Інтел. Систем.(Тези допов. IV міжн. Конф.)- 2006.
3. Аналіз сучасного стану та проблеми переробки експортно-імпортного вантажопотоку.[Текст]/А.М. Пасічник, Г.І. Музикіна, С.С. Кравчук/ Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту.(67 Між нар. наук.-практ. конф.).- 2007.-С. 146-147.
4. Вантажний митний комплекс як структурний елемент транспортно-логістичного центру.[Текст]/ А.М. Пасічник, С.С. Кравчук, І.Ю. Леснікова// Вісник Академії митної служби України-2007.- №4 (36).-С. 75-79.
5. Удосконалення технологічних операцій та митних процедур в митниці призначення.[Текст]/ А.М. Пасічник, С.С. Кравчук // Вісник Академії митної служби України.-2009.-№1(41).-
6. Логістичний аналіз та моделювання розподілу вагонопотоків вантажного митного комплексу.[Текст]/А.М. Пасічник, Д.М. Козаченко, С.С. Кравчук // Вісник Академії митної служби України.-2009.-№2(42).-С. 25-33.
7. Дослідження технологічних операцій та митних процедур в митниці призначення.[Текст]/ С.С. Кравчук// Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля.-2010.-№4 (146).- С. 82-87.
8. Аналіз технології переробки вантажів на вантажній станції, що обслуговує вантажний митний комплекс.[Текст]/ А.М. Пасічник, С.С. Кравчук// Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті.(Тези міжнар. наук.-практ. конф.). -2010.-С. 17.

УДК 629.017

Подригало М.А., д.т.н., проф. (ХНАДУ)

Клец Д.М., к.т.н., доц. (ХНАДУ)

Файст В.Л., аспирант (ХНАДУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСКОРЕНИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЕЙ В ТРАНСПОРТНОМ ПОТОКЕ

Введение. Проблема возникновения транспортных пробок на автомобильных дорогах обусловлена тем, что в едином транспортном потоке участвуют автомобили различных лет выпуска, порой очень давних и имеющих низкие значения удельной мощности двигателя.

Низкая удельная мощность двигателя, а следовательно, и приемистость автомобилей прошлых лет выпуска приводят к увеличению времени ликвидации транспортных пробок. Рано или поздно возникнет необходимость ограничения доступа автомобилей с низкими показателями динамических свойств на магистрали с интенсивным движением. Кроме того, возникнет необходимость оценки и нормирования динамических свойств новых автомобилей при их сертификации.

Для решения указанных проблем необходимо исследовать возможность реализации предельных динамических возможностей автомобилей, что позволит в дальнейшем выработать нормативы оценки и произвести квалиметрию указанных свойств с учетом тенденции роста удельной мощности двигателей.

Анализ последних достижений и публикаций. Динамическая характеристика, предложенная Е. А. Чудаковым еще в 1928 г., является общепринятой. Динамическая характеристика представляет собой зависимость динамического фактора D от скорости автомобиля и строится на различных передачах [1, 2, 3].

Режимы движения автомобилей в транспортном потоке определяются их тяговыми и мощностными возможностями. Указанные режимы характеризуются линейными скоростями, ускорениями и шумом ускорений автомобилей. С течением времени на дорогах появляются более совершенные автомобили, обладающие более высокой мощностью двигателей. Это приводит к ужесточению режимов движения. Поэтому, периодически, необходимо производить измерение параметров движения

автомобилей в транспортном потоке и оценку режимов движения по величинам ускорений. Для этого желательно использовать измерительные комплексы, не встроенные в автомобиль, но позволяющие осуществлять регистрацию и обработку параметров его движения. Также измерительные комплексы в настоящее время существуют [4].

Таким образом, рост мощности двигателей сопровождается ужесточением режимов движения автомобилей в транспортном потоке; указанные режимы необходимо периодически уточнять и использовать на этапе проектирования машины для определения запаса мощностей двигателей.

Цель и постановка задач исследования. Целью исследования является оценка статистического распределения значений ускорения легковых автомобилей.

Для достижения указанной цели необходимо определить характеристики распределения ускорений легковых автомобилей как случайных величин на основании статистических наблюдений.

Определение характеристик распределения ускорений легковых автомобилей. На основании статистических наблюдений получены гистограммы распределения ускорений автомобилей. Для регистрации данных при дорожных испытаниях автомобилей использовался мобильный измерительно-регистрационный комплекс, состоящий из двух трехкоординатных датчиков ускорений Freescale Semiconductor, подключенных к ПЭВМ (notebook).

По полученным гистограммам осуществлен подбор распределения случайных величин, которые с достаточной степенью точности описывают полученные результаты. Одним из наиболее используемых и простых критериев согласия наблюдаемых данных с гипотезой является критерий Хи-квадрат Пирсона. Чем меньше значение статистики Хи-квадрат, тем более вероятно, что гипотеза верна, а чем больше значение статистики Хи-квадрат – тем меньше вероятность того, что гипотеза соответствует данным.

С использованием пакета StatSoft Statistica, проведен подбор распределения. Наиболее подходящим является нормальное распределение, для которого в нашем случае критерий Пирсона составляет от 12,7 до 47,6 (рисунок 1-3).

Параметры нормального распределения величин ускорений испытуемых автомобилей сведены в таблицу 1.

Анализ параметров нормального распределения (таблица 1) позволяет сделать вывод о том, что можно получить усредненный закон распределения продольных ускорений легковых автомобилей в городском режиме движения, поскольку значение параметров распределения близки для разных автомобилей.

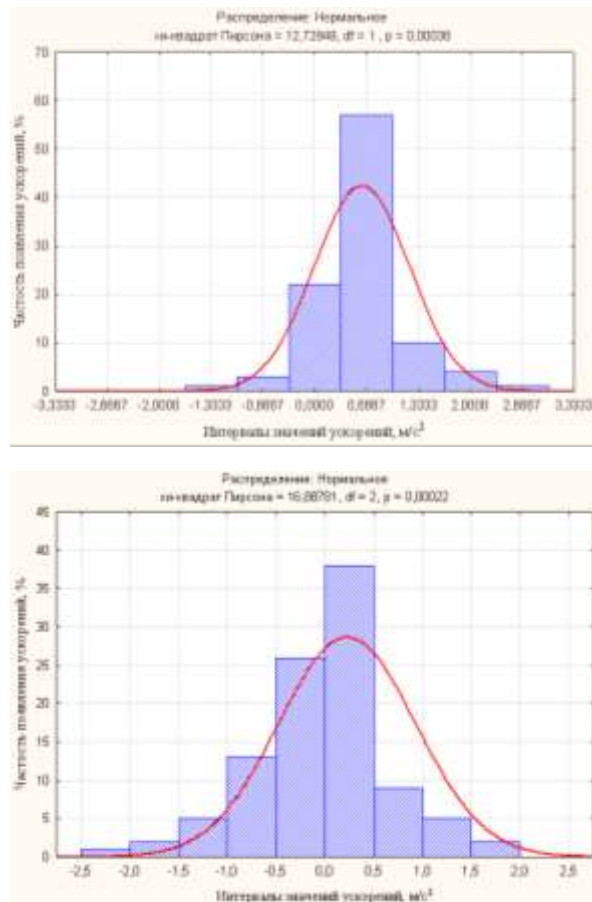


Рисунок 1. - График нормального распределения для значений ускорений автомобилей «Москвич-412» и ВАЗ-2105 при движении в городском режиме

Таблица 1. – Параметры нормального распределения величины ускорения

Марка автомобиля	Критерий Пирсона	Среднее квадратичное отклонение	Математическое ожидание	Закон распределения ускорений автомобиля
ВАЗ-2105	16,9	0,7	0,23	$f(x) = 50,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot 0,7} \cdot e^{-\frac{(x-0,23)^2}{2 \cdot 0,7^2}}$
ВАЗ-2108	26,5	0,61	0,41	$f(x) = 49,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot 0,61} \cdot e^{-\frac{(x-0,41)^2}{2 \cdot 0,61^2}}$
ЗАЗ-1103	23,3	0,57	0,58	$f(x) = 60 \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot 0,57} \cdot e^{-\frac{(x-0,58)^2}{2 \cdot 0,57^2}}$
ВАЗ-2121	47,6	0,6	0,42	$f(x) = 49,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot 0,6} \cdot e^{-\frac{(x-0,42)^2}{2 \cdot 0,6^2}}$
Москвич-412	12,7	0,61	0,6	$f(x) = 65,3 \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot 0,61} \cdot e^{-\frac{(x-0,6)^2}{2 \cdot 0,61^2}}$

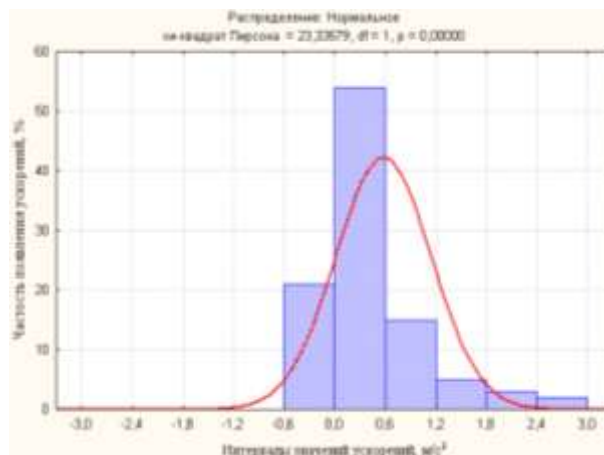
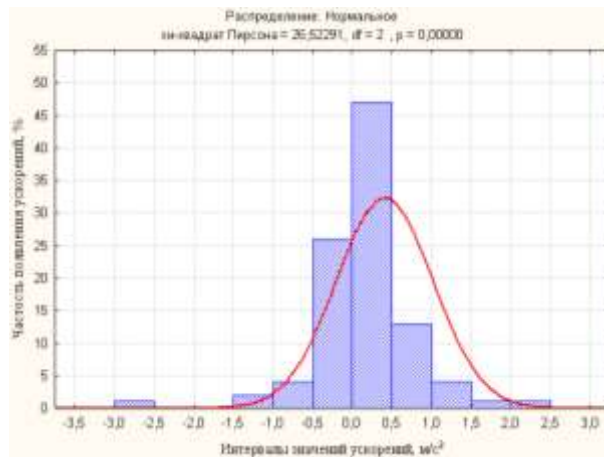


Рисунок 2. - График нормального распределения для значений ускорений автомобилей ВАЗ-2108 и ЗАЗ-1103 при движении в городском режиме

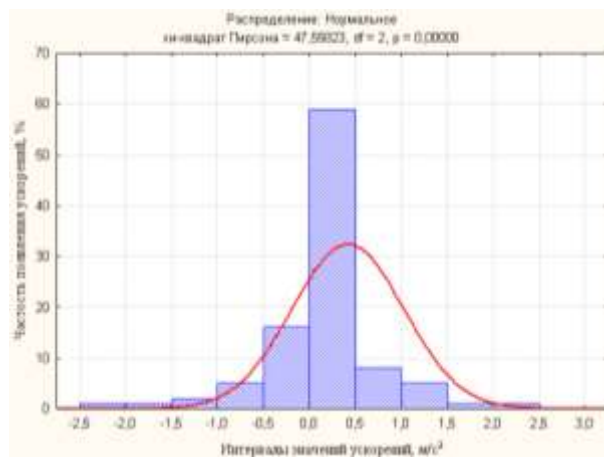


Рисунок 3. - График нормального распределения для значений ускорений автомобиля ВАЗ-2121 при движении в городском режиме

Указанный закон имеет следующий вид

$$f(x) = 55 \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot 0,618} \cdot e^{-\frac{(x-0,448)^2}{2 \cdot 0,618^2}} \quad (1)$$

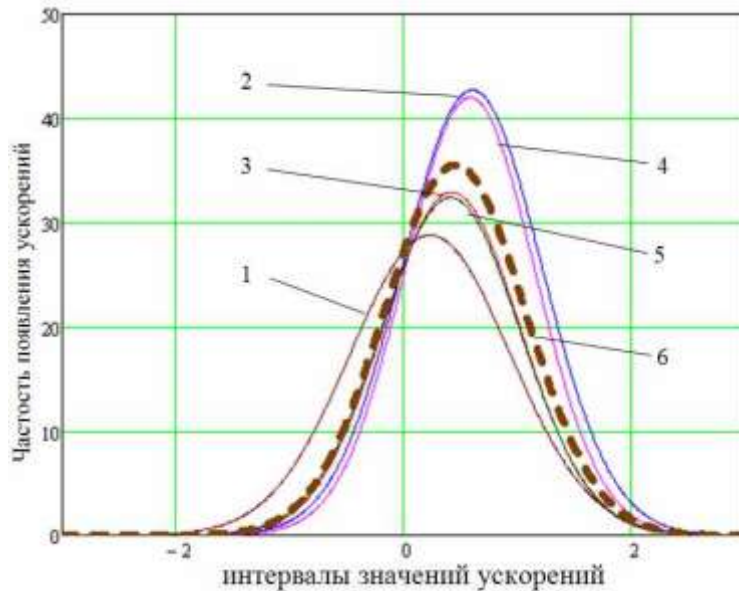


Рисунок 4. - Законы нормального распределения ускорений автомобилей при движении в городском режиме:

1 – ВАЗ – 2105; 2 – «Москвич – 412»; 3 – ВАЗ-2121; 4 – ЗАЗ-1103; 5 – ВАЗ-2108; 6 – универсальный (усредненный) закон распределения

Использование усредненного закона позволяет оценить величины продольных ускорений при движении в городском цикле с максимальной погрешностью не более 20% (рисунок 4).

Выполним подбор распределения, которое позволяет определить дополнительную удельную мощность двигателя, идущую на разгон автомобиля.

В качестве критерия используем Хи-квадрат Пирсона. На рис. 5-7 построены равномерное, экспоненциальное, логнормальное, нормальное, Хи-квадрат и гамма распределения для величин $x = V_a \cdot A_x$.

Наиболее подходящим является нормальное распределение (Хи-квадрат Пирсона = 7,62), которое описывается следующей зависимостью (усредненный закон для всех автомобилей)

$$f(x) = 490 \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot 8,98} \cdot e^{-\frac{(x-6,84)^2}{2 \cdot 8,98^2}} \quad (2)$$

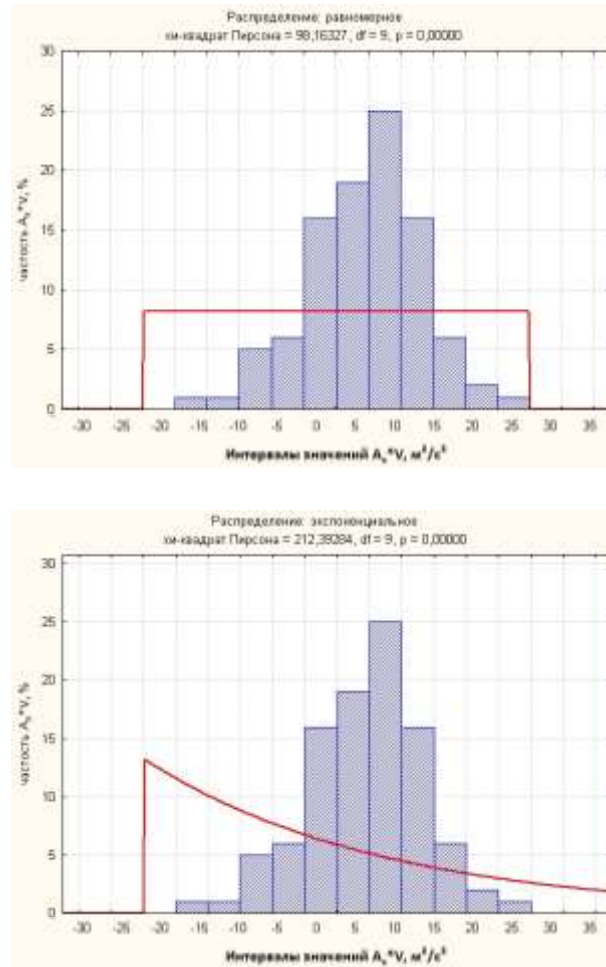
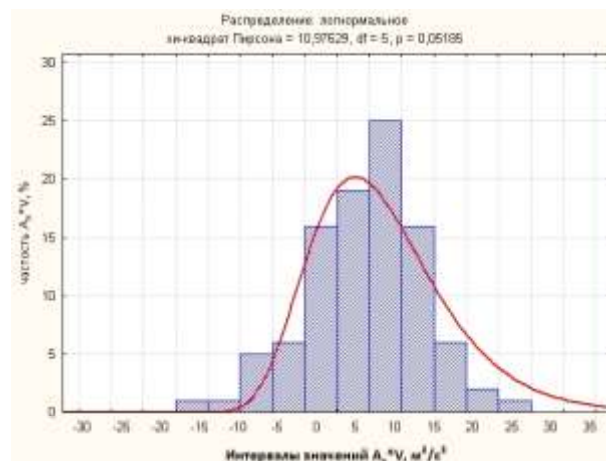


Рисунок 5. - Различные варианты описания распределения случайной величины $A_x \cdot V$



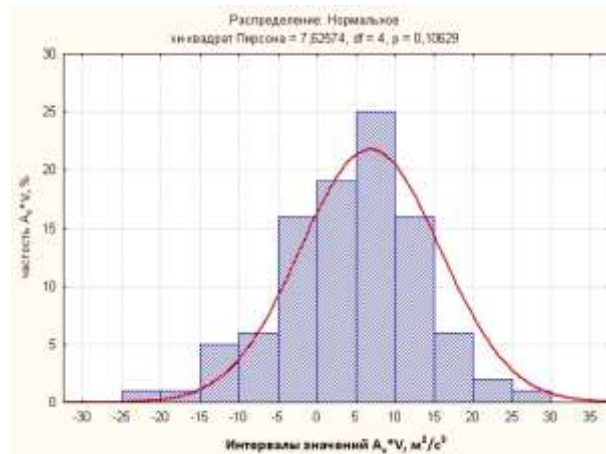


Рисунок 6. - Различные варианты описания распределения случайной величины $A_x \cdot V$

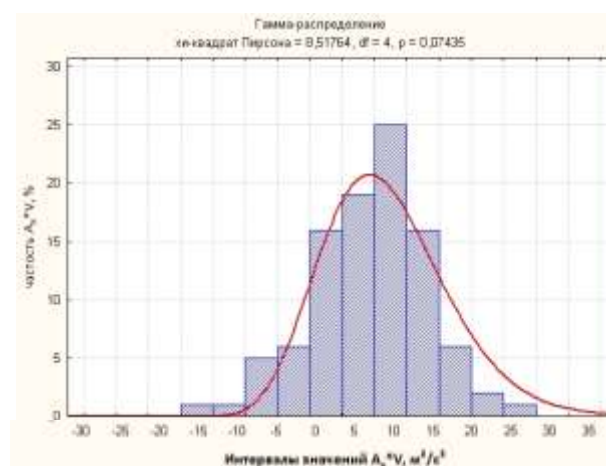
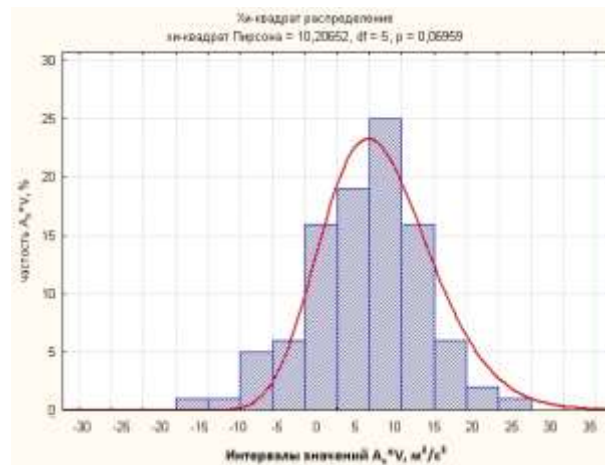


Рисунок 7. - Различные варианты описания распределения случайной величины $A_x \cdot V$



Москвич – 412 ($V_{ср\text{ед}} = 70,6$ км/ч) – движение за городом

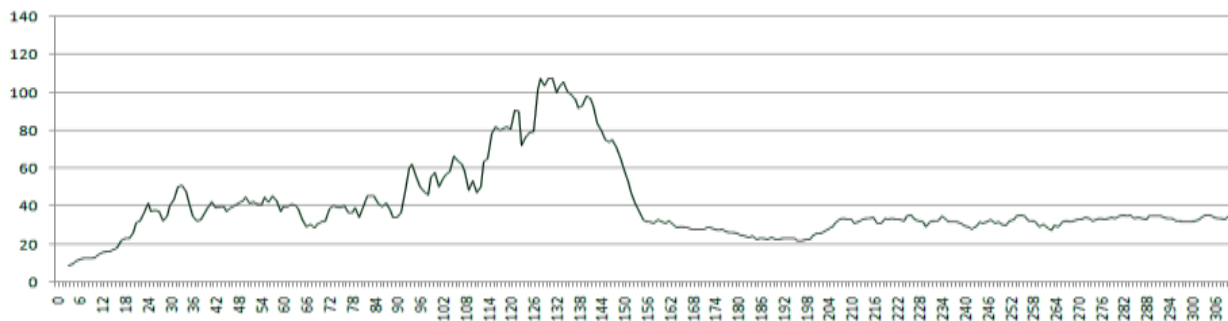


ВАЗ – 2108 ($V_{ср\text{ед}} = 57,3$ км/ч) – движение в городе

Рисунок 8. - Тахограммы движения автомобилей «Москвич-412» и ВАЗ-2108



ВАЗ – 2105 ($V_{ср\text{ед}} = 75,4$ км/ч) – движение за городом



ВАЗ – 2121 ($V_{ср\text{ед}} = 52,4$ км/ч) – движение в городе

Рисунок 9. - Тахограммы движения автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2121

Выводы.

1. Проведенные экспериментальные исследования позволили определить, что наилучшим образом полученные результаты описывает нормальный закон (критерий Пирсона Хи-квадрат составляет от 12,7 до 47,6).

2. Анализ полученного распределения показал, что с максимальной погрешностью не более 20% можно использовать полученный закон с усредненными для всех автомобилей параметрами.

3. Определено, что средняя скорость легковых автомобилей 2-го класса составляет 70,6-75,4 км/ч при движении за городом на междугородних трассах и 52,4-57,3 км/ч – в городе. Среднее ускорение находится в пределах 0,23-0,6 м/с². Для расчетов можно принимать величину среднего ускорения, равную 0,448 м/с² при среднем квадратическом отклонении этой величины – 0,618 м/с².

Список литературы

1. Бортницкий П.И. Тягово–скоростные качества автомобилей / П.И. Бортницкий, В.И. Задорожный. – К.: Вища школа, 1978. – 176 с.
2. Великанов Д.П. Эксплуатационные качества отечественных автомобилей / Д.П. Великанов. – М.: М, 1953. – 167 с.
3. Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М. – Л.: Машгиз, 1940. – 396 с.
4. Гаврилов Э.В. Принципы разработки мобильных вычислительных комплексов / Э.В. Гаврилов, О.П. Алексеев, О.П. Смирнов // Информационные технологии. – Х.: Магдебург. – ХГПУ, 1999. – с.139 – 141.

УДК 656.222.6:656.212

**Скалозуб В.В., д.т.н., професор ДНУЗТ ім. В. Лазаряна)
Бардась О.О. асистент (ДНУЗТ ім. В. Лазаряна)**

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИБОРУ ЧЕРГОВОСТІ РОЗПУСКУ
СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ СТАНЦІЇ**

Вступ. Одним із резервів підвищення ефективності перевізного процесу на залізничному транспорті та зменшення терміну доставки вантажів є скорочення тривалості знаходження вагонів на технічних станціях.

Аналіз розподілу часу знаходження вагонів на сортувальних станціях показує, що його основною складовою є термін накопичення вагонів у

сортувальному парку. При накопиченні вагонів найбільш суттєвий фактор – це очікування надходження вагонів „замикаючої” групи, що завершує накопичення складу поїзда. В оперативних умовах тривалість очікування вагонів „замикаючої” групи можна скоротити за рахунок зміни черговості розпуску складів. Черговість розпуску необхідно вибирати таким чином, щоб забезпечити обробку складів із „замикаючими” групами без непродуктивних простоїв.

Постановка задачі. Задача вибору черговості розформування складів (ВЧРС) полягає у наступному: на сортувальну станцію прибуває деякий потік поїздів. Відомі структури поїздів та дані по терміни їх прибуття до станції. Необхідно при встановлених вимогах до процесу перевезень та обмеженнях характеристик сортувальної станції вибрати таку черговість розформування поїздів, щоб загальні експлуатаційні витрати на розформування-формування були мінімальними.

Вихідні дані, необхідні для вирішення задачі, складаються із наступного [1]:

- відомості про поїзди, які можуть бути розформовані станцією на протязі визначеного періоду часу;
- наявність вагонів за призначеннями плану формування поїздів, що знаходяться на коліях сортувального парку на момент початку розрахунку;
- ємність кожної сортувальної колії в умовних вагонах;
- кількість та спеціалізація колій в парку прибуття;
- розрахункові нормативи часу виконання операцій технологічного процесу в парках станції.

При вирішенні задачі управління розформуванням-формуванням поїздів можуть бути використані наступні критерії:

- K_1 – мінімум загальної тривалості простою поїздів по неприйому на станцію;
- K_2 – мінімум простою певних пріоритетних вагонопотоків при виконанні спеціальних завдань щодо організації перевезень;
- K_3 – мінімум загальних експлуатаційних витрат, пов'язаних із простоем вагонів на станції та маневровою роботою по розформуванню-формуванню поїздів;

Зазначимо, що комбінаторність задачі ВЧРС приводить до необхідності повного перебору варіантів послідовності розпуску, що на практиці не може бути реалізовано. У роботі запропоновано перетворення n -компонентної задачі в послідовність 2-х етапних, 2-х компонентних задач [3]. При цьому схема вибору варіанту черговості доповнена додатковою функцією – визначення ідеальної послідовності розпуску

(ІПР). За рахунок цього може бути зменшена кількість варіантів черговості і тим самим скорочено перебір у n-компонентній задачі ВЧРС.

У роботі також показано, що моделі ІПР можуть бути різними, рішення про застосування тієї чи іншої моделі вибирається в залежності від оперативної ситуації на станції.

Аналіз системи критеріїв ефективності процесів розформування-формування составів. Для удосконалення оперативного управління роботою залізничних підрозділів слід вирішити завдання підвищення якості транспортного обслуговування, зменшення терміну доставки вантажів та скорочення експлуатаційних витрат, пов'язаних із реалізацією перевезень. Тому через комплексність управління черговістю розформування составів визначимо у якості цільової функції процесу підвищення якості перевізного процесу в цілому по мережі залізниць, а не по окремо обраній сортувальній станції. Досягнути цього можна шляхом розрахунку оптимального плану відправлення поїздів. Це являється окремою складною задачею оптимізації, яка в даній роботі не розглядається. Стосовно задачі черговості розформування составів, підвищення ефективності функціонування залізничного полігону в цілому може вирішуватись шляхом створення кращих «умов роботи» наступних технічних станцій.

Черговість розформування составів істотно впливає на структуру поїздів свого формування (на кількість відчепів в составі поїзда), отже і на обсяги і умови маневрової роботи на наступних технічних станціях. Тому можна ввести ще один показник (і відповідний критерій) K_4 – структура поїздів свого формування.

У роботі наведені критерії узгоджуються між собою наступним лексикографічним (позначеним через « \geq ») [2] чином:

$$K_1 \geq K_2 \geq K_3 \geq K_4$$

В якості першочергового прийнято критерій мінімуму загального простою поїздів по неприйому, оскільки в першу чергу необхідно забезпечити безперебійний прийом поїздів на станцію. Серед множини рішень, що забезпечують реалізацію критерію K_1 , проводиться пошук рішень по критерію мінімуму простою вагонів на станції. При цьому, якщо є спеціальне завдання на першочергове відправлення певних категорій вагонопотоків (наприклад порожніх вагонів), то пріоритетним буде критерій K_2 , далі виконується пошук по критерію K_3 . Нарешті, серед множини рішень, що забезпечують виконання перших трьох критеріїв, проводиться пошук послідовностей розпуску составів, що покращують структуру поїздопотоку свого формування: Множина рішень за

1. *Journal of Management Studies*, 1997, 34, 1, 1-14.

Розглянемо приклад обробки складу із замикаючою групою, рисунок 1. На рисунку показано схему обробки складу в парку прийому, а також накопичення вагонів одного призначення в сортувальному парку. За схемою перед розпуском складу в сортувальному парку знаходиться m_c вагонів. В результаті розпуску складу на дане призначення надходить замикаюча група вагонів m_z , при цьому $m_c + m_z \geq m$, де m – число вагонів в складі поїзду. Маємо два варіанти обробки складу – з непродуктивними простоями в парку прийому та без них. Для зручності візуального представлення непродуктивні простой на рисунку показані після обробки складу, а їх величина складає Δt . Визначимо оцінку скорочення терміну простою вагонів на станції у випадку обробки складу без непродуктивних простоїв.

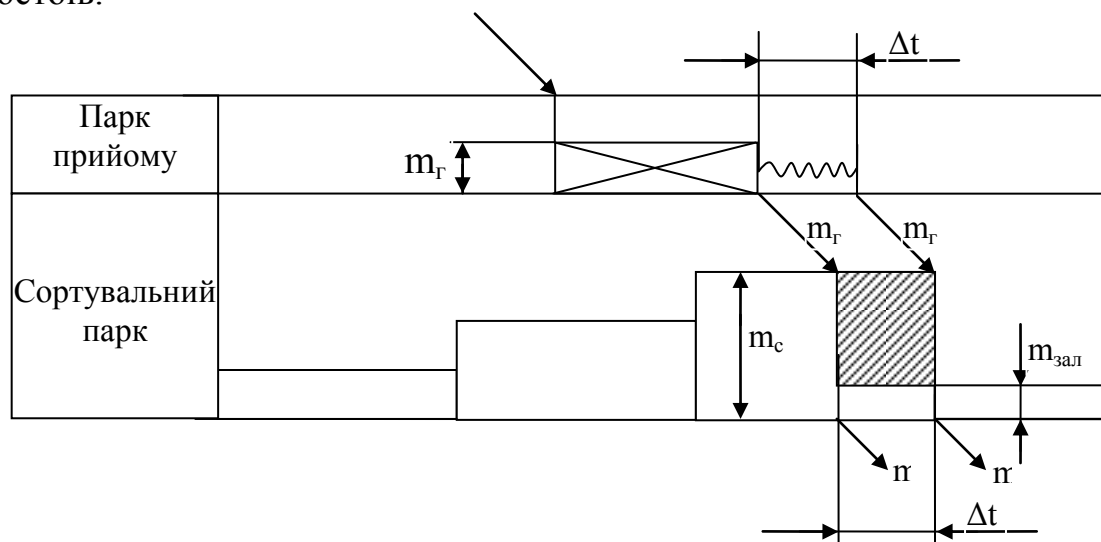


Рисунок 1 Схема обработки состава в парку приёму

Величина скорочення простою вагонів в сортувальному парку Δnt (на рисунок 1 – заштрихована область) становить:

$$\Delta nt = \Delta t \cdot (m_c - m_{зал}),$$

де $m_{зал}$ – залишок вагонів на сортувальній колії після перестановки накопиченого складу в парк відправлення.

Величина скорочення простою вагонів замикаючої групи в парку прийому становить

$$\Delta nt = \Delta t \cdot m_z.$$

Складаючи рівняння разом отримують:

$$\Delta nt = \Delta t \cdot (m_c - m_{зал}) + \Delta t \cdot m_z = \Delta t \cdot (m_c + m_z - m_{зал})$$

Зважаючи на те, що $m_c + m_z - m_{зал} = m$, маємо:

$$\Delta nt = \Delta t \cdot m.$$

Величина Δnt залежить від двох факторів – кількості вагонів у складі поїзда m , яка в рамках задачі ВЧРС залишається незмінною, та від величини Δt – скорочення непродуктивних простоїв складів із замикаючими групами в парку прийому. Звідси виникає поняття ідеальної послідовності розпуску – це така послідовність, що забезпечує обробку та розформування складів із замикаючими групами без непродуктивних простоїв. Крім того, оскільки після завершення обробки останнього складу послідовності робота станції не завершується, необхідно також додати умову щодо завершення останнього розпуску складу в мінімально можливий термін.

Розглянемо на прикладі, як можна скоротити об'єм розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску при використанні поняття ідеальної послідовності. На рисунку 2 наведено приклад обробки трьох складів у парку прийому.

Вважається, що другий склад має в своєму складі одну завершальну групу, а решта складів – завершальних груп не мають. Виконується аналіз можливих варіантів черговості обробки складів із вибором найкращого. При трьох складах маємо 6 варіантів черговості розпуску. Аналіз починається із послідовності 1-2-3 (відповідає принципу обробки FIFO [4]). Далі поступово перебираються всі варіанти, рухаючись у напрямку зворотної послідовності розпуску 3-2-1 (відповідає принципу обробки LIFO [4]). Для першого варіанту єдиний склад із завершальною групою затримується на величину часу Δt , отже така послідовність не є ідеальною, і її характеристики можна покращити. Наступний варіант, що обирається – 1-3-2. При такій послідовності другий

состав має ще більші затримки, тому обирається третій варіант 2-1-3. В цьому випадку состав із завершальною групою обробляється в парку прийому без непродуктивних простоїв. Крім того, останній состав послідовності розформовується також без затримок і тому не погіршує умови роботи в парку прийому після реалізації обраної послідовності (обробка составів 4, 5 і т.д.). Отже послідовність 2-1-3 являється ідеальною і не може бути поліпшена, і тому оцінку решти варіантів можна не визначати.

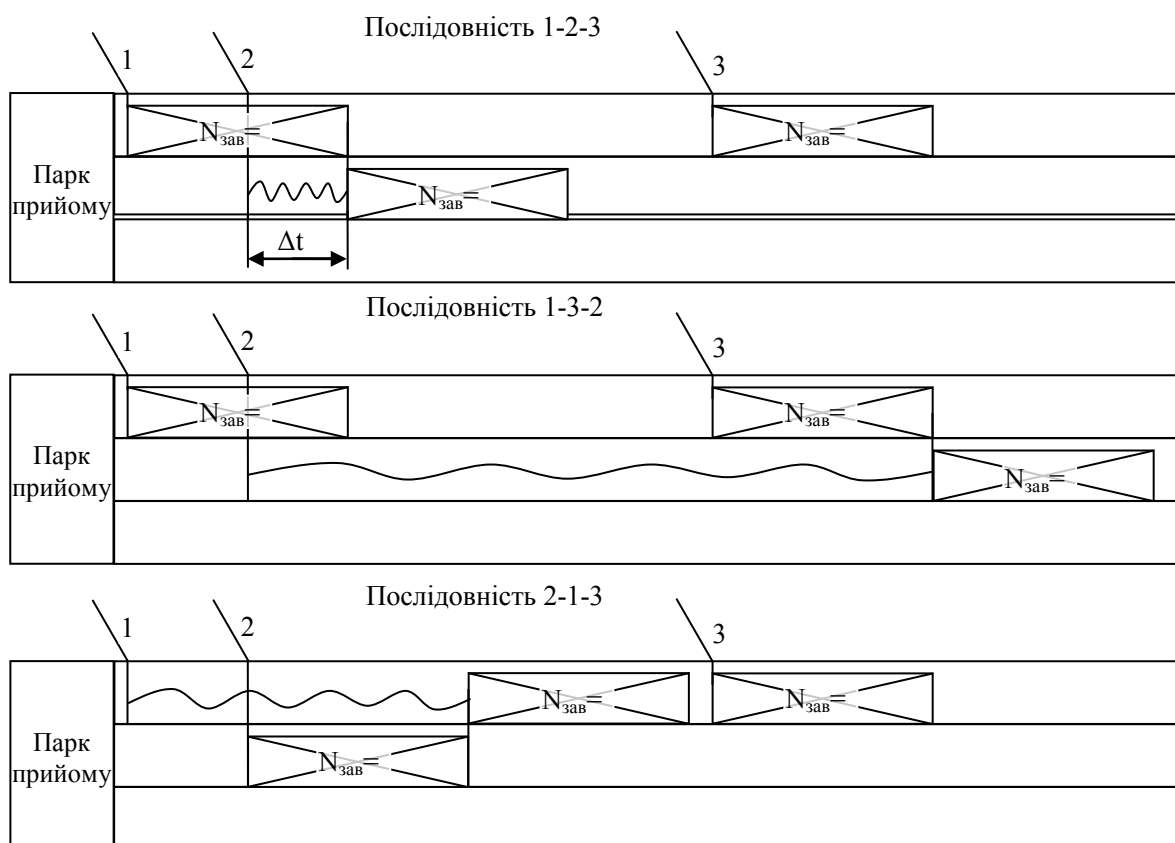


Рисунок 2 Приклад використання поняття ідеальної послідовності розпуску составів при аналізі варіантів їх розформування

Поняття ІПР враховує простій вагонів лише до моменту завершення накопичення, мінімізувати ж потрібно простій вагонів на станції у цілому. Отримане скорочення простою вагонів в сортувальному парку не може бути отримане у випадках:

- неможливості виконати завершення формування составів через зайнятість маневрових локомотивів;
- неможливості виставлення составів у парк відправлення через зайнятість приймально-відправних колій;
- відсутності поїзного локомотиву, що буде подано під сформований состав.

У таких випадках тривалість знаходження вагонів на станції додатково обмежується указаними факторами, тому і темп накопичення вагонів слід узгоджувати із оперативною ситуацією, що складається в підсистемі формування. Сформулюємо друге поняття ІПР – це така послідовність, що забезпечує відсутність простою поїзних локомотивів в очікуванні сформованого составу. Рішення про застосування першого чи другого поняття ІПР залежить від оперативної ситуації на момент планування. Якщо на момент початку розрахунку в наявності є достатня кількість поїзних локомотивів, то слід використати перше поняття, максимально прискорюючи процес накопичення вагонів. Якщо ж на поточний момент часу немає готових поїзних локомотивів, то слід використати друге поняття, враховуючи ситуацію в парку відправлення. При використанні другого поняття ІПР з'являються додаткові резерви для покращення структури поїздів свого формування за критерієм K_4 .

Висновки. У роботі удосконалено метод вибору черговості розпуску составів за рахунок введення показника структури составу, а також використання поняття ідеальної послідовності розпуску. Застосування цих засобів при розрахунках дозволяє, по-перше, скоротити об'єм обчислень при виборі черговості розпуску, по-друге, покращити структуру составу щодо переробки на наступних технічних станціях. Запропонована модель і удосконалений метод вирішення задачі розформування-формування составів у теоретичному сенсі представляють декомпозицію, перетворення n -етапної NP повної перебірної задачі до послідовності 2-етапних задач планування розпуску составів.

Література

1. Буянов В.А., Ратин Г.С. Автоматизированные информационные системы на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1984. – С. 72-74.
2. Подиновский В.В., Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. – М.: Советское Радио, 1975. – 146 с.
3. Бардась О.О. Усовершенствование планирования процессов расформирования составов с учетом оперативных данных автоматизированных систем управления грузовыми перевозками. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 150-152.
4. Кузин Л.Т. Основы кибернетики. – М.: Энергия, 1979. – 584 с.

УДК 656.211:626.212

Чеклов В.Ф., к.т.н, доцент, (ДонІЗТ)

Чеклова В.М., к.т.н, доцент, (ДонІЗТ)

Лях Л.О., інженер (ДонІЗТ)

Даценко Д.П., керівник департ. з лог. та якості (ТОВ «ДТЕК»)

Науменко О.М., (гол. спец. департ.у з лог.та якості (ТОВ «ДТЕК»)

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ПІД'ІЗНОЇ КОЛІЇ ВАТ «ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ» В УМОВАХ ПОСИЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Постановка задачі. Удосконалення роботи під'їзної колії ТОВ «Павлоградвугілля» за критерієм мінімізації затрат часу на вантажні операції за рахунок модернізації технічних засобів.

Актуальність прикладної задачі. Статутом залізниць України визначено, що колійний розвиток, споруди і пристрої залізничних під'їзних колій повинні забезпечувати відповідно до обсягу перевезень безперебійне навантаження і вивантаження вантажів, маневрову роботу і раціональне використання вагонів та локомотивів.

Технологічні операції по обслуговуванню вантажних фронтів на під'їзній колії ТОВ «Павлоградвугілля» виконуються маневровими локомотивами серії ТЕМ-2.

На під'їзній колії виконуються наступні операції: приймання, відправлення та розформування-формування поїздів, обслуговування вантажних фронтів.

На під'їзній колії ВАТ «Павлоградвугілля» вивантажуються вагони з лісом, щебенем, вугіллям, цементом, сіллю, обладнанням, металом, виробами залізобетонними, бітумом, паливом дизельним, бензином, мазутом, але відсоток вивантаження незначний.

Основна частина вантажної роботи під'їзної колії – це навантаження вугілля та вугільного канцентрату.

Внаслідок фізичного і морального зносу машин та механізмів, який складає приблизно 30%, а також незадовільного стану самих вантажних вагонів, значно збільшується час на вантажні операції, що збільшує час знаходження вагонів на під'їзній колії та матеріальні витрати ВАТ «Павлоградвугілля». При цьому відбувається простій рухомого складу, що

ускладнює виконання технологічних операцій на під'їзній колії та збільшує робочий парк вагонів для залізниці.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основним родом вантажу, який приймається для перевезень магістральним транспортом від промислового, - вугілля або його концентрат.

У зв'язку з ростом виробничої потужності шахт, збільшенням обсягу вугільних перевезень і стандартизацією кондицій по якості вугілля, що відвантажуються, значно підвищилися вимоги до технології навантаження вугілля на шахтах. Ці вимоги передбачають високопродуктивне, цілком механізоване і максимально автоматизоване навантаження вагонів, збереження якості сортового вугілля у процесі навантаження.

Крім якісного контролю вугілля піддається кількісному контролю, що має комерційний характер при розрахунку споживачів з гірничим підприємством.

Обсяги видобування вугілля на шахтах під'їзної колії ВАТ «Павлоградвугілля» зростають, що потребує збільшення переробної спроможності вантажних фронтів.

Основний матеріал дослідження. Обсяги навантаження вугілля ВАТ «Павлоградвугілля» на період 2011-2015 роки розраховані згідно запланованих обсягів добичі вугілля. Максимальне завантаження технічних засобів вантажних фронтів припадає на 2014 рік. По кожному з трьох примикань проведені розрахунки переробної спроможності на сучасний та запланований періоди роботи під'їзної колії.

Обсяги вивантаження розраховані на основі статистичних даних за 2009 та чотири місяці 2010 року, а по навантаженню були взяті на основі запланованих на перспективу об'ємів добичі вугілля на 2014 рік.

Згідно цих розрахунків максимальна кількість вагонів, що подається на під'їзну колію складає 80 завантажених та 607 порожніх.

Обсяг добичі вугілля, що запланований до 2015 року включно по примиканню до станції Ароматна наведено на рисунку 1.

Виходячи з рисунка 1 добича вугілля за розрахунковий період зростає на 1937 тисяч тон. Це призводить до того, що обладнання на вантажних фронтах не забезпечує потрібні обсяги навантаження вугілля та вугільного канцентрату.

Обсяги вугілля, що планується навантажувати на підприємствах ВАТ «Павлоградвугілля» на 2014 рік у тонах за добу:

- станція ЦЗФ (шахта Героїв Космосу) – 6762;
- станція ЦЗФ (шахта Благодатна) – 3036;
- станція Павлоградська – 5520;
- станція Тернівська – 3657;
- станція Комсомольська – 6210.

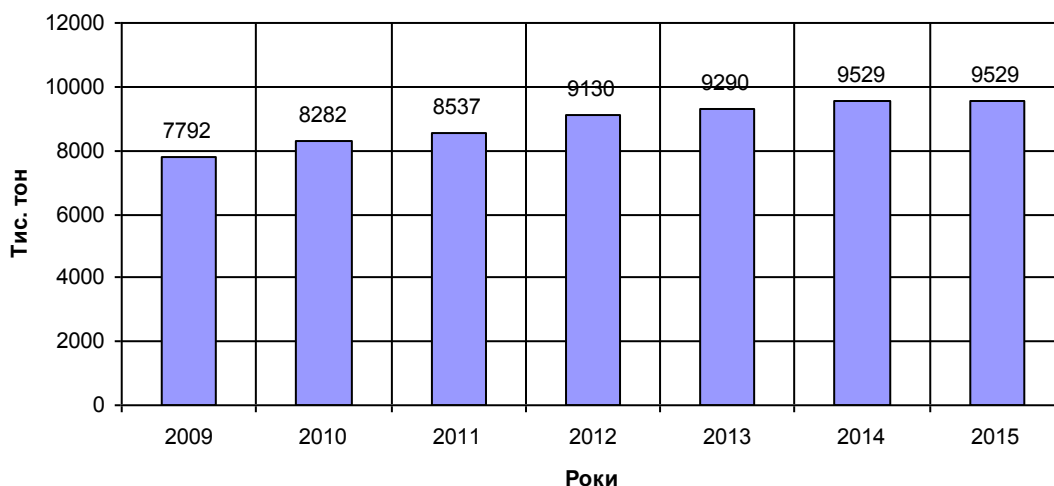


Рисунок 1 – Динаміка обсягів навантаження вугілля на примиканні до станції Ароматна на період з 2009 по 2015 рік.

Кількість навантажених вагонів у середньому за добу на цих підприємствах буде складати:

- станція ЦЗФ (шахта Героїв Космосу) – 98;
- станція ЦЗФ (шахта Благодатна) – 44;
- станція Павлоградська – 80;
- станція Тернівська – 53;
- станція Комсомольська – 90.

Загальний обсяг роботи під'їзної колії ВАТ «Павлоградвугілля», що примикає до станції Ароматна, за добу складе 371 вагон (таблиця 1).

На шахті Благодатна (44 колія станції ЦЗФ) планується навантаження 44 вагонів за добу. Навантажувальні механізми (конвеєр) повністю забезпечують обсяги навантаження, але приймаючи до уваги розташування вантажного фронту та його ємність (5 вагонів), зменшується пропускна і переробна спроможність у цілому.

На шахті Героїв Космосу (46 колія станції ЦЗФ) планується навантаження 98 вагонів за добу. Навантажувальні механізми (стрічковий конвеєр) через великий час навантаження (1,18 години на 10 вагонів) не забезпечують потрібні обсяги навантаження, про що свідчить коефіцієнт використання вантажного фронту, який дорівнює 2,36.

На станції Павлоградська на 3, 4 коліях планується навантаження 80 вагонів за добу. Навантаження здійснюється конвеєром почергово на одній з колій, коефіцієнт використання вантажного фронту дорівнює 1,34. Тому заплановане навантаження не здійснюється у повному обсязі.

Таблиця 1.-Технологічна карта вантажних фронтів під'їзної колії по примиканню до станції Ароматна

Станція	№ колії	Назва вантажу, що переробляється /рід/ середнє завантаження вагону	Засоби механізації		Розмір фронту		Термін виконання вантажних операцій, год.	Розрахунковий добовий вагонопотік, N _в , ваг/доб.	Час обробки всієї подачі, год	Коефіцієнт використання вантажного фронту
			Регламентовані перерви в роботі, год/доб.	Тип механізму	Максимальної подачі, m _п	Одночасного навантаження (вивантаження), m _ф				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Навантаження										
ЦЗФ	2	Концентрат вугілля/ПВ/69	4	Конвеєр	14	1	4,0			
	3		4	Конвеєр	14	1	4,0			
	4		4	Конвеєр	14	1	4,0			
	5		4	Бункерна	14	1	0,15			
	6		4	Бункерна	14	1	0,15			
ЦЗФ (ш. ГК)	46	Вугілля/ПВ/69	4	Конвеєр	10	1	1,18	98	11,8	2,36
ЦЗФ (ш. Благодатна)	44	Вугілля/ПВ/69	4	Конвеєр	5	1		44		0,2
Павлоградська	3	Вугілля/ПВ/69	4	Конвеєр	10	1	0,28	80	2,8	1,34
	4		4	Конвеєр	12		0,28		3,36	
Тернівська	4	Вугілля/ПВ/69	4	Бункерна	12	1	0,15	53	1,8	0,32
Комсомольська	3	Вугілля/ПВ/69	4	Конвеєр	12	1	0,27	90	3,24	1,22
	4	Вугілля/ПВ/69	4	Конвеєр	12		0,27		3,24	
Вивантаження										
ЦЗФ	19	Магнетит/ПВ/68,8	1	Підвищена колія	1	1	0,32	2	0,32	0,03
	13	Вугілля/ПВ/69	4	Вагоно-перекидач	12	1	0,07		0,84	
	15	Вугілля/ПВ/69	4	Вагоно-перекидач	12	1	0,07		0,84	
ЦЗФ (шахта Благодатна)	21	Щебінь/ПВ/69,01	1	Підвищена колія	11	11	0,32	2	3,52	0,03
	41	Ліс/ПВ/12,33	2	ККС-10	6	4	1,26	2	7,56	0,11
	42		2		6				7,56	0,11
ЦЗФ (шахта ГК)	40	Щебінь/ПВ/68,1	1	Підвищена колія	10	10	0,32	2	0,32	0,12
	18	М/л/ПВ/58,2	1	ККС-10	3	1	1,33	2	3,99	0,12
		Обладнання/ПЛ/49,4	1				1,26	2	3,78	0,11

Подовження таблиці 1.

Павлоградська	9	Ліс/ПВ/46	2	ККС-10	6	1	1,26	2	7,56	0,12
		Обладнання/ПЛ/37,9	2				1,33	2	7,98	0,12
		М/л/ПВ/62,7	2				1,33	2	7,98	0,12
	8	Щебінь/ПВ/68,1	1	Підвищена колія	4	4	0,52	2	2,08	0,05
Тернівська	5	Ліс/ПВ/46	2	ККС-7,5	5	1	1,26	2	6,3	0,05
		Обладнання/ПЛ/39,4	1		5	1	1,33	2	6,65	0,12
		М/л/ПВ/57	1		5	1	1,33	2	6,65	0,12
Комсомольська	2	Шлак/ПВ/69,8	1	Підвищена колія	3	1	0,52	2	2,08	0,12
		Щебінь/ПВ/68,1	1				0,52	2	2,08	0,12

На станції Тернівська на 4 колії планується навантаження 53 вагонів за добу, але через колійний розвиток та ускладнений процес обслуговування вантажного фронту переробна спроможність складе 48 вагонів.

На станції Комсомольська на 3, 4 коліях планується навантаження 90 вагонів за добу. Навантаження здійснюється конвеєром почергово на одній з колій, коефіцієнт використання вантажного фронту дорівнює 1,22. Тому заплановане навантаження не здійснюється у повному обсязі.

Обсяг добичі вугілля, що запланований до 2014 року по примиканню до станції Богуславський наведено на рисунку 2.

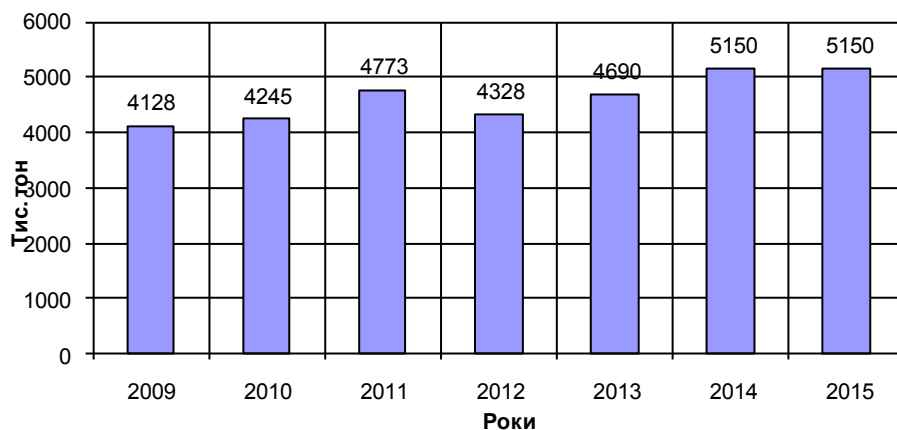


Рисунок 2 – Динаміка обсягів навантаження вугілля на примиканні до станції Богуславський з 2009 по 2015 рік.

Виходячи з рисунка добича вугілля на примиканні до станції Богуславський за розрахунковий період зростає на 1022 тис. тон.

Обсяг вугілля, що планується навантажувати на підприємствах ВАТ «Павлоградвугілля» у тонах за добу:

- станція Самарська – 4416;
- станція Західнодонбаська - 3864;
- станція Дніпровська – 3657.

Кількість навантажених вагонів у середньому за добу на цих підприємствах буде складати:

- станція Самарська – 64;
- станція Західнодонбаська – 56;
- станція Дніпровська – 53.

Загальний обсяг роботи під'їзної колії ВАТ «Павлоградвугілл», що примикає до станції Богуславський, за добу склав 177 вагонів (по прибуттю 20 навантажених та 157 порожніх вагонів, по відправленню 173 навантажених та 4 порожніх вагонів).

На станції Самарська на 3 та 4 коліях планується навантаження 64 вагонів за добу. Навантаження здійснюється стрічковим конвеєром. При цьому коефіцієнт використання вантажного фронту дорівнює 1,35, що більше можливого, тому навантаження не виконується у повному обсязі.

На станції Дніпровська на 2, 3 коліях планується навантаження 53 вагонів за добу. Навантаження здійснюється стрічковим конвеєром. При цьому коефіцієнт використання вантажного фронту дорівнює 1,19. Тому заплановане навантаження не здійснюється у повному обсязі.

Обсяг добичі вугілля, що запланований до 2015 року включно по примиканню до станції Миколаївка-Донецька, наведений на рисунку 3.

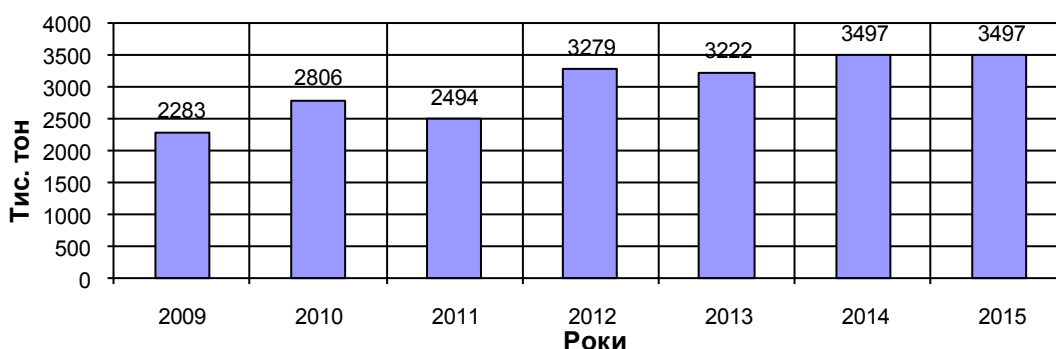


Рисунок 3 – Динаміка об’ємів навантаження вугілля на примиканні до станції Миколаївка-Донецька

Таблиця 2.-Технологічна карта вантажних фронтів під'їзної колії по примиканню до станції Богуславський

Станція	№ колії	Назва вантажу, що переробляється /рід/ середнє завантаження вагону	Засоби механізації		Розмір фронту		Термін виконання вантажних операцій, год.	Розрахунковий добовий вагонопотік, N _в , ваг/доб.	Час обробки всієї подачі, год	Коефіцієнт використання вантажного фронту
			Регламентовані перерви в роботі, год/доб.	Тип механізму	Максимальної подачі, m _п	Одночасного навантаження (вивантаження), m _ф				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Навантаження										
Самарська	3	Вугілля/ПВ/69	4	Безбункерна конвеєр	12	1	0,425	64	5,1	1,35
Західно-Донбаська	4	Вугілля/ПВ/69	2	Бункерна	10	1	0,13	56	1,3	0,33
	5				12		0,13		1,56	0,33
Дніпровська	2	Вугілля/ПВ/69	5	Безбункерна конвеєр	10	1	0,425	53	4,7	1,19
Вивантаження										
Самарська	9	М/лом/ПВ/55,6	1	ККС-10	5	1	1,33	2	6,65	0,12
		Стойки/ПВ/49,5	1				1,26	2	6,3	0,11
	16	Пропси/ПВ/41,95	1	ККС-10	3	1	1,26	2	3,78	0,11
		Шлаки/ПВ/57,1	1	Підвищена колія	7	1	0,52	2	3,64	0,05
	17	Паливо /ЦС/55,4	1	Самопливом	4	1	2,0	2	8,0	0,17
Західно-Донбаська	8	Ліс/ПВ/46,7	1	ККС-10	4	1	1,06	2	4,24	0,09
		М/лом/ПВ/58,6					1,33	2	5,32	0,12
		Долгот/ПВ/46	1	ККС-10	4	1	1,26	2	5,04	0,11
		Цемент/ХП/68	1	Пневмо-видування	4	1	0,6	2	2,4	0,05
Дніпровська	6	М/лом/ПВ/54,5	1	ККС-10	4	1	1,33	2	5,32	0,12

Виходячи з рисунка 3 добича вугілля зростає порівняно з 2009 роком на 1214 тис. тон.

Обсяг вугілля, що планується навантажувати на підприємствах ВАТ «Павлоградвугілля» у тонах за добу:

- станція Степова – 5727;
- станція Ювілейна - 3312.

Кількість навантажених вагонів у середньому за добу на цих підприємствах буде складати:

- станція Степова – 83;
- станція Ювілейна - 48.

Загальний обсяг роботи під'їзної колії ВАТ «Павлоградвугілля» за добу склав 139 вагонів (по прибуттю 30 навантажених та 109 порожніх вагонів, по відправленню 131 навантажених та 8 порожніх вагонів). Заплановане навантаження виконується у повному обсязі.

Таблиця 3.-Технологічна карта вантажних фронтів під'їзної колії по примиканню до станції Миколаївка-Донецька

Станція	№ колії	Назва вантажу, що переробляється /рід/ середнє завантаження вагону	Засоби механізації		Розмір фронту		Термін виконання вантажних операцій, год.	Розрахунковий добовий вагонопотік, N _в , ваг/доб.	Час обробки всієї подачі, год	Коефіцієнт використання вантажного фронту
			Регламентовані перерви в роботі, год/доб.	Тип механізму	Максимальної подачі, т _п	Одноточасного навантаження (вивантаження), т _ф				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Навантаження										
Степова	2	Вугілля/ПВ/ 69	4	Бункерне	12	1	0,13	83	1,56	0,98
Ювілейна	3	Вугілля /ПВ/ 69	4	Стрічковий конвеєр	12	1	0,39	48	4,68	0,94
	4	Вугілля /ПВ/ 69	4		12		0,39		4,68	0,94
Вивантаження										
Степова	4	Ліс/ПВ/55,4, Долгот/ПВ/44,23	1	ККС-10	8	1	1,06	2 2	8,48	0,09
		Канати/ПЛ/21,66 М/лом/ПВ/63,15	1				1,0 1,33	2 2	8	0,09
		Щебінь/ПВ/68,7	1	Підвищена колія	2	2	0,52	2	1,04	0,05
	10	Вугілля/ПВ/68,74 Шлак/ПВ/65,36	1	Підвищена колія	8	8	0,52	2 2	4,16	0,05
	8,9	Руд стойка/ ПВ/61,4 Метал/ПВ/64,97	1	КК	6	2	1,33	2 2	7,74	0,07
	11	Вугілля/ПВ/69,15	1	Підвищена колія	7	1	0,67	2	4,69	0,06
		Цемент/ХП/72	1	Пнемо-видування	7	1	0,6	2	4,2	0,03
Ювілейна	2	Вугілля/ПВ/53,9	1	Підвищена колія	3	3	0,67	2	2,01	0,06
		Сіль /КР/64	1	Немеханізоване	3	3	4,05	2	12,1 5	0,35

Вантажні fronti цього примикання повністю виконують заплановані обсяги навантаження. Згідно з цим робимо висновок, що під'їзна колія ВАТ «Павлоградвугілля», що примикає до станції Миколаївка-Донецька не потребує покращення механізмів навантаження.

Висновки. На вантажних фронтах під'їзної колії ВАТ «Павлоградвугілля» повинні використовуватися механізми, що будуть забезпечувати виконання плануємих обсягів навантаження вугілля. Для цього продуктивність механізмів повинна бути більша, ніж існуюча. Більш доцільним буде використання бункерного навантаження на проблемних ділянках вантажних фронтів. Це забезпечить виконання плануємих об'ємів навантаження, скоротить простої вагонів в очікуванні подачі під вантажні операції та плату за користування вагонами.

Список використаних джерел

1. Автореферат магистерской диссертации. Коваленко Е. А. - Разработка автоматизированной системы управления углепогрузочным комплексом поверхности шахты. [Електроний ресурс]. – Режим доступ: <http://masters.donntu.edu.ua/2004/fema/kovalenko/diss/index.htm>.
2. ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ. Шахтное и подземное строительство. Погрузка и транспорт горной массы. - [Електроний ресурс]. – Режим доступ: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-71/104.htm>
3. Єдиний технологічний процес роботи під'їзної колії ВАТ „Павлоградвугілля” та станції примикання Миколаївка-Донецька
4. Єдиний технологічний процес роботи під'їзної колії ВАТ „Павлоградвугілля” та станції примикання Богуславський
5. Єдиний технологічний процес роботи під'їзної колії ВАТ „Павлоградвугілля” та станції примикання Ароматна
6. Технічний паспорт під'їзної колії ВАТ „Павлоградвугілля”, яка примикає до станції Богуславський
7. Кривцов И.П. Автоматизация и механизация погрузочно-разгрузочных работ на промышленном железнодорожном транспорте. – Киев: Вища школа, 1986.

Шеховцов О.І., ст. викладач (ДонІЗТ)

АВТОМАТИЗОВАНЕ РОБОЧЕ МІСЦЕ ДИСПЕТЧЕРА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПОРТУ

Постановка задачі. Процес реалізації на транспорті логістичної технології пов'язано з автоматизацією усіх ланок логістичної системи та з впровадженням інформаційно-керуючих систем (ІКС) та систем підтримки прийняття рішень (СППР) з метою отримання загальносистемного ефекту [1]. Важливість цього питання викликана декількома факторами: обмеженістю ресурсів залізничного транспорту (вагонного парку), значним зносом рухомого складу, який використовується для перевезення, зростанням собівартості перевезень при збільшенні порожнього пробігу вагонів [2].

Залізничний транспорт і морські порти завжди були та залишаються стратегічними об'єктами для економіки країни. Важливою задачею розвитку транспортного комплексу є підвищення ефективності роботи в точках взаємодії двох видів транспорту, для цього необхідно впровадження нових технологій у портовий бізнес, об'єднання автоматизованих систем керування (АСК) портів з ІКС залізничного транспорту [3].

Актуальність задачі. На сьогоднішній день залізничний транспорт має значну конкуренцію у вигляді інших видів транспорту, особливо автомобільного, тому окрім модернізації технічних засобів перевізного процесу важливим також є покращення обслуговування та інформаційного забезпечення клієнтів [4].

Один з пунктів, за яким залізничний транспорт поступається автомобільному – час оформлення перевізних документів [5]. Для покращення роботи в цьому напрямку прийнято ряд заходів, наприклад ще 2008 року станції Донецької залізниці приймали участь в експерименті щодо відміни вагонного листа. У результаті успішно проведеного експерименту Укрзалізницею ухвалено рішення про відміну оформлення вагонного листа при перевезеннях в межах України і на експорт в «треті» країни на більшість вантажів. Ця відміна дозволила скоротити час на обробку документів як при прийманні вантажів до перевезення, так і по їх прибуттю на станцію призначення [6].

Доцільно використовувати закордонний досвід по переходу на безпаперовий документообіг при організації перевезень. В Росії з цією

метою функціонує АС ЕТРАН (Електронна ТРАНспортна Накладна) – автоматизована система централізованої підготовки та оформлення перевізних документів. Крім того, ця система вперше включає клієнта (вантажовідправника, вантажоодержувача, експедитора) у технологічний цикл приймання заявок і оформлення перевезень, забезпечує йому можливість оформлення заявки на перевезення, підготовки електронної накладної, одержання підсумкових документів, результатів розрахунків провізної плати за перевезення і відстеження ходу перевезень вантажів зі свого робочого місця [7]. Цей фактор позитивно впливає на імідж залізниці серед клієнтів.

Аналіз останніх досліджень. В травні 2007 р. ВАТ «РЗД» було розпочато експлуатацію автоматизованої системи динамічного розподілу порожніх вагонів (АС ДРПВ). Зараз в цій системі реалізовано алгоритм лише за одним критерієм оптимізації – мінімізацією відстані підсилення вагонів. Надалі планується оптимізація за такими критеріями, як вартість порожнього пробігу, номенклатура вантажу, який перевозився раніше [8].

ВАТ «Перша Вантажна Компанія» проводить випробування автоматизованої системи керування «Автоматичний Диспетчер вагонів». Ця система визначає вагон як «кандидат» для подавання під завантаження за заявкою вантажовідправника ще на початку завантаженого рейсу. Закріплення вагону за конкретною заявкою враховує багато параметрів: рід вагону, вантаж який перевозився та який планується для перевезення, та їх сумісність, надлишковий пробіг, вантажопідйомність вагону, дату подавання вагонів за заявкою. Ця система також взаємодіє із системою ЕТРАН, завдяки чому комплект електронних перевізних документів формується автоматично [9].

Основний матеріал дослідження. Для вирішення задачі регулювання парку порожніх вагонів після вивантаження в портах та залучення до перевізного процесу клієнтів пропонується застосування автоматизованого робочого місця (АРМ) диспетчера залізничних перевезень порту. Система повинна бути підключена до каналу автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці (АСК ВП УЗ), та обмінюватися з нею інформацією в режимі реального часу.

Диспетчер залізничних перевезень порту, в залежності від ситуації на навантажувально-вивантажувальних фронтах планує час закінчення вантажних операцій з вагонами, також в нього є план перевезень вантажів в напрямку порту. В залежності від поїзної ситуації він пропонує порожні вагони для забезпечення заявок відправників на перевезення. Через канал АСК ВП УЗ цю інформацію отримує диспетчер з регулювання вагонного парку (ДНЦВ) (рисунок 1).

ДНЦВ входить до структури дорожнього центру управління (ДЦУ) і взаємодіє в роботі з поїзними диспетчерами (ДНЦ), які керують перевізним процесом на відповідних ділянках мережі та контролюють роботу чергових по станціях (ДСП) своїх дільниць. При погодженні запропонованого диспетчером залізничних перевезень порту плану роботи, ДНЦВ повідомляє про це ДНЦ відповідної ділянки, який в свою чергу дає вказівку ДСП станції примикання порту. При виникненні позаштатних ситуацій в системі, диспетчер залізничних перевезень порту зв'язується з інформаційно-обчислювальним центром (ІОЦ).

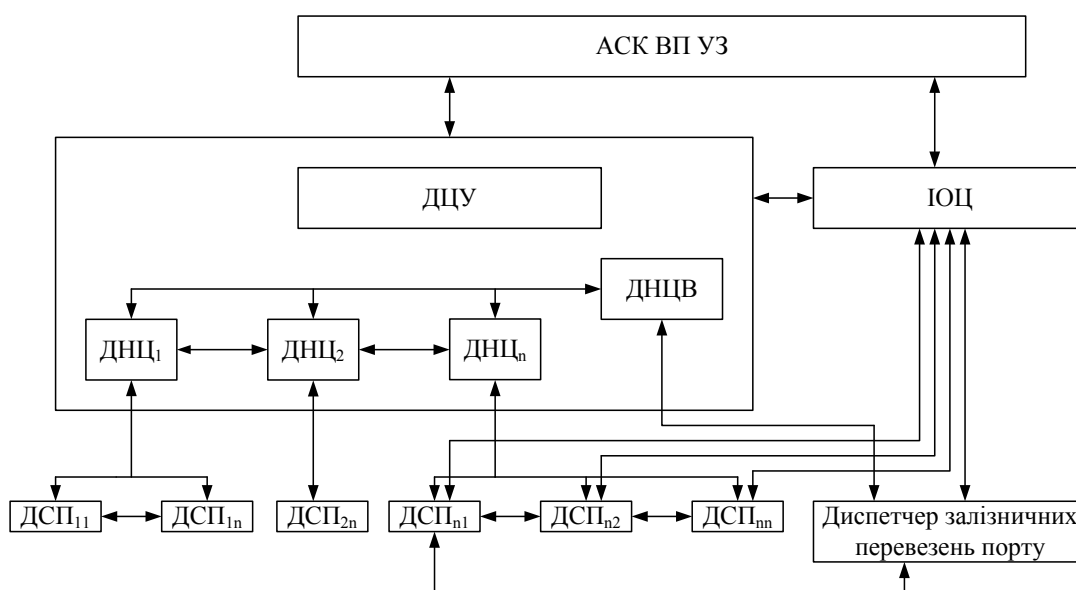


Рисунок 1 – Схема обміну оперативною інформацією при введенні в дію АРМ диспетчера залізничних перевезень порту

Система взаємодіє з користувачем у діалоговому режимі, тобто обмін інформацією здійснюється у темпі, порівняному з темпом обробки інформації людиною. Інтерфейс системи зручний та зрозумілий, рядок меню містить необхідні пункти для налаштування системи, а також пункт допомоги, з якого користувач може дізнатися про всі функції системи та порядок роботи з нею. Також для зручності користувача система виконує логічний контроль даних, які вводяться, та дозволяє повернутися до попередньої операції.

Приклад розрахунку оптимального маршруту доставки порожніх вагонів був визначений для ДП «Маріупольський морський торговельний порт» та його клієнтів, які спеціалізуються на видобутку глини кислототривкої та вогнетривкої.

Для початку розрахунку необхідно ввести попередню інформацію (рисунок 2): рід вантажу, який перевозився, рід та кількість вагонів, дата, на яку необхідно визначити наявність порожніх вагонів, кількість клієнтів, яким ці вагони мають відправлятися. В залежності від того, який вибраний рід вантажу (відповідно до ЄТСНВ), система автоматично визначає максимальну кількість клієнтів, які працюють з портом по зазначеному вантажу. Після натискання кнопки «Продовжити» користувач переходить до вікна вибору клієнтів, які мають обслуговуватися на зазначену дату (рисунок 3).



Рисунок 2 – Вікно введення попередньої інформації

В верхній частині вікна вибору клієнтів (рисунок 3), містяться «Попередні дані для розрахунків», тобто користувач може повторно перевірити правильність введених ним даних та при невідповідності зазначеного введеному натиснути кнопку «Назад», повернутися до попереднього вікна та виправити помилки. При правильності введення попередніх даних користувач переходить до «Даних про клієнтів».

В залежності від кількості введених в попередньому вікні клієнтів система формує їх перелік, після чого користувач може вибрати станцію, на якій розташований клієнт, а далі перейти до вибору клієнтів, які розташовані на цій станції (залежно від номенклатури введеного вантажу). У випадку відсутності плану на зазначену вище дату, система сигналізує



Рисунок 3 – Вікно вибору клієнтів

про це помилкою «план відсутній» поруч з назвою клієнту. У випадку вірності всіх введених даних, знизу відображається кнопка «Розрахунок», натиснувши яку користувач переходить до вікна розрахунку оптимального маршруту доставки вагонів (рисунок 4).

У верхній частині вікна розрахунку оптимального маршруту доставки вагонів (рисунок 4) наведено дані, спираючись на які система виконувала розрахунок, а далі виводяться номери порожніх вагонів, маршрут їх слідування, час та загальна вартість доставки вагонів. Система обирає тільки вагони, придатні для перевезення обраного вантажу. Далі користувач натискає кнопку «Відправити» і результати розрахунків відправляються до ДГПВ.

У випадку, коли вагони призначаються для декількох станцій, то система обирає варіант перевезення вагонів в маршруті у розпилювання (рисунок 5), або в окремих поїздах будуть слідувати вагони, в залежності від часу закінчення вантажних операцій з останнім вагоном обраної групи, а також розташування станцій. Якщо кількість порожніх вагонів перевищує склад поїзда, то система визначає, оптимальний варіант порожнім маршрутом, або групами в передавальних поїздах.

АРМ диспетчера залізничних перевезень порту

Файл Видгляд Параметри Допомога

Попередні дані для розрахунків

Розподіл: для перевезення вантажу

Кількість вагонів Дата

Клієнт станція

№ вагону	Станція відправлення	Станція призначення	Час доставки, год
Вагон 1	Маріуполь-Порт	Дружівка	Час
Вагон 2	Маріуполь-Порт	Дружівка	Час
Вагон 3	Маріуполь-Порт	Дружівка	Час
Вагон 23	Маріуполь-Порт	Дружівка	Час

Загальна вартість доставки, грн

Рисунок 4 – Вікно розрахунку

АРМ диспетчера залізничних перевезень порту

Файл Видгляд Параметри Допомога

Попередні дані для розрахунків

Розподіл: для перевезення вантажу

Кількість вагонів Дата

Клієнт станція вагонів

Клієнт станція вагонів

№ вагону	Станція відправлення	Станція призначення	Час доставки, год
Вагон 1	Маріуполь-Порт	Костянтинівка	Час ₁
Вагон 2	Маріуполь-Порт	Костянтинівка	Час ₁
Вагон 23	Маріуполь-Порт	Костянтинівка	Час ₁
Вагон 24	Маріуполь-Порт	Дружівка	Час ₂
Вагон 54	Маріуполь-Порт	Дружівка	Час ₂

Загальна вартість доставки, грн

Рисунок 5 – Вікно розрахунку при перевезенні маршрутом у розпилювання

Висновки. Рациональный розподіл порожніх вагонів під навантаження з мінімальними експлуатаційними витратами та максимальним задоволенням потреб клієнтів є однією з пріоритетних задач роботи залізниць на сучасному етапі їх роботи. Для вирішення поставленої задачі пропонується АРМ диспетчера залізничних перевезень порту, який дозволить долучити до перевізного процесу клієнтів, вибрати оптимальний варіант доставки порожніх вагонів та підбір їх під визначену номенклатуру вантажів.

Список літератури:

1. Сушарін Є. В. Формування структури інформаційно-керуючої системи залізничного транспорту незагального користування та промислових підприємств / Є.В. Сушарін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 6 – С. 8–14.
2. Чеклов В. Ф. Автоматизована система розподілу порожніх вагонів / В. Ф. Чеклов, В. М. Чеклова, О. І. Шеховцов // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2008. – № 2. – С. 13–18.
3. ЭТРАН – в портовый комплекс [Электронный ресурс] – Морские порты – 2007. – № 10. – Режим доступа: <http://www.intellex.ru/about/pressa/integraciya-sistemy-ehtran-oao-rzhd-port/>.
4. УралТрансНет: Железнодорожный транспорт универсален [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://uraltransnet.ru/pub/id/500>.
5. Хусаинов Ф. И. Повышение эффективности железнодорожных перевозок при конкуренции с автотранспортом / Ф. И. Хусаинов // Железнодорожный транспорт. – 2007. – № 1. – С. 54–56.
6. Запара В. М. Аналіз організації комерційної роботи з урахуванням використання електронного документообігу на Донецькій залізниці / В. М. Запара, О. О. Бондаренко, О. В. Кічігін // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – № 112. – С. 50–55.
7. Intellex.ru / Проекты / ЭТРАН [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.intellex.ru/projects/ehtran/>.
8. Седов О. – Борьба с издержками [Электронный ресурс] – «Открытые системы». – 2008. – № 6. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/cio/2008/06/4948441/>.
9. Компания «ИнтелЛекс» запустила в ОАО «Первая Грузовая Компания» решение для управления парком порожних вагонов, основанное на технологии ITM [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.intellex.ru/about/press-relizy/2008-09-09-itm-v-pgk/>.

РУХОМІЙ СКЛАД

УДК 629.463.65: 629.4.015

ВЫБОР КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА ВИБРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПОЛУВАГОНОВ ОТ ОСТАТКОВ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ

Корнейчук С.Г., препод. (СлавТЖТ)
Ломотько Д.В., д.т.н. проф. (УкрГАЖТ)
Романович Е.В., к.т.н., доц. (УкрГАЖТ)
Повороженко Е.В., ст. препод. (УкрГАЖТ)

Введение. Для перевозки сыпучих грузов по железной дороге наиболее часто используют полувагоны. Однако, при их разгрузке через нижние разгрузочные люки в кузове полувагона остается значительная часть груза (таблица 1).

Таблица 1 - Среднее количество остатков сыпучих грузов после открывания крышек разгрузочных люков в полувагонах

Наименование груза	Среднее количество остатков, т
1 Уголь каменный	7-12
2 Песок	15-20
3 Балласт песчано-гравийный	8-12
4 Гравий	5-7
5 Руда железная	15-20
6 Шлам	4-6

Действующие нормативы [4, 6] требуют, чтобы кузов полувагона был полностью очищен от видимых остатков перевозившегося в нем груза. Поэтому пункты выгрузки сыпучих грузов из полувагонов вынуждены осуществлять их очистку, применяя для этих целей как ручной труд, так и средства механизации.

Наиболее эффективным средством для механизированной очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов являются накладные вибраторы, которые сообщают кузову полувагона вертикальные колебания. Но многолетний опыт их эксплуатации показал, что далеко не всегда они позволяют полностью очистить полувагон от остатков груза. Поэтому возникла необходимость в усовершенствовании процесса вибрационной очистки полувагонов путем внесения определенных изменений в конструкцию применяемых для этих целей накладных вибраторов.

Основная часть. Для успешного усовершенствования процесса вибрационной очистки полувагонов с помощью накладного вибратора в первую очередь необходимо четко ответить на следующие вопросы.

а) Почему после открывания крышек люков часть груза не высыпается?

б) Что происходит с грузом в процессе вибрации?

Для ответа на поставленные вопросы воспользуемся теорией сыпучих тел, в частности теорией устойчивости откосов [2, 5, 7-12], потому, что после открывания крышек разгрузочных люков, расположенных в днище кузова полувагона, остатки груза по своей форме очень сильно напоминают откосы насыпей, выемок, котлованов и т.п. (рисунок 1).



Рисунок 1 - Форма остатков песка в полувагоне после открывания крышек люков

В общем случае условие устойчивости откоса записывается в виде

$$\tau_{\text{пр}} \geq \tau, \quad (1)$$

где τ – действующее на откос касательное напряжение, Па;
 $\tau_{\text{пр}}$ – удельное сопротивление сыпучего груза сдвигу, Па.
Удельное сопротивление груза сдвигу

$$\tau_{\text{пр}} = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + \tau_0, \quad (2)$$

где σ – давление, нормальное к поверхности сдвига, Па;
 φ – угол внутреннего трения сыпучего груза, градусов;
 τ_0 – удельное сцепление частиц груза, Па.
Удельное сцепление частиц груза зависит от целого ряда его физико-механических свойств: плотности, влажности, размера частиц, слеживаемости и т.д.

Давление, нормальное к поверхности сдвига, Па

$$\sigma = \frac{N}{F}, \quad (3)$$

где N – сила нормального давления, Н;
 F – площадь поверхности, м².
Сила нормального давления при этом, Н

$$N = m \cdot (g \pm a), \quad (4)$$

где m – масса груза, кг;
 g – ускорение свободного падения, кг;
 a – ускорение при вибрации, м/с².

Таким образом, условие обрушения призмы груза в процессе вибрационного воздействия можно записать в следующей форме

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{m \cdot (g \pm a)}{F} \cdot \operatorname{tg} \varphi + \tau_0 < \tau. \quad (5)$$

В случае действия вертикальной вибрации вынуждающая сила уменьшает первое слагаемое формулы (5).

Ряд грузов, например щебень, имеет незначительную величину удельного сцепления частиц τ_0 и в процессе вибрации начинают вести себя

почти как идеально сыпучее тело, у которого $\tau_0 \approx 0$. Тогда условие обрушения призмы груза в процессе вибрационного воздействия примет вид

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{m \cdot (g \pm a)}{F} \cdot \operatorname{tg} \varphi < \tau. \quad (6)$$

В этом случае количество груза, оставшегося в кузове полувагона после виброочистки, будет минимально (рисунок 2).



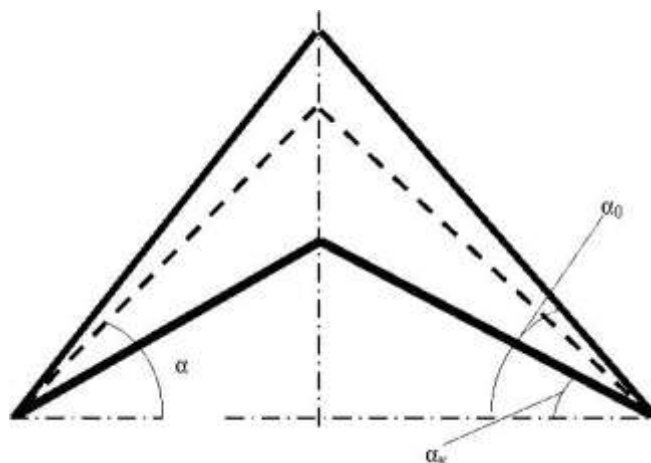
Рисунок 2 - Остатки щебня после вибрационной обработки полувагона

Ряд других грузов, например формовочная смесь, имеет весьма значительное удельное сцепление частиц τ_0 , значение которого может многократно превосходить значение первого слагаемого формулы (2), что дает нам право считать $\frac{m \cdot (g \pm a)}{F} \cdot \operatorname{tg} \varphi \approx 0$. Тогда справедливой можно считать запись $\tau_{\text{пр}} \approx \tau_0$. В этом случае вибрация весьма незначительно влияет на условие обрушения призмы груза и количество остатков груза в кузове полувагона после виброочистки будет значительным (рисунок 3).



Рисунок 3 - Остатки формовочной смеси после вибрационной обработки полувагона

Из сказанного выше следует, что остатки груза, находящиеся на элементах кузова полувагона после открывания разгрузочных люков, до приложения вибрации к полувагону, находятся в состоянии равновесия (1). Приложение вибрации нарушает это равновесие, что и приводит к обрушению призмы остатков груза и высыпанию их из полувагона. Обрушение призмы остатков приводит к постепенному уменьшению угла откоса остатков груза α до значения, равного углу наклона крышки люка к горизонту α_k . (рисунок 4).



α_0 – угол откоса груза до вибрации, град.; α – угол откоса груза в процессе вибрации, град.; α_k – угол наклона крышки люка к горизонту.

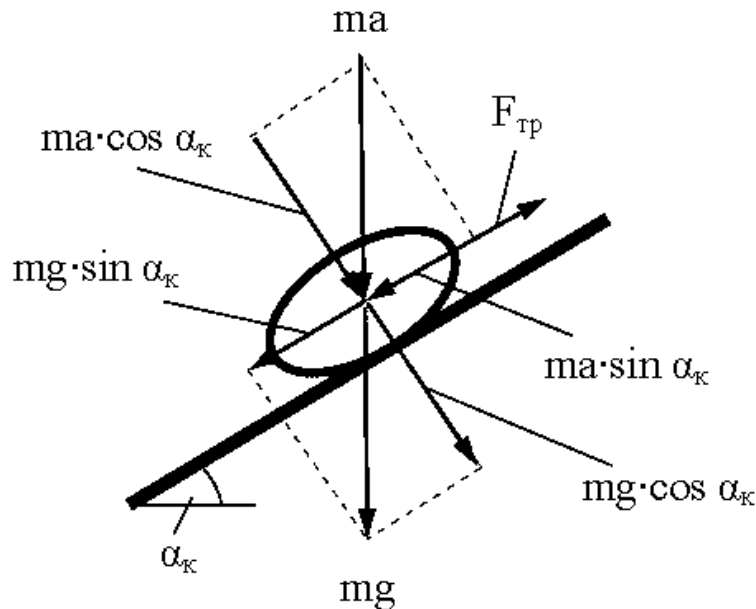
Рисунок 4 – Изменение угла откоса груза в процессе вибрационной очистки полувагона.

Очевидно, что чем меньше высота призмы груза, тем более устойчивой к сдвигу она будет. В итоге слой остатков груза в кузове полувагона окажется настолько мал, что это дает нам право говорить не об условии обрушения призмы груза, а об условии схода частицы груза с крышки разгрузочного люка в условиях вертикальных колебаний. Именно такой случай был в свое время рассмотрен такими известными учеными, как В.Н. Стоговым, И.П.Кривцовым, В.А. Мироненко и другими.

Слой груза на крышке люка мал, и потому можно утверждать, что угол наклона призмы груза к горизонту α будет равен углу наклона крышки люка к горизонту α_k

$$\alpha \approx \alpha_k. \quad (7)$$

Схема сил, действующих на частицу груза, расположенную на наклонной крышке разгрузочного люка полувагона, в условиях вертикальной вибрации, приведена на рисунке 5.



m - масса частицы груза; a - ускорение кузова полувагона, сообщаемое ему вибромашиной; α_k - угол наклона крышки люка к горизонту; g - ускорение свободного падения; $F_{тр}$ - сила трения частицы груза по крышке люка.

Рисунок 5 - Схема сил, действующих на частицу груза
в условиях вертикальной вибрации

Условие схода частицы груза с наклонной крышки люка можно записать в следующем виде

$$mg \cdot \sin \alpha_k \pm ma \cdot \sin \alpha_k > F_{тр}. \quad (8)$$

Сила трения груза по крышке люка, Н

$$F_{\text{тр}} = f \cdot mg \cdot \cos \alpha_k \pm f \cdot ma \cdot \cos \alpha_k, \quad (9)$$

где f - коэффициент трения частицы груза по крышке люка.
Подставив полученное выражение в формулу (8), получим

$$mg \cdot \sin \alpha_k \pm ma \cdot \sin \alpha_k = f \cdot mg \cdot \cos \alpha_k \pm f \cdot ma \cdot \cos \alpha_k. \quad (10)$$

Отсюда

$$f = \operatorname{tg} \alpha_k. \quad (11)$$

Следовательно, при вертикальных колебаниях и небольшом количестве остатков груза в кузове полувагона эффекта очистки практически нет.

Приведенные выше теоретические выкладки дают ответ на вопрос, почему при работе накладных вибраторов в кузове полувагона практически всегда остаются остатки груза. Выражение (11) целиком согласуется с теорией устойчивости откосов [2, 5, 7-12] и выводом к рисунку 4. Отсюда можно предположить, что зависимость устойчивости призмы груза к сдвигу от времени будет носить экспоненциальный характер, а значит и график изменения количества остатков груза в кузове полувагона времени виброочистки будет иметь следующий вид (рисунок 6)

$$\tau_{\text{пр}} = f(e^{A \cdot t}), \quad (12)$$

где A – коэффициент пропорциональности.

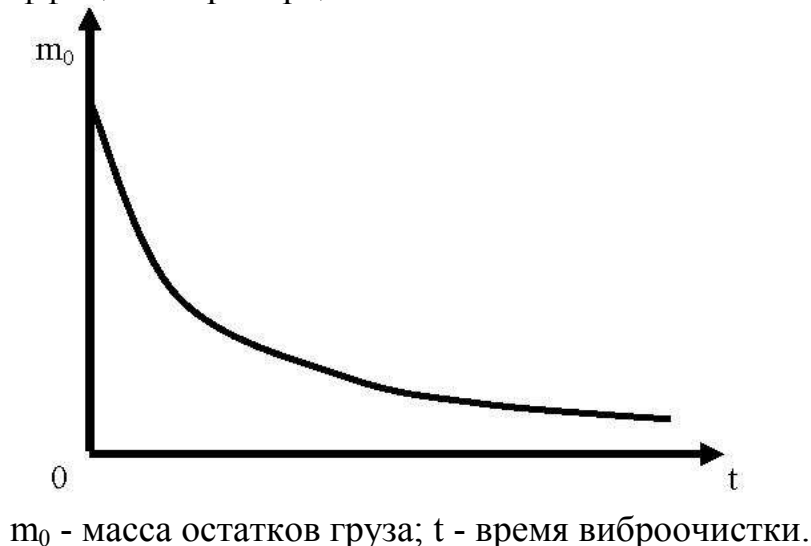


Рисунок 6 – График изменения остатков груза в кузове полувагона от времени виброочистки

Выводы. Из всего сказанного выше можно сделать следующие выводы. Количество остатков груза в кузове полувагона в процессе его обработки накладным вибратором для большинства сыпучих грузов напрямую зависит от величины ускорения, сообщаемого вибратором кузову полувагона. Поэтому, в качестве критерия качества очистки полувагона накладным вибратором будет удобно воспользоваться максимальным значением ускорения, сообщаемого кузову полувагона этим вибратором.

При использовании накладных вибраторов для очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов будет нецелесообразным пытаться полностью удалить остатки груза из полувагона: на это уйдет слишком много времени, средств, а также может привести к повреждению кузова полувагона. Стоит задуматься о том, как быстрее освободить кузов полувагона от подавляющего количества этих остатков, а оставшуюся их часть удалять другим, более эффективным способом.

Литература

- 1 Бабаков И. М. Теория колебаний : учеб. пособие /И. М. Бабаков. -4-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2004. - 591 с.
- 2 Безухов Н.И. Теория сыпучих тел. Изд. 3-е, перераб. и доп. -М.: Госстройиздат, 1934. - 113 с.
- 3 Вибрационные устройства для очистки полувагонов /Мироненко В.А., Романович Е.В. //Залізничний транспорт України. -1998.№4-5. –С.34-35.
- 4 ГОСТ 22235-76 Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. –М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.
- 5 Зенков Р.Л., Гриневич Г.П., Исаев В.С. Бункерные устройства. -М.: Машиностроение, 1977. -225 с.
- 6 Изменения и дополнения к межгосударственному стандарту (ГОСТ 22235-76) по сохранности грузовых вагонов /Г.К.Сендеров, А.П.Ступин, С.А.Другаль, Е.А.Поздина //Ж.-д. трансп. Сер. Вагоны и вагонное хозяйство: ЭИ /ЦНИИТЭИ МПС, 1999. -Вып.3. -С.1-32.
- 7 Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. Изд. 2-е, перераб. и доп. -М.: Стройиздат, 1977. -256 с.
- 8 Леденев, В.В. Расчет и конструирование специальных инженерных сооружений : учебное пособие / В.В. Леденев, В.Г. Однолько, А.В. Худяков. - Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. - 128 с.
- 9 Основания, фундаменты и подземные сооружения /М.И.Горбунов-Посадов, В.А.Ильичев, В.И.Крутов и др.; Под общ. ред. Е.А.Сорочана и Ю.Г.Трофименкова. -М.: Стройиздат, 1985. -480 с.
- 10 Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. Изд. 3-е, перераб. и доп. -М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. -241 с.
- 11 Соколовский В.В. Теория пластичности. -М.: Высшая школа, 1969. -608 с.
- 12 Ухов Б.С. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник. -М.: АСВ, 1994. -527 с.

УДК 53.697.5

Бондарь Е.А., зав.лаб. (ДонИЖТ)

СОВМЕЩЕННЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕОСТАТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ

Постановка вопроса. Эффективность диагностирования тепловозов определяется длительностью и расходами ресурсов на проведение испытаний. Настоящее время требует изменения технологии проведения реостатных испытаний из последовательного на совместное.

Периодические реостатные испытания тепловозов выполняются после текущих ремонтов и в случае замены наиболее ответственных узлов или агрегатов, а также при неплановом ремонте каждого тепловоза с целью контроля качества выполнения ремонта и проведения наладочных работ по всему оборудованию дизеля [1].

Периодические экологические испытания тепловозов проводятся в установленные периоды в течение срока эксплуатации каждого тепловоза с целью определения удельных выбросов загрязняющих веществ, которые содержатся в отработавших газах дизелей тепловозов. По результатам испытательного цикла складывается Экологический паспорт дизеля, который действует «...до проведения очередного текущего или капитального ремонта, а также непланового ремонта, который нуждается в реостатных испытаниях» согласно положений нормативного документа [2].

Таким образом оба вида испытаний проводят при одной постановке тепловоза на диагностирование, кроме того они проводятся по одинаковой технологии, которая включает в себе режимы: предварительный прогрев дизеля, 1-й – холостой ход, 2-й, – 25% от $N_e(nom)$, 3-й – 50% от $N_e(nom)$, 4-й – 75% от $N_e(nom)$ и 5-й - $N_e(nom)$.

Цель работы. Целью работы является разработка технологии совместных технологических и экологических испытаний, обеспечивающая уменьшение общего времени проведения испытаний и снижение расхода топлива.

Основная часть. Реостатные испытания тепловозов проводят в два цикла: обкаточный и сдаточный. При обкаточных испытаниях проводят наладку и регулировку оборудования тепловоза. После окончания этого вида работ проводят сдаточный цикл, при котором не допускаются остановки в работе дизеля. Такая подготовка тепловоза удовлетворяет

требованиям для проведения экологических испытаний [3], что и позволяет установить совмещение сдаточных и экологических испытаний. При этом длительность сдаточного цикла составляет один час [1], а длительность экологических испытаний определяется из условия проведения не менее 3-х измерений через 50-60 сек, при наличии предварительной работы тепловоза в неизменном режиме в течении 5 минут. Учитывая, что необходимо принимать и предавать команды на изменение режима испытаний, для этого затрачивается время 50-60 сек. Тогда общее время на одном режиме составит

$$\Delta\tau = 5 + 3 \times 1 + 1 = 9 \text{ мин}$$

Для определения уменьшения времени и расхода топлива при совмещенных технико-экологических реостатных испытаниях приведем расчет времени при их раздельном проведении. Результаты расчетов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Расчет времени и расхода топлива при сдаточных испытаниях тепловоза 2ТЭ116.

Поз.	Удельный расход, кг/кВт час	Рабочий режим			Аварийный режим		
		Мощность кВт	Время, мин	Расход, кг	Мощность, кВт	Время, мин	Расход, кг
0	0,25	0	1	0,25	0	1	0,25
1	0,27	130	2	1,17	90	1	0,4
2	0,258	280	2	2,5	125	1	0,56
3	0,243	370	2	3,02	190	1	0,78
4	0,24	450	2	3,6	270	1	1,08
5	0,235	550	2	4,3	360	1	1,41
6	0,232	650	2	5,02	450	1	1,74
7	0,224	800	2	5,97	550	1	2,05
8	0,218	945	2	6,87	660	1	2,40
9	0,217	1100	2	7,96	790	1	2,86
10	0,215	1260	2	9,03	930	1	3,33
11	0,214	1380	2	9,84	1050	1	3,75
12	0,213	1510	2	10,72	1170	1	4,15
13	0,212	1630	2	11,52	1330	1	4,70
14	0,212	1720	2	12,15	1520	1	5,37
15	0,215	1920	12	82,5	1800	1	6,45
0	0,25	0	2	0,5	0	1	0,25
Сум.			43	176,99		17	41,02

Таблица 2. Расчет времени и расхода топлива при экологических испытаниях тепловоза 2ТЭ116.

Позиция контроллера	Удельный расход, кг/кВт час	Экологические испытания		
		Мощность кВт	Время, мин	Расход, кг
0	0,25	0	9	2,25
5	0,235	550	9	19,39
9	0,217	1100	9	35,80
13	0,212	1630	9	51,83
15	0,215	1920	9	61,92
0	0,25	0	2	0,5
Сумма			47	171,19

Из таблиц 1 и 2 следует, что суммарное время последовательного выполнения испытаний составит $43 + 45 = 88$ мин. Суммарный расход топлива на рабочем режиме сдаточного цикла и экологических испытаний $176,99 + 171,19 = 348,18$ кг.

При удовлетворении всех требований к испытаниям возможно проведение совместных испытаний при рабочем режиме сдаточного цикла. Результаты расчетов сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Расчет времени и расхода топлива при совмещенных испытаниях тепловоза 2ТЭ116.

Позиция контроллера	Удельный расход, кг/кВт час	Совмещенные испытания		
		Мощность кВт	Время, мин	Расход, кг
1	2	3	4	5
0	0,25	0	9	2,25
1	0,27	130	2	1,17
2	0,258	280	2	3,3
3	0,243	370	2	3,02
4	0,24	450	2	3,6
5	0,235	550	9	19,39
6	0,232	650	2	5,02
7	0,224	800	2	5,97
8	0,218	945	2	6,87
9	0,217	1100	9	35,8
10	0,215	1260	2	9,03
11	0,214	1380	2	9,84
12	0,213	1510	2	10,72

Продолжение таблицы 3

13	0,212	1630	9	51,83
14	0,212	1720	2	12,15
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
15	0,215	1920	12	82,56
0	0,25	0	2	0,5
Сумма			72	262,23

Сравнение данных таблиц 1,2 и 3 показывает, что при совмещенных испытаниях общее время уменьшается на $88 - 72 = 16$ мин. Расход топлива уменьшается на $348,18 - 262,23 = 85,95$ кг.

Выводы. При совмещенных технико-экологических испытаниях по сравнению с их отдельным проведением время испытаний уменьшается на 16 мин, а расход топлива уменьшается на 86 кг.

Список литературы

1. ЦТ-0043 Правила технічного обслуговування і поточних ремонтів тепловозів 2ТЭ116. – Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», - 2002. – 323 с.
2. ВНД 32.0.06.001-99. Пункти екологічного контролю викидів забруднюючих речовин від тепловозних дизелів. – К.: Держстандарт України, 1999. – 27 с.
3. ГСТУ 32.001- 94 Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення. - К.: Держстандарт України, 1994. – 14 с.

УДК 621.332.3

*Мямлін С.В., д.т.н., професор (ДНУЗТ ім. В. Лазаряна)
Барановський Д.М., к.т.н., доцент (КНУ ім. М. Остроградського)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДИЗЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО САМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗНИЦЬ

Вступ. Спеціальний самохідний рухомий склад (ССРС) займає одне з головних місць на залізниці, який постійно повинен бути у готовності [1]. Для забезпечення останнього необхідно мати високі показники надійності і довговічності їх дизелів, на які, значний вплив здійснюють процеси зношування його основних деталей та трибосистем (ТС).

Дизелі мають особливе місце в сукупності відмов ССРС залізниць. Дослідження [2-4] надійності та довговічності агрегатів сучасного ССРС показує, що в середньому 34...47% відмов приходить на дизель, 7...19% – на трансмісію, 6...19% – на ходову частину, 5...18% – на електрообладнання, 8...19% – на гідروобладнання, 5...15% – на пневмосистеми, 7...24% – робоче (навісне) обладнання. Значний діапазон даних по відмовам пояснюється різним призначенням та областю використання ССРС залізниць.

Відомо [4-6], що ССРС залізниць експлуатується переважно в надважких умовах зі змінною питомою потужністю, яка підвищує теплове і механічне навантаження на деталі циліндро-поршневої групи (ЦПГ), що призводить до таких негативних наслідків, як зниження задиро- і зносостійкості робочих поверхонь ТС в період обкатки та експлуатації дизелів; збільшення механічних втрат в ТС, і як наслідок, зростання витрат пального та оливи на угар; підвищення прориву газів в картер; зменшення терміну експлуатації дизелів, а отже і до зниження їх ресурсу та довговічності.

Процес зношування ТС дизелів звичайно відбувається в три стадії [5]. На першій стадії здійснюється припрацювання, що займає невеликий відрізок часу, при цьому спостерігається нестационарний режим зносу з високою, але поступово затухаючою швидкістю зношування. Друга стадія є найтривалішою, відбувається стабілізація процесу зношування, швидкість зношування невелика і приблизно однакова. Ця ділянка характеризує нормальну роботу вузла після припрацювання. Третя – стадія інтенсивного зношування всіх елементів та деталей ТС.

Аналіз попередніх досліджень. Довговічність та безвідмовність дизелів ССРС пов'язані між собою та виступають невід'ємними показниками надійності. Накопичення пошкоджень у деталях та вузлах дизелів підвищує ймовірність настання відмов та знижує довговічність. При цьому, поточні відмови дизелів поступово переходять у ресурсні відмови, при яких дизелі досягають граничного стану [5, 7-9].

Розгляд впливу чинників поточних та ресурсних відмов дизелів дозволяє обґрунтувати та розробити ефективні заходи та засоби, які будуть сприяти підвищенню рівня довговічності дизелів.

Основний вплив чинників на відмови дизелів здійснюють такі фізико-хімічні процеси [2, 9-10]: зноси трибосистем (ТС); старіння матеріалів деталей та їх руйнування при різному, включаючи нестационарне, тепломеханічному навантаженні; кавітація; нагаро- та коксоутворення; а також невід'ємні конструкційні, технологічні та експлуатаційні похибки.

Для кожної поточної та ресурсної відмов можна встановити відповідні критерії та ознаки її прояву.

У міру зростання напрацювання деталей дизелів спеціального самохідного рухомого складу (ССРС) залізниць, безперервно відбуваються зміни їх технічного стану [2-4], пов'язані із процесами зношування, корозії, накопичення втоми, деформацій, забруднення та ін. Ці процеси мають необоротний характер: знижується або втрачається працездатність ССРС у результаті зносу деталей.

Поточні та ресурсні відмови дизелів ССРС залізниць обумовлюють їх нездатність виконувати задані функції. При цьому відбувається зупинка ССРС для ремонту і регулювання.

Реалізація технологічних операцій колійного та енергогосподарств залізниці відбувається при роботі дизелів ССРС на режимах середнього і найбільшого навантаження – в межах від граничної потужності до найбільшого крутного моменту, що створює максимальні механічні та теплові навантаження на їх деталі [9].

Найбільш значимими факторами, що дозволяють більш повно використати запланований ресурс дизеля, при нормальній його експлуатації є неприпустимість перегрівів, своєчасна заміна масла, справність повітряних, оливних та паливних фільтрів, застосування якісних паливно-мастильних матеріалів та ін.

Головною і постійно діючою причиною зміни технічного стану дизелів є зношування його деталей. Примітною особливістю його деталей при експлуатації є одночасна дія різних видів зношування, співвідношення яких залежать від конструкції дизеля, технології виготовлення деталей, якості вживаних експлуатаційних матеріалів, зовнішніх умов [2-6].

Метою роботи є дослідження довговічності дизелів ССРС в умовах експлуатації залізниць.

Результати досліджень. У загальному випадку розподіл ресурсу всіх дизелів ССРС залізниць, що експлуатувались в умовах робіт колійного господарства та енергопостачання для нормального закону розподілу можна навести наступним чином (рисунок 1).

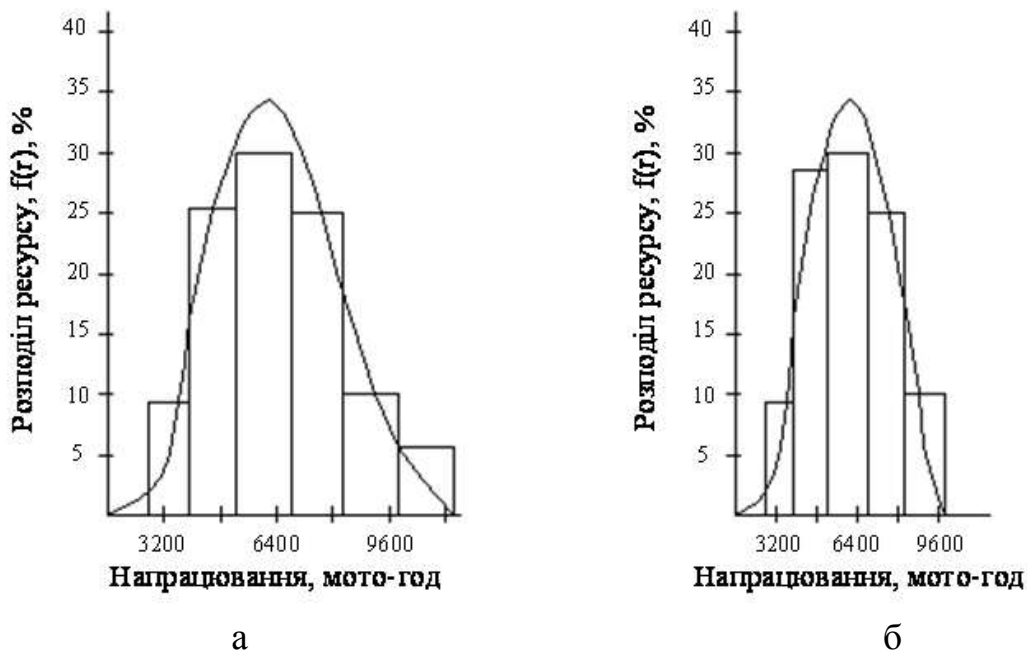


Рисунок 1.- Розподіл ресурсу дизелів ССРС залізниць за нормальним законом розподілення в умовах роботи дистанції енергопостачання (а) та колійного господарства (б)

Напрацювання на відмову для різних систем, вузлів та деталей дизелів неоднакове, що можна пояснити своєрідним призначенням, відмінністю конструктивних елементів, використаними матеріалами, технологією виробництва, різними умовами роботи, видами та об'ємом технічних дій. Крім того існує дуже складний взаємовплив елементів дизелів на надійність та довговічність кожного з них.

Статистичні дослідження середнього ресурсу дизелів ССРС залізниць до капітального ремонту (КР), інформація про які була зібрана на Одеській залізниці вказують на розкид значень і невідповідність назначеному ресурсу (рисунок 2, таблиця 1).

Таблиця 1.-Середній ресурс дизелів до КР

ССРС	Вимоги до напрацювання до КР, мото-год	Експлуатаційне напрацювання до КР, мото-год	Середньоквадратичне відхилення напрацювання, мото-год
АДМ	10000	9700	628
ДГКу-5	10000	9300	357
МПТ-4	10000	9800	584
ВПр-02	10000	9750	552

Проведені дослідження щодо напрацювань дизелів ССРС залізниць надали можливість побудувати залежності розподілу середнього ресурсу до КР в умовах різних господарств (рисунок 3).

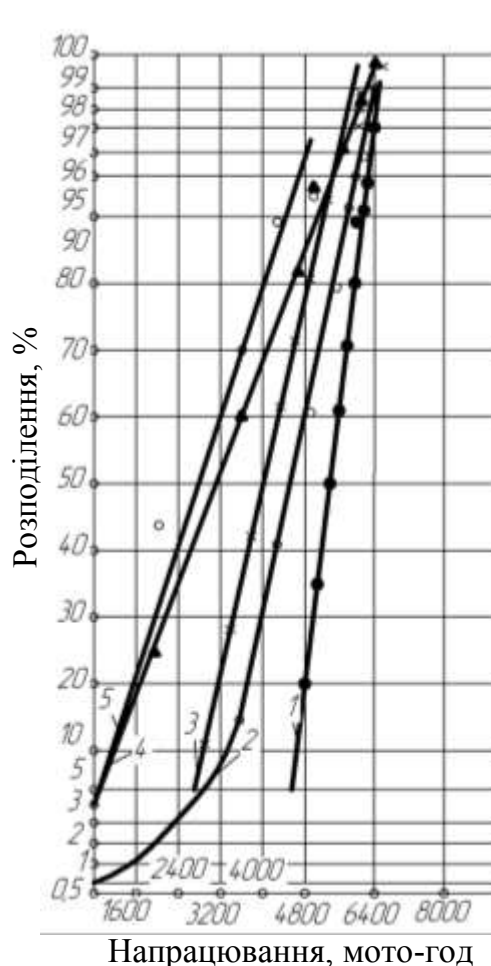


Рисунок 2. Розподіл виходу дизелів ССРС залізниць у перший КР, які встановлені на:

1 – АДМ; 2 – ДГКу-5; 3 – МПТ-4; 4 – ВПр-02; 5 – АГМу

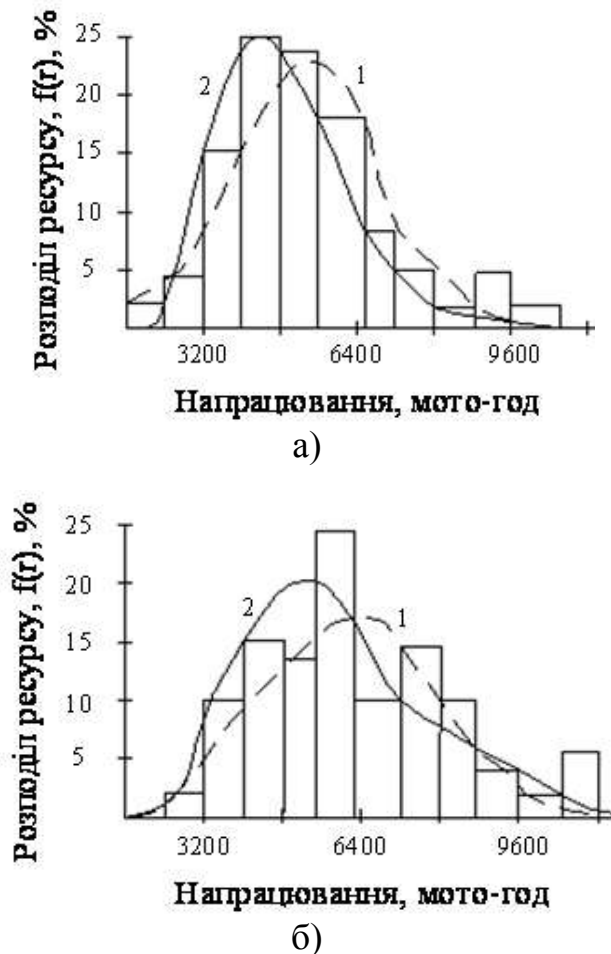


Рисунок 3. Розподіл середнього ресурсу до КР дизелів ССРС залізниць в умовах роботи колійного господарства (а) та дистанції енергопостачання (б) при:
1 – нормальному розподіленні;
2 – логарифмічно-нормальному розподіленні

Графічні зображення (рисунок 2, 3) вказують на те, що дизелі ССРС надходять у перший КР раніше запланованого експлуатаційного значення напрацювання.

Середній ремонтний ресурс дизелів ССРС залізниць складає більшу невідповідність вимогам експлуатаційної системи технічного обслуговування та ремонту (ТОР) (таблиця 2), оскільки навантажувально-швидкісний режим за останнє десятиріччя на Укрзалізниці суттєво зріс.

Статистичний розкид значень середнього ремонтного ресурсу дизелів ССРС залізниць менше в порівнянні з ресурсом до першого КР. Також, для двох законів розподілу побудовано розподіл середнього ремонтного ресурсу дизелів для різних умов роботи (рисунок 4).

Таблиця 2.-Середній ремонтний ресурс дизелів ССРС залізниць

ССРС	Експлуатаційне напрацювання між КР, мото-год	Середньоквадратичне відхилення напрацювання, мото-год
АДМ	8800	428
ДГКу-5	7850	287
МПТ-4	9050	431
ВПр-02	8950	384

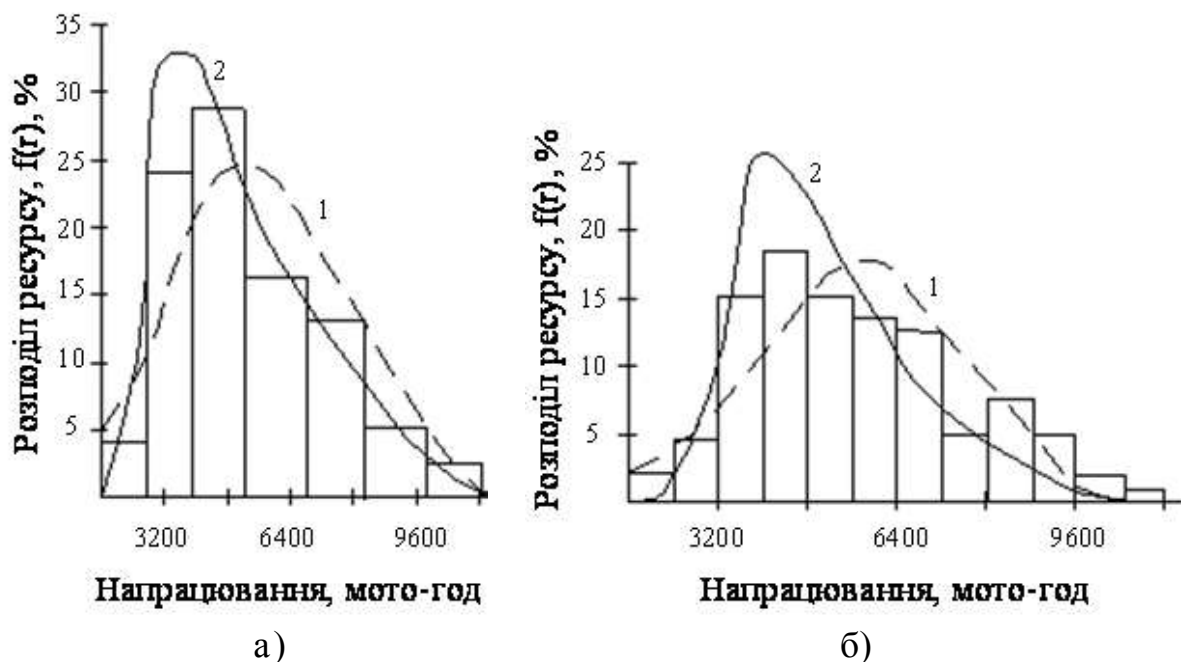


Рисунок 4. Розподіл середнього ремонтного ресурсу дизелів ССРС залізниць в умовах роботи колійного господарства (а) та дистанції енергопостачання (б) при: 1 – нормальному розподіленні; 2 – логарифмічно-нормальному розподіленні

Якість та своєчасність виконання технічного обслуговування (ТО) дизелів має значний вплив на довговічність. Якісно виконані дії ТО дизелів забезпечують підвищення ресурсу на 1...15%, а взагалі при індивідуальному підході до системи ТОР можна досягти підвищення ресурсу до 40%.

Зміна навантажувально-швидкісного режиму роботи ССРС залізниць в умовах колійного та енергогосподарств призводить до поточних відмов та до зниження величини напрацювання до КР. Така зміна характерна для ССРС, оскільки виконуються різні види робіт на протязі доби. Також проявляються часті й різкі зміни режимів у широких діапазонах та їх неусталений характер під час експлуатації, сукупності яких формують перехідні процеси.

Висновки. Проведені дослідження стану питання довговічності дизелів ССРС в умовах експлуатації залізниць дозволяють зробити наступні висновки. Міжремонтний ресурс дизелів в умовах підвищеного навантажувально-швидкісного режиму за останнє десятиріччя складає більшу невідповідність вимогам експлуатаційної системи ТОР. Крім того, значно підвищується швидкість зносу основних елементів і деталей сполучених ТС дизелів, а кількість видів зносу ТС істотно впливає на їх довговічність. Тому, виникає необхідність у розробці та застосуванні нових технологій зміцнення чи модифікації сполучених поверхонь ТС дизелів і перегляду термінів проведення ТОР для підвищення їх довговічності.

Список літератури

1. Мямлин С.В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. – Д.: Новая идеология, 2002. – 240 с.
2. Барановський Д.М. Проблема довговічності дизелів засобів транспорту // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Вип. 5/2009 (58) ч. 1. – С. 96-99.
3. Гаркунов Д.Н. Долговечность трущихся деталей машин / Гаркунов Д.Н. – М., 1987. – 424 с.
4. Канарчук В.Е. Долговечность и износ двигателей при динамических режимах работы / Канарчук В.Е. – К.: Наукова думка, 1978. – 256 с.
5. Волошкин Н.П., Попов В.Я., Тартаковский И.Б. Капитальный ремонт быстроходных дизелей. – М.: Машиностроение, 1971. – 479 с.
6. Гурвич И.Б. Износ и долговечность двигателей. – Горький: Волгоятское изд-во, 1970. – 176 с.
7. Анілович В.Я. Надійність машин в завданнях та прикладах: навчальний посібник / Анілович В.Я., Грінченко А.С., Литвиненко В.Л. / За редакцією В.Я. Аніловича – Харків: Око, 2001. – 320 с.
8. Биргер И.А. Техническая диагностика / Биргер И. А. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
9. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / Болотин В.В. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
10. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций / Болотин В.В. – М.: Машиностроение, 1980. – 448 с.

УДК 629.423: 621.313

*Рябов Е.С.(НТУ «ХПИ»)
Любарский Б.Г. (НТУ «ХПИ»)*

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЯГОВОГО БЕЗРЕДУКТОРНОГО ПРИВОДА НА ОСНОВЕ ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ С АКСИАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ

Разработка нового подвижного состава требует углубленного изучения динамических процессов в электрической системе и механической части, выявления их взаимного влияния, изучения влияния внешних воздействий на характер протекания и качественные показатели процессов, происходящих в них. Поскольку экспериментальные исследования, во-первых, увеличивают финансовые затраты и сроки разработки, и, во-вторых, не позволяют провести всеобъемлющие исследования, а традиционные методы проектирования и исследования в ряде случаев не эффективны, наиболее целесообразным представляется использование математического моделирования [1]. В частности, такой подход необходим при использовании для подвижного состава тяговых приводов нового типа, содержащих нетрадиционные для тяги электрические машины и соответствующие им полупроводниковые преобразователи. Подходящим инструментарием для изучения динамики тяговых приводов, на наш взгляд, является имитационное моделирование [2].

Цель статьи: разработать имитационную модель тягового безредукторного привода на основе индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком. Принципиальная схема силовых цепей рассматриваемого привода показана на рисунке 1. для создания имитационной модели нами принята среда визуального программирования Simulink, предоставляющая широчайшие возможности для моделирования электроприводов [3,4].

Как известно, в электроприводе выделяют четыре звена: двигатель, преобразователь, механическую часть и систему управления. Рассмотрим имитационные модели каждой из них, т.к. в виду сложности имитационная модель всего привода создана с использованием подсистем.

Simulink–модель привода на основе АИД показана на рисунке 2. Она состоит из подсистемы инвертора напряжения, подсистемы АИД, подсистемы системы управления и подсистемы механической части, представленной в виде одномассовой системы и введенной в подсистему АИД. Также в моделях присутствуют регистраторы сигналов и задающие устройства.

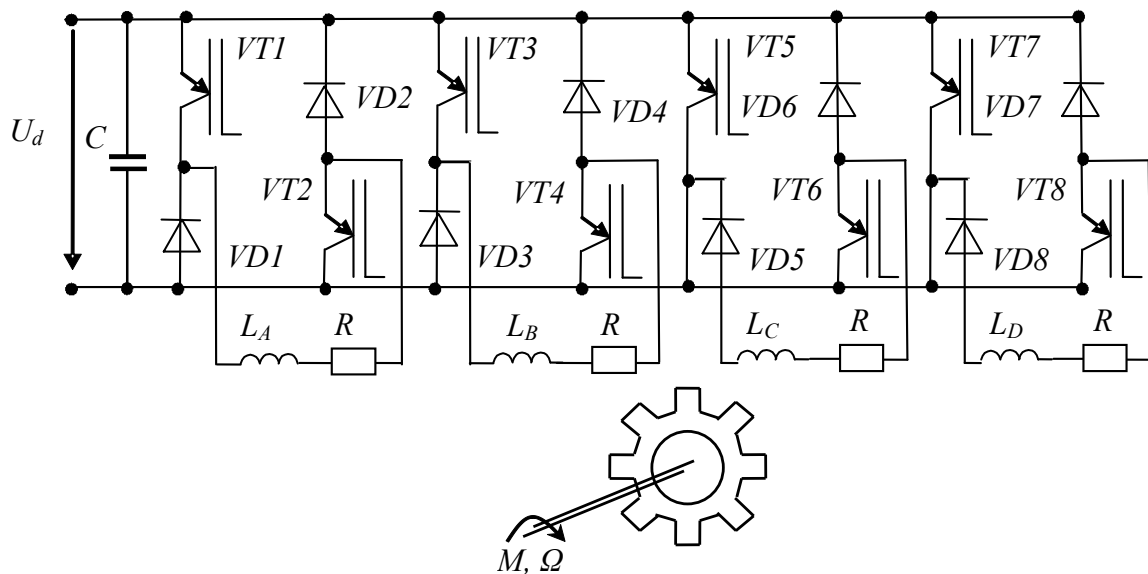


Рисунок 1. - Принципиальная схема силовых цепей:

U_d – напряжение звена постоянного тока, C – ёмкость фильтра, $VT1$ - $VT8$ – IGBT-транзисторы, $VD1$ - $VD8$ – диоды, L_A, L_B, L_C, L_D – индуктивности фаз, R – омическое сопротивление фаз, M – электромагнитный момент, Ω – угловая частота вращения ротора .

Simulink–модель инвертора напряжения показана на рисунке 3. При её создании использовались элементы пакета SimPowerSystem. Здесь «собрана» электрическая схема инвертора напряжения. Параметры полупроводниковых приборов берутся из данных каталогов производителей.

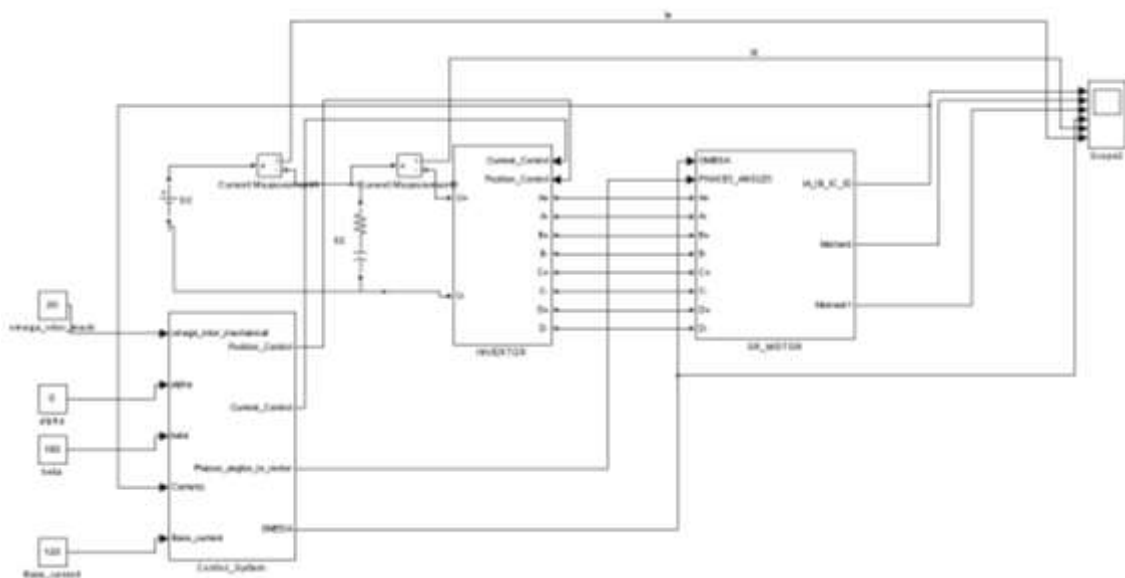


Рисунок 2. - Simulinkмодель привода на основе АИД

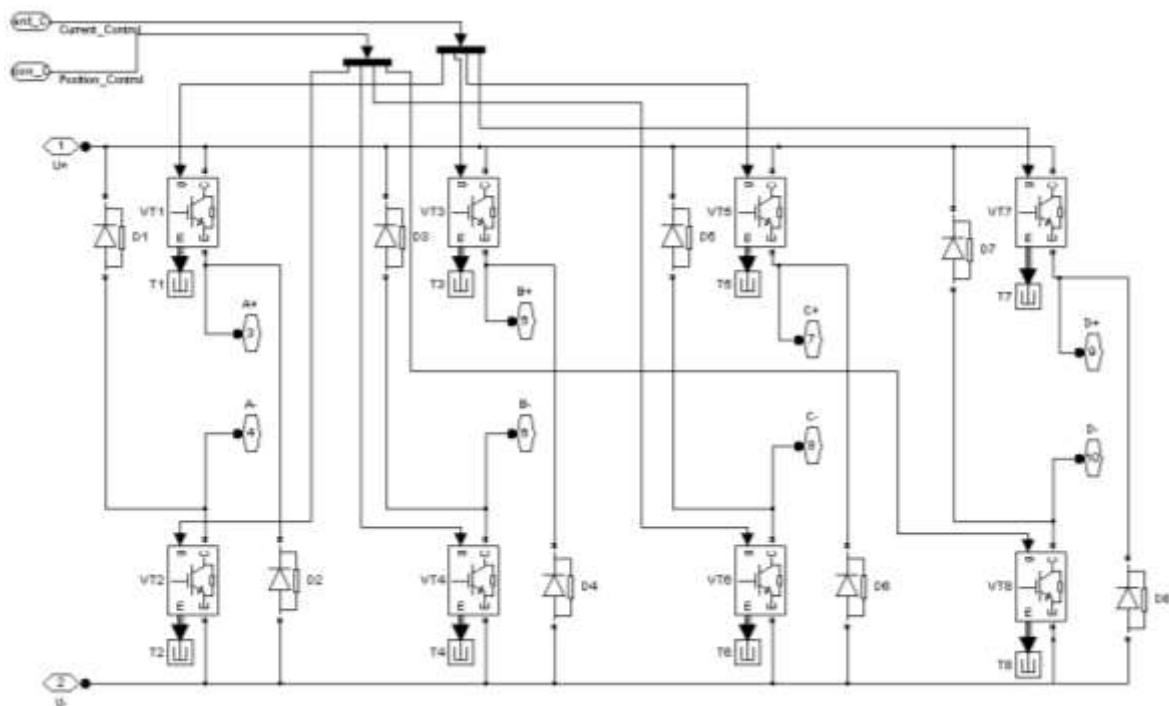


Рисунок 3. - Simulink–модель инвертора напряжения

На рисунке 4 приведена модель системы управления. Эта модель «собрана» из элементов пакета Simulink и отображает логику функционирования без привязки к электрической схеме системы управления.

При создании модели АИД предлагается использовать структурное моделирование. Для этого сначала разработаем математическую модель АИД.

Математическая модель АИД состоит из уравнений, составленных для электрических контуров, уравнений, определяющих электромагнитные связи в двигателе и уравнений движения ротора:

$$\begin{cases} u_x = i_x R + \frac{d\Psi_x}{dt} \\ \Psi_x = \Psi(i_x, \gamma_x) \\ J \frac{d\Omega}{dt} = M_{\partial\partial} - M_c \\ \Omega = \frac{d\gamma}{dt} \end{cases} \quad (1)$$

где u_x –напряжение, приложенного к обмотке фазы с индексом x ; i_x – фазный ток; R – электрическое сопротивление фазы (принимается равным для всех фаз); $\Psi_x = \Psi(i_x, \gamma_x)$ – потокосцепление фазы, J – приведенный момент инерции

ротора; Ω – угловая частота вращения ротора; $M_{\text{ов}} = \sum_{x=1}^m M_x(i_x, \gamma_x)$ – момент на валу (принимаем равным электромагнитному моменту); $M_x(i_x, \gamma_x)$ – момент, развиваемый фазой с индексом x ; M_c – момент сопротивления; γ – геометрический угол поворота ротора. Здесь x принимает значения A, B, C, D .

При составлении модели приняты такие допущения: гистерезис и вихревые токи не учитываются, магнитные системы фаз идентичны.

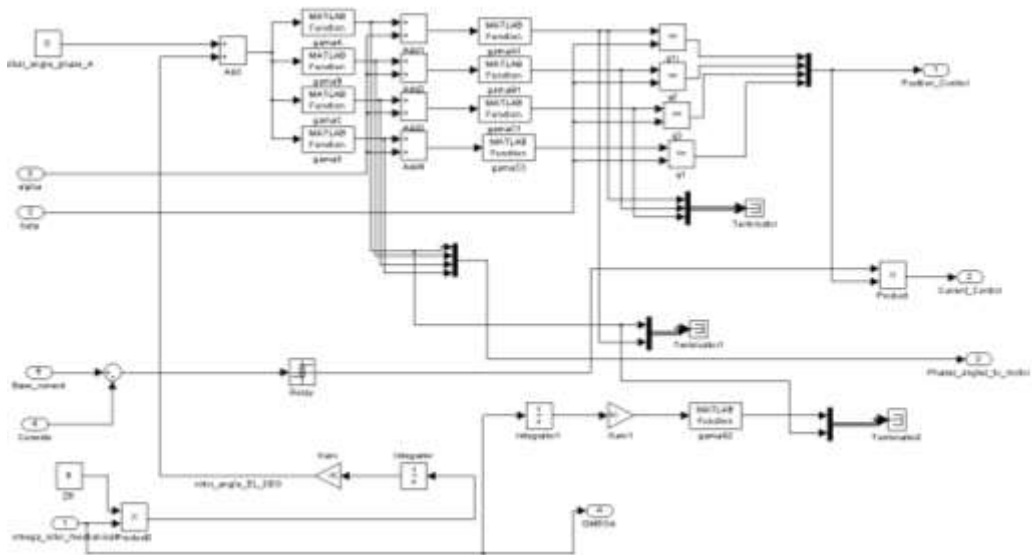


Рисунок 4. - Simulink–модель системы управления

На рисунке 5 приведена схема замещения фазы.

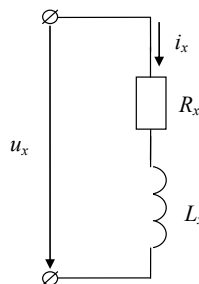


Рисунок 5. - Схема замещения фазы

Преобразуем уравнения электрического равновесия. Для этого перепишем слагаемое $\frac{d\Psi_x}{dt}$ в таком виде:

$$\frac{d\Psi_x}{dt} = \frac{\partial \Psi_x}{\partial i_x} \frac{di_x}{dt} + \frac{\partial \Psi_x}{\partial \gamma} \frac{d\gamma}{dt} = L_{\text{дх}} \frac{di_x}{dt} + K_{\text{ех}} \Omega,$$

где $L_{\partial x} = \frac{\partial \Psi_x}{\partial i_x}$ – дифференциальная индуктивность; $K_{ex} = \frac{\partial \Psi_x}{\partial \gamma}$ – коэффициент противоЭДС.

Тогда уравнение примут вид:

$$u_x = i_x R + \frac{d\Psi_x}{dt} = i_x R + L_{\partial x} \frac{di_x}{dt} + e_x, \quad (2)$$

где

$e_x = K_{ex} \Omega$ – противоЭДС фазы.

Разрешив уравнение (1) относительно производной тока, получим

$$\frac{di_x}{dt} = (L_{\partial x}^{-1}) \cdot (u_x - i_x R - e_x) \quad (3)$$

На основании уравнения (2) составим структурную схему (рисунок 6).

Для механической части структурная схема имеет вид, показанный на рисунке 7:

Simulink–модели фазы АИД и механической части привода приведены на рисунке 8 и 9 соответственно.

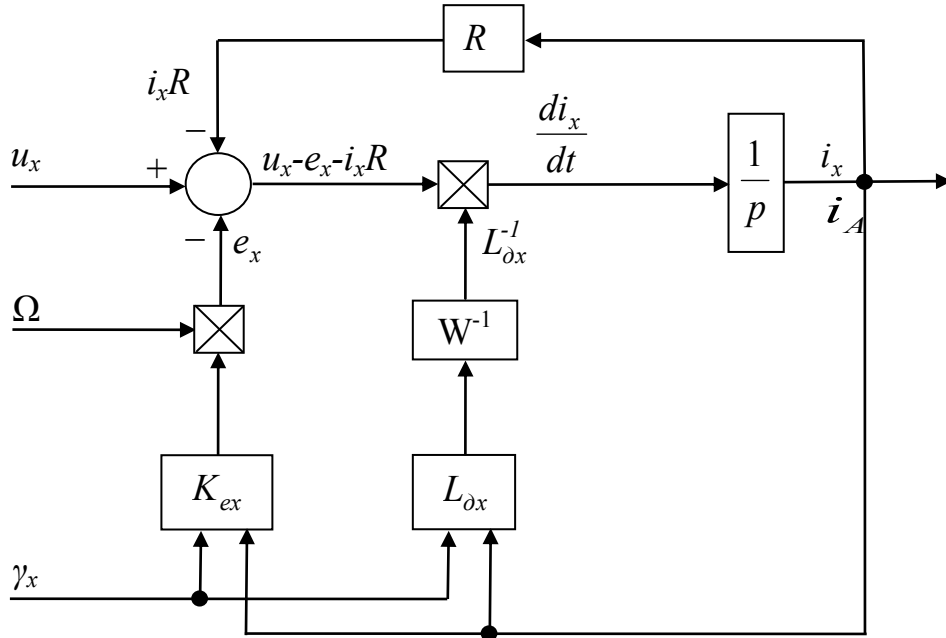


Рисунок 6. - Структурная схема фазы двигателя

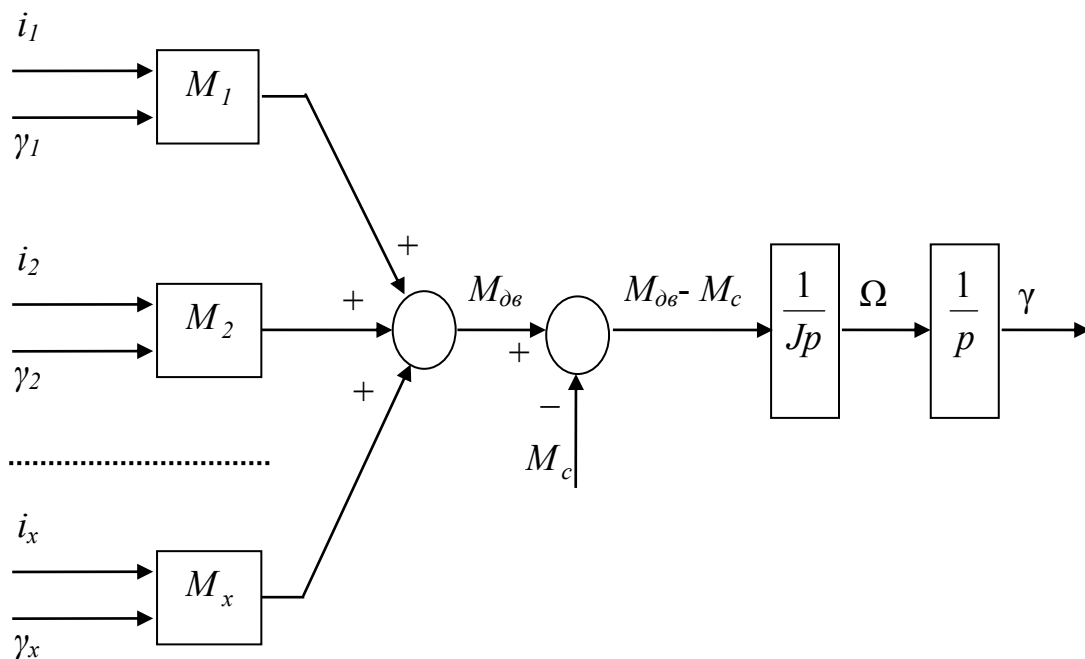


Рисунок 7. - Структурная схема механической части

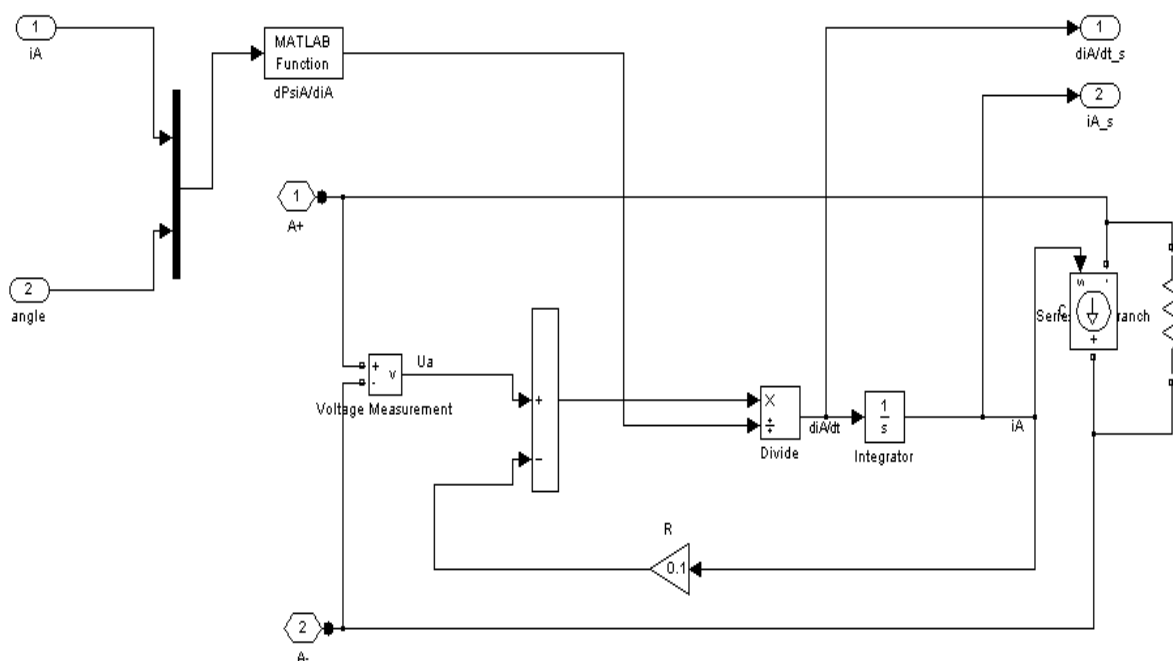


Рисунок 8. - Simulink-модель фазы АИД

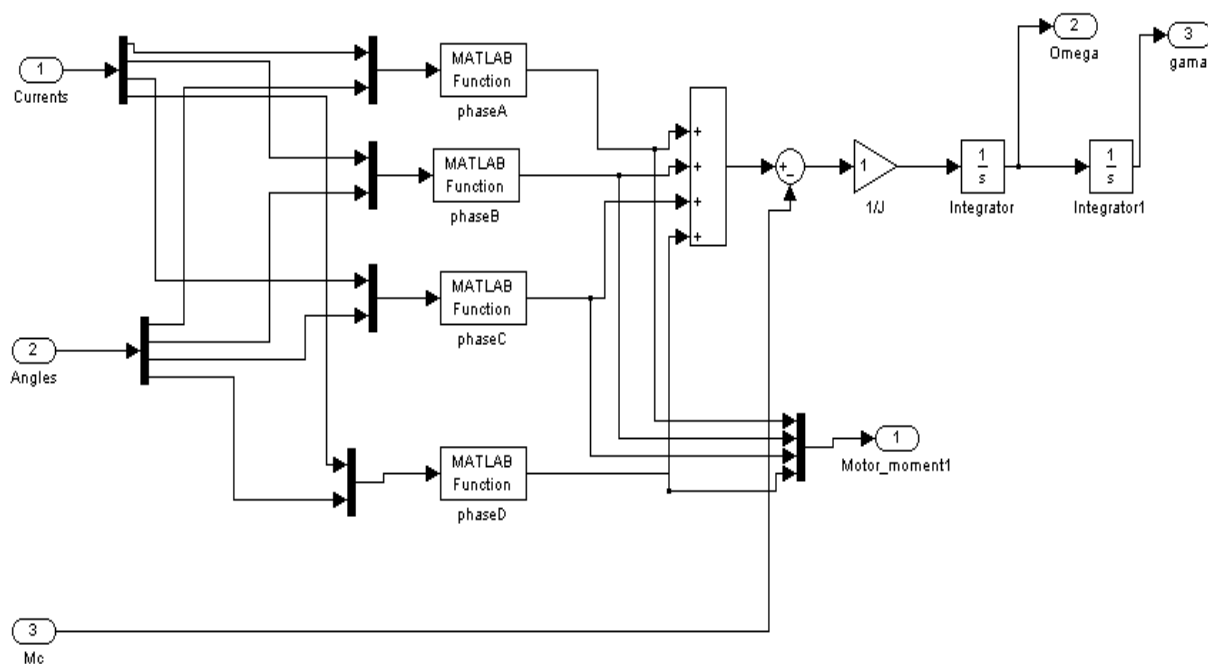


Рисунок 9. - Simulink–модель механической части

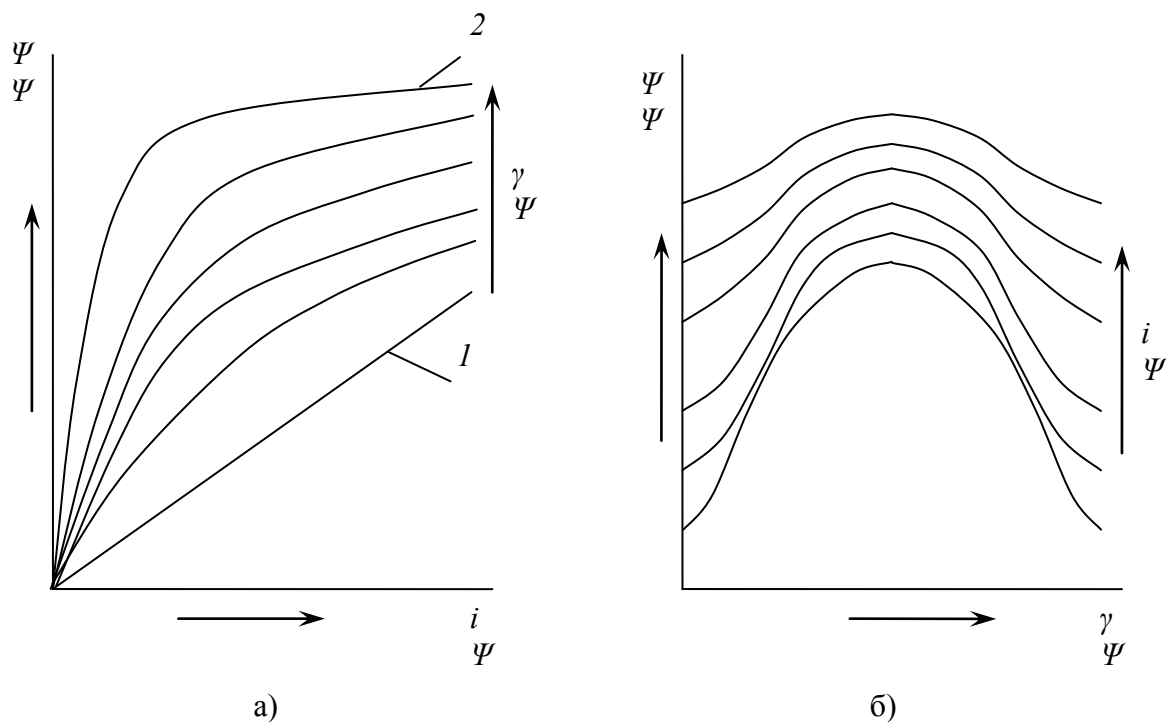


Рисунок 10. - Зависимости $\Psi = \Psi(i, \gamma)$:

1– рассогласованное положение; 2 – согласованное положение

Рассмотрим методику определения электромагнитных связей двигателя. Предположим, что зависимость $\Psi = \Psi(i, \gamma)$ известна (определена расчётным путём или экспериментально). Типичный вид зависимости $\Psi = \Psi(i, \gamma)$ для реактивных индукторных машин показан на рисунке 10.

Семейство кривых на рисунке 10 может быть представлено в общем виде аналитической зависимостью следующего вида

$$\Psi(i, \gamma) = \sum_{k=0}^N \left[\sum_{j=0}^{Nq} \left[\sum_{r=0}^q A_{k,j,r}(i) \cos(k\gamma) B_r(B) \sin(i\gamma) \right] \right] \quad (4)$$

т.е. является усечённым рядом Фурье (число удерживаемых гармоник равно N), коэффициенты которого являются функциями тока.

Вследствие симметрии зубцов, кривые на рис.10б симметричны относительно оси ординат. Поэтому ряд Фурье (4) не содержит синусных составляющих, и формулу (4) можно переписать в виде

$$\Psi(i, \gamma) = \sum_{k=0}^N (A_k(i) \cdot \cos(k\gamma)), \quad (5)$$

где

$$A_k(i) = \sum_{s=0}^3 a_{s,j-1}^{(k)} (i - i_{j-1})^s \quad - \quad \text{кубический интерполяционный сплайн,}$$

аппроксимирующий зависимость коэффициентов Фурье-разложения от тока фазы [5,6]. В этом выражении $a_{s,j-1}^{(k)}$ – коэффициент сплайна при степени s на отрезке $[i_{j-1}, i_j]$ для гармоники с номером k , (i_{j-1}, i_j – узлы интерполяции, ограничивающие отрезок, содержащий текущее значение тока i). Под γ здесь и в дальнейшем будем подразумевать угол поворота ротора, выраженный в электрических радианах.

Таким образом

$$\Psi(i, \gamma) = \sum_{k=0}^N \left(\left(\sum_{s=0}^3 a_{s,j-1}^{(k)} (i - i_{j-1})^s \right) \cos(k\gamma) \right) \quad (6)$$

Запись зависимости $\Psi = \Psi(i, \gamma)$ в виде (5) позволяет аналитически выразить индуктивность, коэффициент противоЭДС и момент. Дифференциальная индуктивность определяется по формуле $L_\partial = \frac{\partial \Psi(i, \gamma)}{\partial i}$.

Тогда, с учётом формулы (5) получим выражение

$$L_\partial = \sum_{k=0}^N \left(\left(\sum_{s=1}^3 a_{s,j-1}^{(k)} \cdot s \cdot (i - i_{j-1})^{s-1} \right) \cos(k\gamma) \right) \quad (7)$$

Дифференцирование по току здесь допустимо, поскольку сплайн является дважды непрерывно дифференцируемой функцией на всём отрезке интерполяции. Коэффициент противоЭДС равен $K_e = \frac{\partial \Psi(i, \gamma)}{\partial \gamma}$ или

$$K_e = -Z \sum_{k=0}^N \left(k \left(\sum_{s=0}^3 a_{s,j-1}^{(k)} (i - i_{j-1})^s \sin(k\gamma) \right) \right) \quad (8)$$

где Z – число зубцов. Множитель Z в формуле (8) учитывает то, что дифференцирование происходит по геометрическому углу, а γ есть электрический угол.

Электромагнитный момент определяется по выражению

$$M = \frac{\partial W'}{\partial \gamma} \Big|_{i=const} \quad (9)$$

где $W' = \int_0^i \Psi(i, \gamma) di$ – мгновенное значение коэнергии фазы.

Поскольку подынтегральное выражение $\Psi(i, \gamma)$ задано в виде сплайнов, интегрирование проводим по методу интерполирующих сплайнов.

Общее выражение имеет вид

$$W'(i, \gamma) = \int_0^i \sum_{k=0}^N \left(\left(\sum_{s=0}^3 a_{s,j-1}^{(k)} (i - i_{j-1})^s \right) \cos(k\gamma) \right) di$$

Поскольку нас интересуют численные значения, поступим следующим образом. Пусть p – номер интервала, в котором находится верхний предел интегрирования i_p . Тогда расчётная формула для вычисления коэнергии примет вид

$$W'(i_p, \gamma) = \sum_{q=1}^p \left(\sum_{k=0}^N \left(\left(\sum_{s=0}^3 a_{s,q-1}^{(k)} \frac{(i_q - i_{q-1})^{s+1}}{s+1} \right) \cos(k\gamma) \right) \right) \quad (10)$$

Выполнив вычисления по формуле (10), получим данные, для которых выполним процедуру аппроксимации. Полученную зависимость представим в виде

$$W'(i, \gamma) = \sum_{k=0}^N (B_k(i) \cdot \cos(k\gamma)),$$

где $B_k(i) = \sum_{s=0}^3 b_{s,j-1}^{(k)} (i - i_{j-1})^s$ – кубический интерполяционный сплайн, аппроксимирующий зависимость коэффициентов Фурье-разложения от тока фазы. В этом выражении $b_{s,j-1}^{(k)}$ – коэффициент сплайна при степени s на

отрезке $[i_{j-1}, i_j]$ для гармоники с номером k , (i_{j-1} , i_j – узлы интерполяции, ограничивающие отрезок, содержащий текущее значение тока i).

Таким образом,

$$W'(i, \gamma) = \sum_{k=0}^N \left(\left(\sum_{s=0}^3 b_{s,j-1}^{(k)} (i - i_{j-1})^s \right) \cos(k\gamma) \right). \quad (11)$$

Выполнив дифференцирование выражения (11) по угла поворота, имеем

$$M = -Z \sum_{k=0}^N \left(k \left(\sum_{s=0}^3 b_{s,j-1}^{(k)} (i - i_{j-1})^s \sin(k\gamma) \right) \right). \quad (12)$$

Зависимости (7) и (8) непосредственно используются в структурной схеме для вычисления тока, зависимость (12) нужна для вычисления момента.

Отдельно следует отметить, что при построении сплайнов используются краевое условие «отсутствие узла», так как неизвестна информация о поведении сплайнов вблизи границ отрезка интерполяции.

Численные процедуры построения сплайнов выполнены в Matlab [7]. Для использования в Simulink–моделях написаны m-файлы.

Выводы. Таким образом, разработана имитационная модель тягового привода на основе АИД, реализованная с Simulink. Имитационная модель состоит из модели полупроводникового преобразователя, модели тягового индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком, модели механической части и модели системы управления. Модель преобразователя собрана на его основании электрической схемы.

При создании модели АИД использован метод структурных схем. Предложено аппроксимировать усечённым рядом Фурье, коэффициенты гармоник которого интерполированы кубическими сплайнами. На основании этого разложения аналитически выражены индуктивность фазы, коэффициент противоЭДС и электромагнитный момент, для которого также проведена аппроксимация по упомянутому выше способу.

Имитационная модель механической части представлена одномассовой системой.

Модель системы управления «собрана» из блоков библиотеки Simulink и отражает алгоритмы управления.

Разработанная имитационная модель позволяет моделировать динамические процессы, происходящие как в приводе в целом, так и в отдельных его звеньях, обрабатывать законы регулирования и исследовать влияние параметров отдельных элементов на процессы электромеханического преобразования энергии.

Список литературы.

1. Бахвалов Ю. А., Зарифьян А. А., Кашников В. Н., Колпахчян П. Г., Плохов Е. М., Янов В. П. Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом, М – «Транспорт», 2001, 288с.
2. Любарский Б.Г., Рябов Е.С., Оверьянова Л.В. и др. Имитационная модель тягового вентильно-индукторного электропривода // Електротехніка і електромеханіка, 2009, №5. – С.67-72.
3. Дьяконов, В. П. Simulink 4. Специальный справочник [Текст] / В. П. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2001. – с. 553.
4. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink. ИД Питер. 1-е издание, 2007 , 288 стр.
5. Де Бор К. Практическое руководство по сплайнам: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985. – 304 с., ил.
6. Носач В.В. Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров. – М.: МИКАП, 1994. – 382 с: 78 ил.
7. Кетков, Ю. Л. Matlab 7 [Текст] : Численные методы / Ю. Л. Кетков, А. Ю. Кетков, М. М. Шульц. – СПб. : Бхв-Петербург, 2005. – с. 752. : ил.

УДК 629.4.016.1

Матвієнко С.А., аспірант(УкрДАЗТ)

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ
РУХУ ПОЇЗДА ДЛЯ ВИКОНАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ
РОЗРАХУНКІВ**

Пошук енергооптимальних режимів керування рухом поїзда становить важливу науково-практичну задачу, вирішення якої впливає на ефективність функціонування транспорту. Витрати палива та електроенергії на тягу поїздів складають значну частку (відповідно 84% та 83% за даними 2009 р.) в загальних витратах паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) на залізницях, а в цілому такі витрати становлять близько 16% від експлуатаційних витрат галузі [1]. Скорочення цих витрат шляхом оптимізації експлуатаційних режимів не потребує значних одночасних капіталовкладень і є одним з пріоритетів наукового пошуку.

Визначення оптимального керування конкретним поїздом повинне спиратися на вичерпні вихідні дані про режими та особливості експлуатації поїздів. Таку інформацію можна отримати за результатами

тягово-енергетичних випробувань (ТЕВ). З іншого боку, серед завдань ТЕВ значне місце посідає визначення раціональних режимів водіння поїздів для скорочення витрат на тягу [2]. Отже, проблема оптимізації режимів водіння поїздів тісно пов'язана із проведенням ТЕВ та може бути вирішена шляхом оптимізаційних розрахунків на математичній моделі, що коригується за результатами натурних випробувань [3].

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. Задача оптимізації режимів керування рухом поїзда може бути поділена на декілька етапів:

визначення фізичного змісту процесів, які характерні для поїзда як об'єкта керування;

- складання математичної моделі, яка відображує сутність цих процесів;
- адаптація математичних співвідношень моделі для можливості виконання розрахунків на ЕОМ;

- визначення методу оптимізації та розробка алгоритму розрахунку оптимальних за прийнятим критерієм програм (стратегій) керування;

- синтез оптимальних траєкторій руху та впровадження результатів у вигляді рекомендацій, алгоритмів автоматизованих або автоматичних систем.

Складанню математичної моделі руху поїзда присвячені класичні праці з теорії локомотивної тяги А.М. Бабічкова, О.П. Новікова, В.Є. Розенфельда, І.П. Ісаєва, С.І. Осипова, М. Нетца (Netz), Є. Йентша (Jentsch) та інших науковців. При цьому слід відмітити, що модель спиралася на ряд суттєвих спрощень, що вимагає перевірки її адекватності для сучасних поїздів.

Дослідженням проблем оптимізації режимів водіння поїздів займалися Баранов Л.А., Головічер Я.М., Єрофєєв Є.В., Максимов В.М., Сидельников В.М., Моїсєєв О.О., Дувалян С.В., Садовський Л.Є., Постол Б.Г., Костромін А.М., Скалозуб В.В., Скїва Л. При цьому пошук зосереджувався як в частині непрямих, так і прямих методів оптимізації.

Використання непрямих методів, зокрема принципу максимуму, дозволило визначити основні параметри оптимальних траєкторій руху та отримати характеристики оптимального 3-х та 4-х режимного керування (в цьому напрямку працювали зокрема Баранов, Головічер, Максимов, Костромін). Метод має детально розроблений для практичного використання математичний апарат, однак для дискретних систем він дозволяє отримати лише необхідні, але не достатні, умови оптимальності, отже спричиняє необхідність зайвої перевірки оптимальності визначених керувань, і крім того, вимагає додаткового спрощення моделі руху поїзда.

Найбільш повно врахувати усі можливі обмеження на керування та фазові координати задачі можливо за допомогою методів прямого пошуку (метод градієнтного спуску, динамічне програмування), які дозволяють знайти глобальний екстремум критерію оптимальності. Із використанням

дискретного варіанту динамічного програмування у 1970-х рр. Єрофєєвим та Сидельніковим складалися програми розрахунку енергооптимальних програм руху лише для поїздів метрополітену та пасажирських поїздів (із врахуванням мінімальної кількості можливих режимів). Використання методів динамічного програмування довгий час стримувалося низьким рівнем обчислювальної техніки (зокрема, малою оперативною пам'яттю), але застосовуючи широкі можливості сучасних ЕОМ можна сподіватися в повній мірі скористатися всіма перевагами цих методів.

Загальною проблемою при оптимізаційних розрахунках за обома підходами є визначення такого ступеня деталізації математичної моделі та таких її параметрів, які б дозволяли отримати результати прийнятної для практичних потреб точності із мінімальними витратами машинного часу для обчислень.

Метою статті є визначення оптимальних параметрів чисельної реалізації розрахунків на ЕОМ за математичною моделлю руху поїзда, а також оцінка точності та адекватності отриманих результатів.

Якщо, згідно із [4], враховувати тільки зовнішні впливи на поїзд, і його поступальний рух розглядати як рух матеріальної точки, вся маса якої зосереджена у центрі мас поїзда, то рівняння руху можна записати наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= \zeta [f_{\kappa}(v, u) - w_o(v) - i(s)] \\ \frac{ds}{dt} &= v, \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де v – швидкість руху, км/год;

s – шлях, який пройшов поїзд, км;

t – час, год;

$u \in U$ – керуюча дія на локомотив як на об'єкт керування (режим руху), обмежена множиною допустимих керувань U ;

$f_{\kappa}(v, u)$ – питома (на одиницю ваги поїзда) керуюча сила на ободі колеса, Н/кН, яка задана режимом u та визначається за тяговими та гальмовими характеристиками локомотиву [5];

$w_o(v)$ – питома сила основного опору руху, Н/кН;

$i(s)$ – ухил приведенного профілю колії (із врахуванням опору від кривих), виражений в ‰, в залежності від координати s поїзда;

ζ – коефіцієнт пропорційності, що має сенс прискорення, в км/год², яке викликається дією одиничної питомої прискорюючої сили 1 Н/кН; для загальних розрахунків рекомендоване значення $\zeta = 120$ (км/год²)/(Н/кН) [5].

Визначення фазових координат поїзда s , v , t в довільній точці траєкторії руху $s(t)$ потребує розв'язку системи рівнянь (1) одним з відомих методів теорії диференціальних рівнянь. Методи безпосереднього аналітичного інтегрування рівняння руху поїзда майже не використовуються через складність аналітичного описання нелінійних складових в правій частині першого рівняння системи, натомість найчастіше використовують одну з форм дискретизації задачі, замінюючи диференційні співвідношення скінченнорізницеви (такий підхід доцільно використовувати також і тому, що сама постановка задачі вимагає її дискретизації, оскільки процес керування локомотивом має дискретний характер, отже рух поїзда не може бути описаний континуально). При цьому вихідна задача вирішується в формі задачі спостережувальності [6], коли визначення фазових координат стану системи виконується за тими координатами, які доступні для спостереження на початку кожного кроку інтегрування рівняння руху.

При дискретизації моделі (1) в якості незалежної змінної можна прийняти будь-яку з трьох фазових координат. Дискретизація за швидкістю дозволяє точніше врахувати обмеження швидкості вздовж траєкторії, але ускладнює прив'язку до профілю колії [4]. Для розрахунків в режимі реального часу (в системах автомашиністів та тренажерів) в якості незалежної змінної доцільніше використовувати час ходу (в найбільш ранній з відомих робіт [7] описувався принцип ітеративного наближення при інтегруванні рівняння (1) за часом). Найбільш ефективно організувати обчислювальний алгоритм із прив'язкою до елементів профілю $i(s)$ можна в разі дискретизації моделі за шляхом, розбиваючи тягову ділянку на елементарні кроки інтегрування довжиною Δs . При цьому більшість авторів використовували отримані методом Ейлера [8] наступні вирази, які пов'язують значення фазових координат на поточному n та наступному $n+1$ кроках [9, 10]:

$$s_{n+1} = s_n + \Delta s, \quad (2)$$

$$v_{n+1} = v_n + \frac{\Delta s \zeta}{v_n} (f_k(v_n, u_n) - w_o(v_n) - i(s_n)), \quad (3)$$

$$t_{n+1} = t_n + \Delta t = t_n + \frac{2 \cdot 60 \Delta s}{v_{n+1} + v_n}, \quad (4)$$

де s_n – шлях, який пройшов поїзд до початку n -го елемента, км;

v_n – швидкість руху на початку n -го елемента, км/год;

u_n – керуюча дія, приймається постійною протягом n -го елемента;

t_n – час, накопичений до початку n -го елемента, хв;

$f_k(v_n, u_n)$, $w_o(v_n)$ – питомі сили згідно із означеннями (1), Н/кН, визначаються для швидкості v_n та приймаються постійними протягом n -го елемента;

$i(s_n)$ – величина ухилу, в ‰, постійна протягом n -го елемента.

При використанні такої скінченнорізницевої схеми виникає ряд складностей для обчислювальних процедур: в момент рушання з місця початкову швидкість необхідно завищувати (до 0,5...2 км/год), а при малих швидкостях виконувати дроблення кроку інтегрування до тих пір, поки приріст швидкості $\Delta v = v_{n+1} - v_n$ не стане меншим за певне задане значення [8].

Альтернативну скінченнорізницеву схему можна отримати, розклавши перше з рівнянь системи (1) в ряд Тейлора із збереженням двох перших складових [4]. Тоді, записавши вираз для приросту швидкості за n -й крок

$$v_{n+1} = v_n + \frac{\Delta t}{60} \left(\frac{dv}{dt} \right)_n = v_n + \frac{\Delta t}{60} \zeta (f_k(v_n, u_n) - w_o(v_n) - i(s_n)),$$

з урахуванням (4) отримаємо наступний вираз для швидкості

$$v_{n+1} = v_n + \frac{\Delta t}{60} \left(\frac{dv}{dt} \right)_n = v_n + \frac{2\Delta s}{v_{n+1} + v_n} \zeta (f_k(v_n, u_n) - w_o(v_n) - i(s_n)),$$

або

$$v_{n+1} = \sqrt{v_n^2 + 2\Delta s \zeta [f_k(v_n, u_n) - w_o(v_n) - i(s_n)]}. \quad (5)$$

Використання отриманої формули також вимагає припущення про постійність параметрів керування (сили тяги) та опору руху протягом кроку. Тому при розрахунках за формулою (5), позбавлених вказаних вище недоліків використання формули (3), також виникає проблема вибору довжини кроку інтегрування Δs . Очевидно, що зі зменшенням кроку точність скінченнорізницевої схеми підвищується, але збільшується машинний час розрахунків. Тому у ранніх програмах, лімітованих останнім фактором, обмежувалися величиною кроку інтегрування, рівною довжині елемента постійної крутості, але не більше ніж 1 км [11].

Аналітично оцінити необхідну величину кроку Δs для досягнення заданої точності складно через відсутність аналітичного виразу для керуючих сил (тяги та гальмування), які входять до правої частини першого рівняння (1). Тому для визначення впливу величини Δs на адекватність модельних розрахунків було проведено обчислювальний експеримент із визначенням швидкості за різними формулами. Встановлено, що в зоні малих швидкостей для отримання прийнятної точності ($\Delta v \leq 5$ км/год [5]) при використанні формули (3) крок Δs необхідно змінювати в широких межах (від 0,02 м в моменти пуску до 2 м при швидкостях 10...25 км/год). При розрахунках за формулою (5) крок

інтегрування можна приймати постійним протягом усієї ділянки в межах до 100 м із збереженням дозволеної точності. Крім того, при рівній довжині кроку Δs ця формула дає більш точні результати, ніж формула (3) на всьому діапазоні швидкостей, тому саме формулу (5) можна прийняти основною для подальших модельних розрахунків.

Для дослідження впливу величини Δs на розрахунок витрат тягових ПЕР було проведено обчислювальні експерименти для ділянок із електричною (постійного стуму) та тепловозною тягою на двох типах профілів: профіль 1 типу спуск-площадка-підйом та профіль 2 – підйом-площадка-спуск (таблиця 1). При моделюванні режими керування приймалися постійним для кожного виду тяги та профілю.

Таблиця 1 – Результати обчислювального експерименту з визначення оптимального кроку інтегрування рівняння руху

Величина кроку Δs , м	Витрати електроенергії, кВт·год / похибка, %		Витрати палива, кг / похибка, %	
	за профілем 1	за профілем 2	за профілем 1	за профілем 2
0,5	991 / 0,0	2032 / 0,0	233 / 0,0	415 / 0,0
1,0	990 / 0,1	2031 / 0,0	232 / 0,4	414 / 0,2
2,0	989 / 0,2	2029 / 0,1	232 / 0,4	414 / 0,2
5,0	987 / 0,4	2028 / 0,2	231 / 0,9	414 / 0,2
10,0	984 / 0,7	2021 / 0,5	231 / 0,9	413 / 0,5
20,0	977 / 1,4	2005 / 1,3	229 / 1,7	412 / 0,7
50,0	966 / 2,5	1986 / 2,3	227 / 2,6	409 / 1,4
100,0	875 / 11,7	1853 / 8,8	221 / 5,2	408 / 1,7

З аналізу результатів моделювання видно, що при збільшенні кроку Δs витрати ПЕР, визначені за моделюю, зменшуються, що пояснюється збільшенням середньої швидкості та зменшенням часу ходу в межах сусідніх ділянок постійного керування. Для Δs межах від 0,5 до 50 м похибка визначення витрат не перевищує 2,5% (при порівнянні зі значенням для кроку $\Delta s=0,5$ м), що знаходиться в межах допустимої похибки практичного визначення витрат. За межами цього інтервалу похибка у визначенні витрати різко збільшується (до 12%). Отже, практично прийнятною може бути визначена скінченнорізницева схема (2), (5), (4) із постійною величиною кроку інтегрування з діапазону $\Delta s=2\dots 50$ м (при цьому необхідно прагнути до менших значень). Такий вибір кроку підтверджено також доброю збіжністю із результатами натурних ТЕВ, розходження із якими по витратах ПЕР лежить в межах 3%.

При складанні алгоритмів динамічного програмування для оптимізаційних розрахунків також виникає проблема вибору кроку

інтегрування рівняння руху. Але тут крок Δs необхідно приймати таким, аби траєкторії руху, побудовані з кожної точки кінця оптимальної траєкторії на початку даного кроку потрапляли в різні комірки сітки за швидкістю в кінці кроку [9], тобто є тенденція до збільшення величини кроку Δs , що вступає в протилежність із прийнятим раніше висновком. Розв'язати суперечність можливо, якщо збільшити крок, на якому керування залишається постійним (крок варіювання режимів), не змінюючи при цьому кроку інтегрування рівняння руху. Так, в роботі [10] для розрахунку оптимальних програм руху пасажирських поїздів крок інтегрування прийнятий 10 м, а крок варіювання режимів – 200 м. Однак це веде до ускладнення програми і не завжди сприяє зменшенню кількості перемикань режимів між сусідніми кроками.

Єдиної методики визначення кроків за сіткою в алгоритмах динамічного програмування не існує, і кожна прикладна задача вимагає підбору власних параметрів із врахуванням необхідної точності результатів [12]. При фіксованому кроці за швидкісною сіткою 1 км/год, що забезпечує простоту програмної реалізації, розгалуження траєкторій руху поїзда залежатиме лише від кроку сітки за шляхом. Оптимальний з точки зору точності та ефективності алгоритму крок Δs може бути визначений в результаті обчислювального експерименту, в якості прикладу якого на рисунку 1 наведено результати розрахунку оптимальних режимів руху для реального профілю ділянки Родакове – Коммунарськ Донецької залізниці (таблиця профілю показана внизу рисунку) при різних значеннях кроку інтегрування Δs .

На рисунку 1 окремими лініями позначені ті траєкторії руху, отримані в результаті розгалуження алгоритму динамічного програмування, які відповідають перспективним варіантам керування та зберігаються в пам'яті ЕОМ. Очевидно, що єдиний крок інтегрування та варіювання режимів в межах $\Delta s=5...10$ м (рисунк 1, а, б) дає недостатній приріст швидкості для розгалуження алгоритму, тому траєкторії руху не можуть покрити максимальну частину поля дозволених швидкостей. Натомість, при кроці $\Delta s=100$ м (рисунк 1, д) і більше діапазон перспективних траєкторій майже не змінюється. Тому для нормального розгалуження алгоритму можна рекомендувати величину кроку Δs на рівні 40...50 м (рисунк 1, г), при якому похибка визначення витрат ПЕР буде зберігатися в допустимих межах, як це встановлено раніше. Із такими значеннями кроку були проведені оптимізаційні розрахунки для вантажних поїздів електричної та тепловозної тяги; отримані результати дозволяють зробити висновок про адекватність модельних розрахунків.

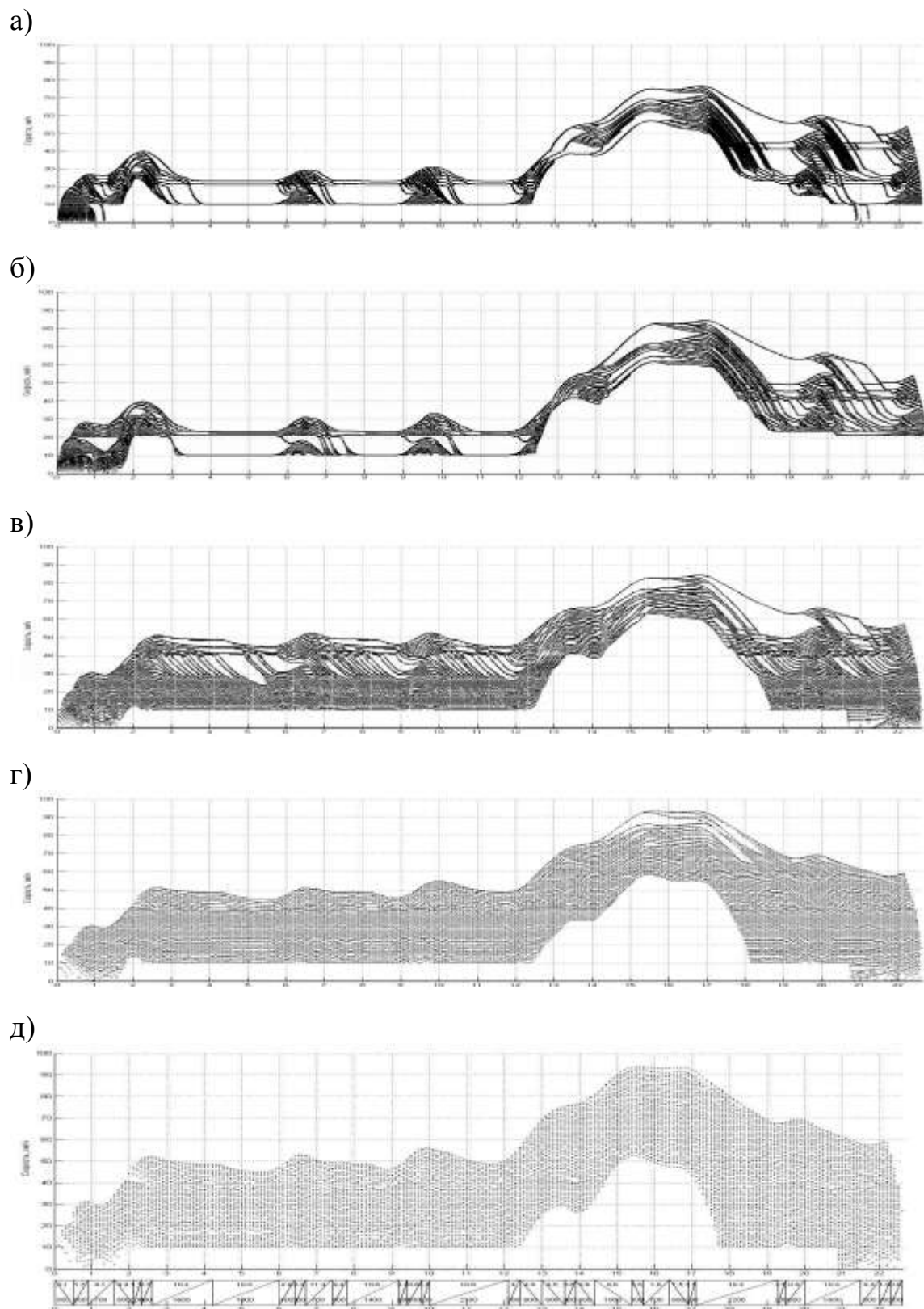


Рисунок 1 – Вплив величини кроку Δs на розгалуження траєкторій руху, розрахованих за алгоритмом динамічного програмування
а) $\Delta s=5$ м; б) $\Delta s=10$ м; в) $\Delta s=20$ м; г) $\Delta s=50$ м; д) $\Delta s=100$ м

Одним з шляхів уточнення моделі поїзда як матеріальної точки є врахування поздовжнього розподілу маси складу, що важливо при розрахунках із великоваговими та довгосоставними поїздами. Для забезпечення таких розрахунків було складено підпрограму, яка виконує розрахунок тягового профілю ділянки. Принцип розрахунку ґрунтується на тому, що при пересуванні поїзда змінюються частини його довжини, які розташовані на різних елементах профілю, отже змінюється і ухил під поїздом. Тоді для кожного положення центру мас поїзда при його просуванні ділянкою можна визначити величини ухилів спрямленого профілю $i_c(s)$, замінивши ним вихідний профіль $i(s)$ в модельних розрахунках за формулою (1).

Розрахунки для поїздів різних категорій із використанням моделей матеріальної точки та однорідного стрижня дозволили оцінити вплив довжини поїзда на точність визначення витрат ПЕР. Зокрема, для поїздів встановлених норм маси та довжини спрощені розрахунки з моделлю матеріальної точки при однакових витратах машинного часу дають витрати ПЕР, завищені на 1...3% (в залежності від профілю, більша похибка для тепловозної тяги) в порівнянні із моделлю, яка враховує їх довжину (через більш різку зміну додаткового опору руху при їзді на підйоми). Для довгоскладових поїздів (понад 1500 м) така похибка може збільшуватися до 7%, що робить неприйнятною спрощену модель.

Висновки.

1. Визначено скінченнорізницьку схему чисельного інтегрування рівняння руху поїзда, прийнятну як для обробки даних ТЕВ, так і для оптимізаційних розрахунків.

2. Отримано оцінку впливу кроку інтегрування рівняння руху на точність модельних розрахунків та розгалуження алгоритму динамічного програмування для проведення оптимізаційних розрахунків; величина кроку повинна знаходитися в межах 40...50 м для допустимої похибки розрахунків в межах 3%.

3. Отримано оцінку впливу спрощення моделі руху поїзда як матеріальної точки, що спричиняє похибку в межах 2,5% для поїздів існуючих норм маси та довжини.

Список літератури

1. Сергієнко М.І. Основні напрямки роботи Укрзалізниці з енергозбереження та її результати / М.І. Сергієнко // Локомотив-інформ. – 2010. – №4. – С.24-26.
2. Рациональные режимы вождения поездов и испытания локомотивов / Под ред. С.И. Осипова. – М.: Транспорт, 1984. – 280 с.

3. Крашенінін О.С. Удосконалення експлуатаційних випробувань / О.С. Крашенінін, Ю.В. Черняк, С.А. Матвієнко // Зб. наук. пр. / Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х.: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 117. – С.22-27.
4. Бабичков А.М. Тяга поездов и тяговые расчеты / А.М. Бабичков, П.А. Гурский, А.П. Новиков. – М.: Транспорт, 1971. – 280 с.
5. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
6. Деев В.В. Тяга поездов: Учебное пособие для вузов / В.В. Деев, Г.А. Ильин, Г.С. Афонин. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.
7. Бабичков А.М. Численные методы решения уравнения движения поезда, управляемого автомашинистом / А.М. Бабичков, А.П. Новиков // Вопросы эксплуатации железных дорог: Труды МИИТ. – 1963. – Вып. 161. – С. 80-91.
8. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – М.: Бином. Лаборатория знаний. – 2003. – 632 с.
9. Ерофеев Е.В. Выбор оптимального режима ведения поезда на АЦВМ с применением метода динамического программирования / Е.В. Ерофеев // Вычислительная техника и управление: Сб. науч. трудов МИИТ. – 1967. – Вып. 228. – С. 16-28.
10. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л.А. Баранов, Я.М. Головичер, Е.В. Ерофеев, В.М. Максимов; Под ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
11. Ерофеев Е.В. Определение оптимального режима движения поезда при заданном времени хода / Е.В. Ерофеев // Вестник ВНИИЖТ. – 1969. – №1. – С. 54-57.
12. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.: Наука, 1965. – 460 с.

УДК 629.4.014

*Крашенінін О.С., к. т. н. (УкрДАЗТ)
Шапатіна О.О., асистент (УкрДАЗТ)*

РЕЗЕРВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВІВ

Постановка проблеми. У сучасних умовах тяговий і не тяговий рухомий склад залізниць потребує оновлення. Разом з цим галузь працює в умовах дефіциту енергоресурсів, їх великої вартості, старіння основних фондів. В цих умовах необхідні певні зусилля в справі пошуку чинників щодо резервів підвищення рівня ефективного використання рухомого складу залізниць і, зокрема, маневрового.

Аналіз досліджень. Досвід експлуатації рухомого складу показує, що на перехідний період можливо задіяти ряд заходів щодо підвищення ефективного його використання навіть для сучасних обставин. В керівних документах

Укрзалізниці намічені основні підходи виходу галузі з кризового стану, однак механізм цих заходів потребує конкретизації та уточнення.

Формулювання цілей статті. Виходячи з цього, виникає необхідність пошуку резервів підвищення ефективності використання рухомого складу за рахунок упорядкування і оптимізації організації його роботи.

Виклад матеріалу. Як і усі галузі народного господарства України залізничний транспорт опинився у складних економічних та технічних умовах. Проте і в цих умовах існують резерви, які багато в чому спроможні сприяти стабілізації роботи залізничного транспорту.

Так одним із факторів підвищення рівня використання локомотивного парку (і рухомого складу в цілому) є скорочення невиробничих простоїв поїздів. У цьому напрямку є значні резерви. На деяких залізницях, не дивлячись на заходи, що проводяться для підвищення транзитності поїздопотоків на ділянках обертів локомотивів, дільничні станції, де проходить зміна бригади, переробляють у середньому до 15% усього транзитного вагонопотоку.

Разом з цим середній час простою транзитних поїздів знижується незначно. На дільничній станції зазвичай приходить від 70 до 75% часу загального простою вантажних поїздів. Тому розробці заходів, що спрямовані на скорочення часу знаходження локомотиву на станціях, пунктах обертів та зміни бригад, необхідно приділяти максимальну увагу.

Вплив змін величини невиробничих простоїв локомотивних бригад на загальну суму експлуатаційних витрат можна визначити за формулою

$$\Delta E_1 = E_{\text{баз}}^{\text{прост}} - E_{\text{ан}}^{\text{прост}}, \quad (1)$$

де $E_{\text{баз}}^{\text{прост}}$, $E_{\text{ан}}^{\text{прост}}$ – сума експлуатаційних витрат на оплату простоїв у базисному та аналізуємому періодах, грн.

Зміна експлуатаційних витрат при зміні кількості понаднормових годин роботи можна визначити за формулою

$$\Delta E_2 = E_{\text{баз}}^{\text{нн}} - E_{\text{ан}}^{\text{нн}}, \quad (2)$$

де $E_{\text{баз}}^{\text{нн}}$, $E_{\text{ан}}^{\text{нн}}$ – сума експлуатаційних витрат, що пов'язана з оплатою понаднормової роботи у базисному та аналізуємому періодах, грн.

Таким чином, загальна величина зміни експлуатаційних витрат у результаті впливу форм та заходів експлуатаційної роботи і організації праці дорівнює

$$\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2, \quad (3)$$

В умовах поступового підвищення швидкості руху поїздів, подовження ділянок оберту локомотивів та локомотивних бригад на багатьох залізницях є можливість подальшого скорочення простою поїздів без їх переробки. У середньому можна вважати, що кількість вагонів, що переробляється на них, складає лише 25% усього вагонооберту. У таких випадках вже кожен четвертий поїзд, що прибуває, піддається розформуванню.

Для інтенсифікації використання локомотивного і вагонного парку необхідно у першу чергу забезпечити рішення ряду організаційно-технічних питань, найважливішими з яких є:

- подальше підвищення транзитності поїздопотоків між сортувальними станціями, головним чином за рахунок більшого використання групових поїздів;
- встановлення нових ефективних призначень технічних маршрутів;
- розвиток ефективних форм відправницької маршрутизації;
- ущільнене використання сортувальних колій на станціях, що мають резерви переробної спроможності.

Наступним фактором, що дозволяє підвищувати ефективність експлуатації тягового рухомого складу, є скорочення резервного пробігу локомотивів. Резервні пробіги локомотивів виникають у трьох найбільш розповсюджених випадках:

- у результаті змін співвідношень у розмірах руху поїздів (у парному та непарному напрямках);
- при введенні подвійної тяги або підштовхування (з необхідністю повного або часткового повернення із пунктів оберту або відправлення локомотивів резервом за поїздами у пункти оберту);
- при оперативному керуванні локомотивним парком в умовах нерівномірного руху поїздів.

Резервні пробіги негативно впливають на продуктивність праці локомотивних бригад та енергетичні витрати на тягу поїздів. Величина резервного пробігу впливає на розмір загального пробігу локомотивів, що приписані до депо, і на чисельність локомотивних і ремонтних бригад.

Резервний пробіг впливає й на витрати, що пов'язані з розміром загального пробігу локомотивів. Економія витрат у результаті скорочення резервного пробігу локомотивів складатиме

$$\Delta E = \frac{E_{p.лок} + E_{ек} + E_{рем}}{\sum MI} \Delta MI + \frac{\Delta MI \cdot C_{л} \cdot K_{ам}}{100}, \quad (4)$$

де $\sum MI$ – скорочення загального пробігу локомотивів;

ΔMI – кількість локомотивів, що звільнились у зв'язку із скороченням резервного пробігу;

$C_{л}$ – вартість локомотивів, грн.;

$K_{ам}$ – норма амортизаційних відрахувань.

Величина ΔM визначається за формулою

$$\Delta M = \frac{\Delta Ml}{S_{\text{доб.ан}} 365} . \quad (5)$$

Звідки зміна собівартості

$$\Delta C = \frac{\Delta E}{\sum Ql_{\text{ан}}} \text{ на } 10000 \text{ ткм брутто}, \quad (6)$$

$$\Delta C' = \frac{\Delta C}{C_{\text{ан}} \pm \Delta C} 100\% . \quad (7)$$

Як показують розрахунки, при збільшенні резервного пробігу продуктивність праці локомотивних бригад знижується, а витрати по заробітний платні збільшуються. В умовах стійко функціонуючої залізниці необхідно прийняти низку заходів по максимально можливому зниженню резервного пробігу, що може бути реалізовано шляхом зрівняння кількості поїздів, що відправляються у вантажному напрямку, з кількістю поїздів у порожньому напрямку. Це може бути досягнуто як за рахунок збільшення ваги вантажних поїздів, так і за рахунок збільшення навантаження вантажів у порожньому напрямі.

Збільшення безвідчипного слідування локомотивів на тягових плечах також є одним із умов подальшого збільшення ефективності використання локомотивного парку.

Але у процесі реалізації цього заходу багато залізниць і депо зустрічаються з серйозними труднощами. Наприклад, на електровозах вони можуть виникати із-за перевитрати піску при поїздах. Досвід експлуатації електровозів показує, що електровози витрачають піску приблизно в 3 - 4 рази більше, ніж тепловози. При безвідчипній роботі тепловозів на подовжених тягових плечах у ряді випадків «вузьким» місцем може стати недостача палива. Величина найбільшого пробігу локомотивів між наборами піску або дизельного палива може бути визначена із залежності

$$L_{\text{max}} \leq \frac{\alpha V}{Qq} , \text{ км} \quad (8)$$

де α - коефіцієнт, що враховує 10-процентний запас піску або палива на локомотивах;

V – ємність пісочних бункерів або баків дизельного палива в м³;

Q – вага поїзда брутто в т;

q – питома витрата піску на 10⁶ ткм брутто або дизельного палива на 10⁴ ткм брутто.

Відстань, яку електровози проходять без додаткового набору піску, може бути збільшена за рахунок модернізації ємності бункерів пісочниць шляхом нарощування їх або установки додаткових бункерів, а також за рахунок більш раціонального використання запасів сухого піску при прямуюванні в одному напрямі.

Ще одним резервом підвищення ефективності використання локомотивів є збільшення часу його корисної роботи за добу. Тривалість корисної роботи локомотива за добу визначається низкою умов: часом простою локомотива в основних та оборотних депо і на сортувальних станціях, кількістю одиночних (резервних) пробігів та часом простою локомотива в робочому стані. На час корисної роботи локомотивів впливає також тривалість їх простою у ремонті.

Аналіз фактичного положення з використанням локомотивів за часом показує, що у середньому локомотивні бригади зайняті безпосередньо у поїзній роботі тільки 60...65% робочого часу, а останні 35...40% витрачаються ними на очікування, прийом, видачу та екіпірування локомотивів.

Практика роботи ряду депо надає багато прикладів, що переконливо підтверджує можливість скорочення часу на виконання допоміжних операцій не менше, ніж на 10...15%, що підвищує ефективність використання локомотивів та забезпечує зростання продуктивної праці локомотивних бригад і може впливати на ці показники в більшій мірі, ніж швидкість руху поїздів.

Для досягнення зазначеної мети необхідно покращити диспетчерське керівництво; стимулювати роботу машиністів, ремонтних бригад, робітників вагонних депо, дистанції колії та ділянок енергозабезпечення.

Зокрема реалізація цих поїздів можлива за рахунок швидкісної обробки рухомого складу, скорочення диференційованих норм знаходження локомотивів на станційних та деповських шляхах, розробки передових технологічних норм водіння поїздів.

Важливим резервом покращення використання маневрових локомотивів є перш за все удосконалення організації їх роботи. Про значення цього резерву можна судити по тому, що на маневровій роботі зараз зайнято більш 20% усього робочого парку локомотивів, при чому більше 70% з них розташовується на дільничних, вантажних та проміжних і 30% на сортувальних станціях.

Витрати на маневри складають біля 10% усіх експлуатаційних витрат на перевезення вантажів та пасажирів. Удосконалення плану формування поїздів і підвищення питомої ваги великовагових вагонів можуть сприяти покращенню використання маневрових локомотивів, знизити загальні витрати коштів на одиницю перевізної роботи.

Не дивлячись на це, використання маневрових локомотивів на більшості залізниць поки що організовано незадовільно. На багатьох станціях, особливо проміжних, простой маневрових локомотивів у очікуванні роботи перевищують 30% їх робочого часу.

Одним із прогресивних методів, що забезпечує швидкісну обробку транзитних вагонопотоків на сортувальних станціях, є диспетчерське керівництво маневровою роботою. Цей захід, що вперше був застосований на станції Дебальцеве Донецької залізниці, надає великий ефект. Концентрація переробки вагонів на крупних сортувальних станціях, вантажної роботи на окремих проміжних станціях також створює умови для покращення використання маневрових локомотивів. Крім того одним із важливих заходів по подальшому підвищенню використання маневрових локомотивів є поновлення маневрового парку.

Висновки:

1. В умовах дефіциту фінансових інвестицій локомотивне господарство має ряд резервів покращення своєї роботи за рахунок впровадження режимів економії та модернізації своїх господарств.
2. Питання, що розглядались, можуть бути покладені в основу організаційних напрямів підвищення ефективності роботи господарств залізниць.

Список літератури

1. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України - Київ: Державна Адміністрація Укрзалізниці, 1998.
2. Гончаров Н.Е., Казанцев В.П. Маневровая работа на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт, 1978. - 183 с.
3. Гончаров Н.Е. Повышение качества и эффективности управления транспортными средствами. - К.: «Будівельник», 1976. - 152 с.

УДК 656.086

Горобченко О. М., к.т.н.(ДонІЗТ)

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ДІЇ ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД В НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЯХ

Постановка проблеми. Підвищення рівня безпеки руху поїздів є одним з головних завдань всіх працівників залізничного транспорту. Важливу роль в забезпеченні безпеки руху відіграє людський фактор. Майже кожний випадок брака, а тим більше аварії пов'язаний з порушеннями ПТЕ, інструкцій і посадових обов'язків.

Аналіз досліджень і публікацій. Ці питання досліджувались в роботах [1-3], де наведено всебічний аналіз як безпосередніх так і непрямих причин виникнення браків в роботі локомотивних бригад.

В [4] при визначенні імовірності транспортної події пропонується використання виразу

$$P(\Pi) = P(C_i) \cdot k_{\text{лф}} \quad (1)$$

де $P(\Pi)$ – імовірність транспортної події;

$k_{\text{лф}}$ – коефіцієнт, що враховує людський фактор, $0 < k_{\text{лф}} < 1$. Близкість $k_{\text{лф}}$ до одиниці означає найнесприятливіший збіг обставин, впливаючих на робітника;

$P(C_i)$ – вірогідність виникнення нештатної ситуації в процесі роботи за даних умов.

Коефіцієнт $k_{\text{лф}}$ є характеристикою поведінки людини в нештатній ситуації. Цей параметр характеризує здатність локомотивної бригади запобігти розвитку транспортної події і напряму впливає на її імовірність.

Формулювання цілей статті. Призначення $k_{\text{лф}}$ полягає в тому, щоб дати комплексну оцінку спроможності локомотивної бригади уникнути або мінімізувати наслідки транспортної події. По-перше потрібно визначити чим обумовлюється така спроможність. Які фактори впливають на той факт, що в однакових за складністю і подібних за обставинами нештатних ситуаціях (НС) локомотивні бригади діють по-різному. Одні машиністи правильно оцінюють обстановку і вчасно вживають заходів по недопущенню розвитку НС в транспортну подію (ТП). Інші не можуть

знайти існуючі шляхи уникнення браку в роботі, а інколи навіть не в змозі виявити нештатну ситуацію, що склалася, доки не станеться аварія.

Таким чином постає задача виявлення і оцінки кола факторів, що впливають на величину $k_{лф}$.

Викладення основного матеріалу. В [1] визначений ряд причин, що призводять до виникнення ТП.

Видно, що спектр причин транспортних подій з вини локомотивних бригад достатньо великий. Тому для можливості отримання чисельного значення коефіцієнта $k_{лф}$ пропонується їх класифікувати за групами (рисунок 1)

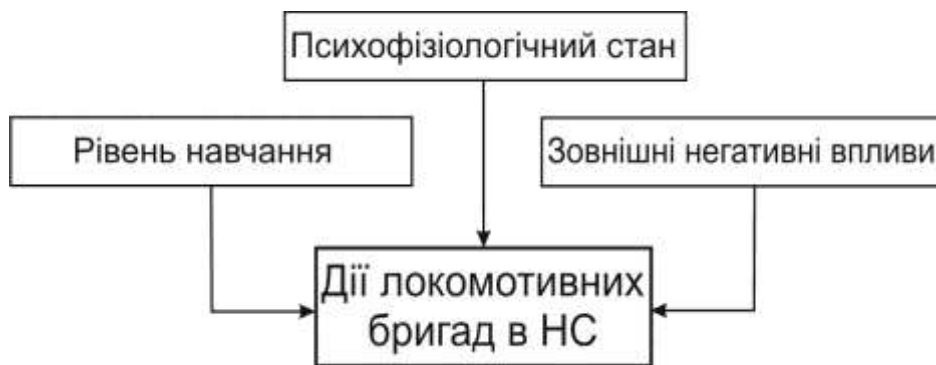


Рисунок 1. – Впливи, що визначають дії локомотивних бригад в нештатних ситуаціях

Оцінка психофізіологічного стану. В теперішній час методика визначення психофізіологічного стану локомотивних бригад на Укрзалізниці достатньо розроблена під керівництвом В. М. Самсонкіна [5]. Тому для оцінки впливу цієї групи факторів на коефіцієнт $k_{лф}$ скористаємося існуючими розробками. Психофізіологічне забезпечення діяльності працівників локомотивних бригад містить: первинний професійний психофізіологічний добір; періодичне психофізіологічне обстеження; розширене психофізіологічне обстеження; проведення корегуючих і реабілітаційних заходів.

Загальними для всіх видів руху психофізіологічними якостями, які забезпечують професійну придатність працівників локомотивних бригад та бригад спеціального рухомого складу є: готовність до екстреної дії, пильність, швидкість сенсомоторної реакції; високий рівень стійкості уваги та швидкості її переключення; емоційна стійкість.

Висновок щодо професійної придатності за результатами психофізіологічного профдобиру разом із результатами обстеження за кожною методикою заносять в особисту карту, що містить такі дані: перелік психофізіологічних методик (сенсомоторні реакції, реакції на об'єкт, що

рухається, увага, швидкість переключення уваги та ін.), перелік психофізіологічних показників та їх оцінювання. За даними оцінювання складається особиста картка результатів обстеження, що включає таблицю 1.

Значення цих показників в цілому дає уяву про психофізіологічний стан робітника (ПСР). ПСР пропонується формалізувати за допомогою коефіцієнта μ_{po} – коефіцієнт результатів обстеження, визначення якого наводиться нижче. Цю величину пропонується розглядати як постійну складову при отриманні поточного ПСР в умовах виконання їм операцій по керуванню та обслуговуванню локомотива. Крім того на стан робітника впливає динамічна складова у вигляді зовнішніх робочих впливів (x_{36}).

Коефіцієнт $\mu_{po} \in (0;1)$ пропонується як узагальнений показник психофізіологічного стану робітника за даними обстеження. Його пропонується визначати як середньоарифметичне оцінювання психофізіологічних показників (стовбець 4 таблиці 1). Але для цього потрібно привести всі параметри до безрозмірних коефіцієнтів.

Це пропонується виконати за допомогою виразу

$$k_i = \frac{A}{A_{max} - A_{min}} \quad (2)$$

де k_i – коефіцієнт, що характеризує величину i -го психофізіологічного показника;

A – абсолютне значення психофізіологічного показника;

A_{max} , A_{min} – максимально та мінімально можливі абсолютні значення значення психофізіологічного показника.

Таблиця 1. - Особиста картка результатів обстеження

№ п/п	Перелік психофізіологічних методик	Перелік психофізіологічних показників	Оцінювання
1	2	3	4
1	Сенсомоторні реакції	проста сенсомоторна реакція складна сенсомоторна реакція	ТПР = мс Кпр = ТСКЛ = мс Оскл =
2	Реакції на об'єкт, що рухається	точні попадання	ПТП =
3	Увага	стійкість уваги	ПСТУ = Оуст =
4	Пам'ять зорова і слухова	пам'ять зорова пам'ять слухова	ПЗ = ПС =
...

Крім того потрібно, щоб коефіцієнт k_i відображав однакову якісну характеристику того чи іншого показника. Для цього треба визначитись, що збільшення k_i покращує психофізіологічний стан, а зменшення – погіршує його (або навпаки). В залежності від цього використовується або формула (2) або (3)

$$k_i = 1 - \frac{A}{A_{max} - A_{min}} \quad (3)$$

Тут пропонується в подальшому мати на увазі, що при збільшенні коефіцієнта k_i ПСР покращується.

Тоді коефіцієнт результатів обстеження визначається виразом

$$\mu_{po} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n} \quad (4)$$

де n – загальна кількість показників оцінювання (з таблиці 1).

Оцінка зовнішніх негативних впливів на локомотивну бригаду. В [3] вказано, що за 8 годин поїзної роботи на машиніста магістрального локомотива діють в середньому біля 7000 різних подразників, з яких 900 є виживими, такими що визначають безпеку руху (коліїні сигнали, сигнали залізничних переїздів і інше).

Раніше було вказано, що психофізіологічний стан локомотивної бригади визначають два параметри: постійна складова (постійна мається на увазі в межах короткого періоду часу – поїздки, зміни) коефіцієнт результатів обстеження μ_{po} ; динамічна складова у вигляді зовнішніх робочих впливів (x_{36}), що може постійно змінюватись, покращувати або погіршувати ПСР. Тобто, $ПСР = f(\mu_{po}, x_{36})$. Визначимо, від чого залежить складова x_{36} .

Одним з факторів, що впливає на динамічну складову ПСР є тривалість безперервної праці. За даними [3] з зростанням тривалості безперервної роботи збільшується не тільки частота проїздів заборонний сигналів, але і довжина шляху, що проходить локомотив або поїзд до зупинки за сигналом. Якщо прийняти час реакції здорового машиніста, що відпочив, в межах 2,5-3 с, то час реакції втомленого машиніста збільшується в 4-8 разів.

В теперішній час на Укрзалізниці ситуація з проїздами заборонних сигналів виглядає як показано на рисунку 2. Найбільше проїздів допускаються у травні, липні, а особливо - у жовтні місяцях. Пояснюється це жарою, що впливає на час реакції машиніста, перехідним станом між теплим та холодним періодом року, коли значно починає скорочуватися день, погіршуються погодні умови. Також спостерігається підвищення кількості браків в травні, який характеризується хорошими кліматичними умовами і наявністю святкових днів.

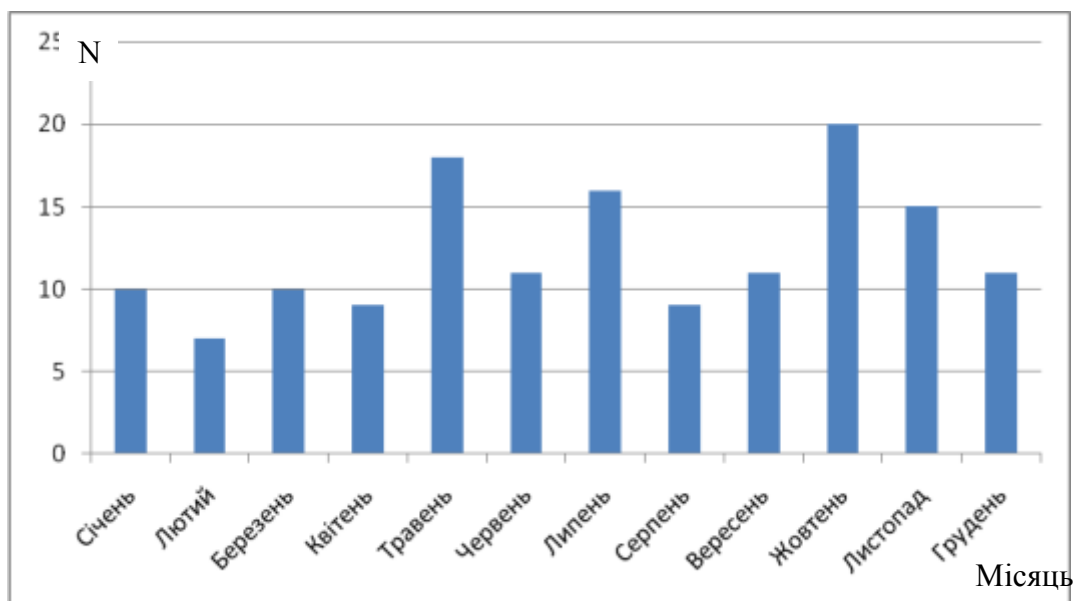


Рисунок 2. - Розподіл випадків браку в роботі в локомотивному господарстві УЗ за період 1992 – 2008 р за місяцями.

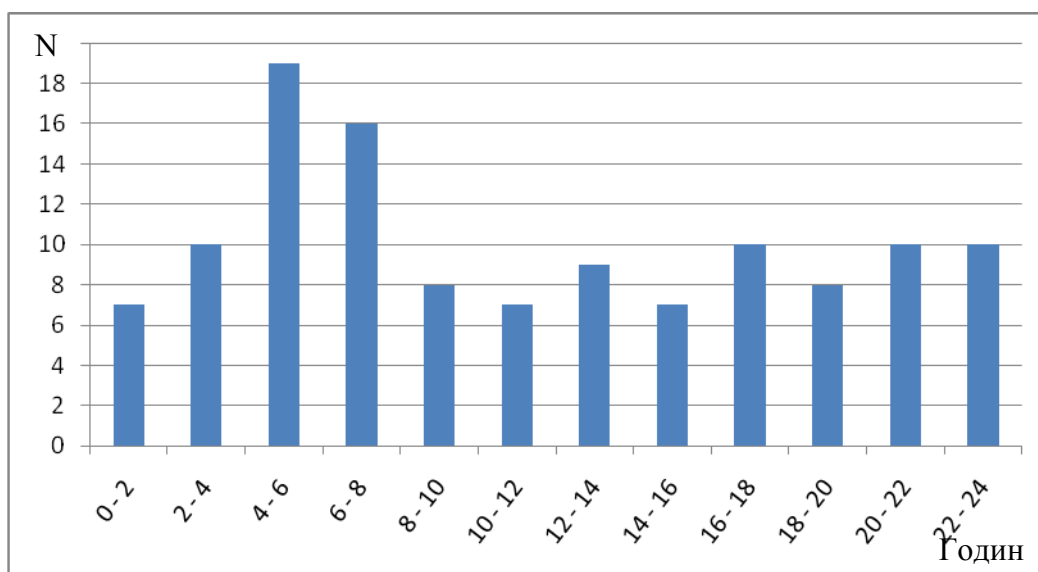


Рисунок 3. - Розподіл випадків проїзду заборонного сигналу в локомотивному господарстві УЗ за період 1992 – 2008 р за годинами доби

Статистика підтверджує, що найбільш несприятливі для машиніста є ранішні години. Кількість проїздів в цей період визначається як психофізіологічним станом машиніста, так і технологією перевізного процесу в тому чи іншому виді руху. Дані Укрзалізниці наведені на рисунку 3.

За даними [6] :

- кожен п'ятий машиніст незадоволений сном в домашніх умовах, не кажучи вже про умови в пунктах обороту. Приблизно у 15% працюючих машиністів сон недостатньо глибокий і в такої ж кількості він скорочений, тобто майже в третини машиністів є відхилення по якості сну;
- сонливість в денному рейсі відмічають 4,4-6%, а ніччю – близько третини машиністів;
- в денний час найбільша сонливість спостерігається близько 9.00, 15.00 та 18.00 або наприкінці поїздки. В нічний час сонливість настає на 3-4 годині роботи (у 69%) або в інтервалі 4.00-7.00;
- підвищена сонливість спостерігається після перенесеного грипу;
- сонливість сильно залежить від пори року: найменша вона влітку, найбільша – взимку;
- помірний прийом їжі вдень збільшував сонливість у 23% опитаних машиністів, а вночі знижував у 25% опитаних;
- в домах відпочинку в пункті обороту 41% машиністів не сплять. Інші сплять в основному біля двох годин і нерідко з пробудженнями;
- сонливість після відпочинку в пункті обороту проявляється в 5 разів частіше, чим після домашнього відпочинку.

З вище наведеного видно, що на величину динамічної складової ПСР впливає багато чинників, що змінюються або поступово в часі, або миттєво. Оцінку величини $x_{зф}$ в першому наближенні можна виконати за допомогою метода експертних оцінок. Для більш точного визначення потрібно проведення додаткових досліджень разом з медиками та психологами.

Оцінка рівня навчання локомотивних бригад. Оцінка рівня навчання і підготовки локомотивних бригад здійснена за даними Ясинуватської дортехшколи. Оброблені протоколи проведення кваліфікаційних іспитів робітників, які навчаються за курсовою формою навчання перепідготовки машиністів тепловоза, машиністів електровоза, помічників машиніста електровоза та тепловоза. Період вибірки протоколів склав 6 років – з 2004 по 2009 рр.

Щорічно дортехшкола випускає дві-три групи машиністів та помічників машиніста. Загальна кількість осіб, що навчалися вище наведеним професіям згідно до протоколів склала 749.

Середнє значення балів при оцінці якості підготовки машиністів і помічників машиністів по роках розподілилось як показано на рисунку 4. Середній бал помічників машиніста в основному вищий (окрім 2009 року) за середній бал машиністів. Це можна пояснити більш складною програмою підготовки останніх, значно більшим об'ємом знань, що потрібно засвоїти.

В цілому на середні бали не впливає вид тяги (тепловозна чи електровозна), за якою навчається особа (таблиця 2).

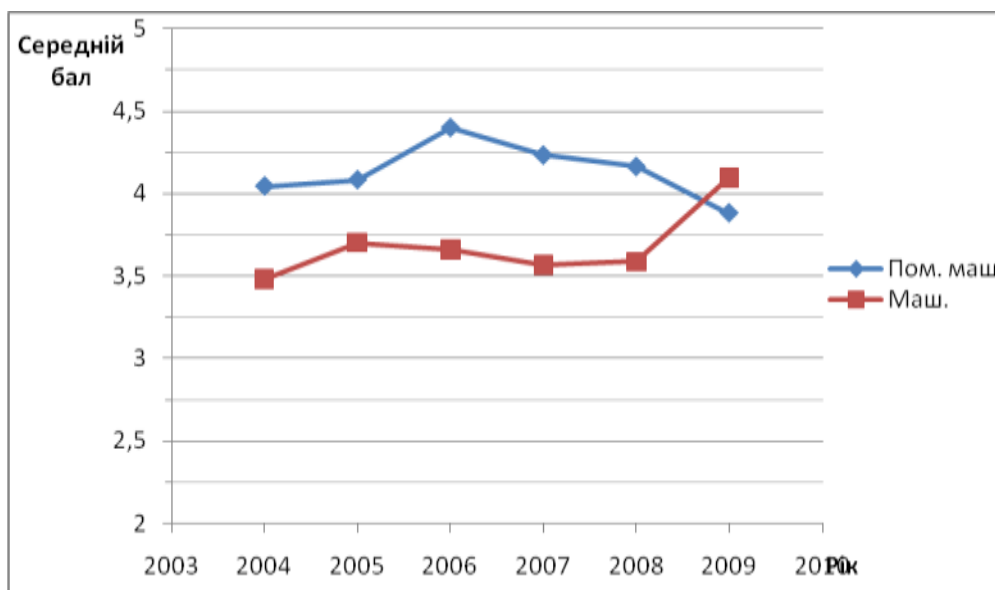


Рисунок 4. – Середні бали при складанні іспитів на кваліфікацію машиністів та помічників машиністів.

З цього можна зробити висновок, що з боку людини, що навчається, складність сприймання і вивчення електровозів та тепловозів однакова, або різниця є настільки незначною, що губиться в колі загальних дисциплін, таких як «ПТЕ», «Автогальма», «Охорона праці» і т. п.

Таблиця 2. – Середній бал по професіям за період 2004-2009 рр.

Найменування професії	Середній бал за період 2004-2009 рр
Машиніст електровозу	3,65
Машиніст тепловозу	3,7
Пом. машиніста електровозу	4,15
Пом. машиніста тепловозу	4,04

Аналізуючи дані навчання локомотивних бригад, потрібно дати відповідь на важливе питання: як рівень професійної підготовки впливає на дії локомотивних бригад в нештатних ситуаціях і, врешті, на безпеку руху поїздів.

Прямої функціональної залежності цих параметрів не знайдено. Але побічно можна зробити деякі висновки за допомогою кореляційного аналізу. В даному випадку використаємо в якості методу дослідження кількісних ознак коефіцієнт кореляційного відношення Пірсона, що використовується для виміру тісноти зв'язку при прямолінійній кореляції. Отримані в результаті використання лінійних методів кореляційного аналізу висновки можуть підтвердити або спростувати гіпотезу про

існування лінійного зв'язку між рядами, але не зв'язку іншого типу. Висновок в даному випадку такий: чим ближче отримана величина кореляційного відношення до 0, тим слабніше сила лінійного зв'язку між рядами, чим ближче отримана величина до значення +1 (повна позитивна кореляція) або до значення -1 (повна негативна кореляція), тим більше сила лінійного зв'язку.

Коефіцієнт кореляційного відношення Пірсона обчислюється за відомою формулою

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

де x_i, y_i – i -ті елементи вибірки

\bar{x}, \bar{y} – середні значення вибірок.

В нашому випадку множина X – це значення середнього бала при здаванні кваліфікаційних іспитів локомотивними бригадами по роках. Для того, щоб врахувати рівень підготовки машиністів та помічників машиніста, пропонується складання їх середніх балів по роках (можливе також визначення середньоарифметичного значення річного балу машиністів та помічників, що не впливає на результат обчислення r).

Множина Y складається з кількості транспортних подій по роках по Донецькій залізниці за період, що розглядається. Для того, щоб коефіцієнт кореляції адекватно відображав зв'язок між кількістю браків та рівнем підготовки локомотивних бригад, пропонується розглядати показники безпеки руху на рік пізніше, ніж середні бали бригад, що будуть поставлені їм і відповідність. Це обумовлюється тим, що після навчання проходить деякий час до тих пір, коли машиністи і помічники машиністів не приступлять до повноцінного виконання своїх обов'язків. Для помічників це період адаптації до нових умов праці, для машиністів період обкатки і отримання дозволу на самостійну роботу на конкретних ділянках.

Тоді вихідні дані до виразу (5) зведемо в таблицю 3.

Підставляючи дані в вираз (5), отримаємо

$$r = -0,799$$

Тобто можна сказати, що існує певний зв'язок між підвищенням рівня підготовки локомотивних бригад та покращенням стану безпеки руху в межах Донецької залізниці.

Таблиця 3. – Значення множин X та Y при визначенні зв'язку між навчанням бригад та рівнем безпеки руху.

Рік	Загальна кількість транспортних подій (Y)	Рік	Рівень підготовки локомотивних бригад по середнім балам (X)
2005	51	2004	7,53
2006	35	2005	7,79
2007	30	2006	8,06
2008	32	2007	7,8
2009	30	2008	7,75

Висновки. В роботі визначено та класифіковано перелік факторів, що впливають на дії локомотивних бригад в нештатних ситуаціях. Більш детально розроблено підходи до оцінки психофізіологічного стану робітників та рівня навчання. Вказано як впливає підготовка машиністів на рівень безпеки руху. Результати цих досліджень можуть бути використані для прогнозування стану безпеки руху з урахуванням людського фактору, а також для поглибленого аналізу та виявлення причин транспортних подій.

Список використаних джерел

- 1 Айзинбуд С. Я., Козубенко В. Г., Курков В. Н. Машинист и безопасность. – М.:Транспорт, 1992. – 48 с.
- 2 Козубенко В. Г. Безопасное управление поездом: вопросы и ответы. – М.: Транспорт, 1992. – 254 с.
- 3 Анализ состояния безопасности движения в локомотивном хозяйстве железных дорогах 1990 г. / А. М. Кривной, В. Н. Рощенко, В. И. Шошин, Г. В. Малашкевич// ОИ/ЦНИИТЭИ МПС, 1991. – 121 с.
- 4 Горобченко О.М. Визначення імовірності виникнення транспортної події в локомотивному господарстві // Транспорт: Зб. наук. праць ДНУЗТ. - Вип. 35. - Дніпропетровськ: ДПТ, 2010. - С.41-44.
- 5 Методичні рекомендації щодо видів і порядку проведення психофізіологічних обстежень і добору працівників локомотивних бригад. № ЦТ-0109. Розробники Самсонкін В. М., Гончаренко В. В., Клімова О. М. та ін. – Київ:Укрзалізниця, 2004. – 43 с.
- 6 Цфасман А. З., Журавлева Г. Н., Янгнев Т. С. Некоторые медицинские рекомендации по борьбе с сонливостью машиниста локомотива в рейсе: Методические рекомендации. М.:Глав. врачебно-сан. упр. МПС, 1991. 15 с.

УДК 629.424.1

*Фалендиш А.П., д. т. н. (УкрДАЗТ)
Володарець М.В., аспірант (УкрДАЗТ)*

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ ВИБОРУ ПОТУЖНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗУ ІЗ ГІБРИДНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ

Постановка проблеми. В експлуатації потужність силової установки тепловозу змінюється в широких межах. З багатьох спостережень виходить, що коефіцієнт завантаження силової установки локомотиву залежить від полігону експлуатації і в основному не перевищує величини 0,5. [1] Тобто середня експлуатаційна потужність силової установки локомотиву складає не більше половини від її повної потужності.

Якщо встановити на локомотив накопичувач енергії достатньої ємності, то встановлену потужність силової установки можна знизити у два рази і більше, без шкоди для виконання тягової роботи.

У якості можливих накопичувачів енергії можуть бути використані акумуляторні батареї, конденсатори високої ємності, гіроскопічні апарати [2]. Енергоемність накопичувача на локомотиві обмежена ваговими, об'ємними і вартісними характеристиками.

Тому є доцільним визначення мінімальної енергоемності накопичувача, яка необхідна для виконання певного виду роботи локомотиву.

Мета статті. Розробка моделі визначення необхідної енергоемності накопичувача енергії та потужності силової установки для маневрового тепловозу із гібридною передачею.

Викладення основного матеріалу. Застосування накопичувачів енергії у тяговій мережі локомотиву – є одним із шляхів зниження витрат палива на тягу в усьому світі [3]. Це є найбільш актуальним для тягового рухомого складу, який працює у імпульсному режимі, наприклад: моторвагонний рухомий склад, маневрові локомотиви.

Практика доводить, що середньоексплуатаційна потужність дизелів маневрових тепловозів складає 10-15% від номінальної потужності дизеля. Тому використання накопичувача енергії саме для маневрового тепловозу є найбільш доречним.

Для проектування гібридного тепловозу необхідно визначитись із параметрами дизель-генераторної установки і накопичувачів енергії.

Локомотив працюватиме за наступною схемою: робота на середніх навантаженнях буде забезпечуватися роботою двигуна малої потужності, під час роботи на холостому ході та низьких навантаженнях двигун малої потужності буде поповнювати запас енергії у накопичувач і здійснювати роботу тепловоза, а на високих навантаженнях робота тепловоза буде здійснюватися за рахунок енергії накопичувача і за рахунок роботи двигуна малої потужності.

Існуючі моделі розрахунку параметрів локомотиву [4,5,6] не передбачають гібридну тягу, тому в даному виді використовуватись не можуть і потребують їх доопрацювання. Було розроблено модель визначення техніко-економічних показників маневрового тепловозу із гібридною передачею [7], але виникає необхідність у визначенні його оптимальних параметрів.

Першим кроком для вирішення цього питання є розробка моделі визначення необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки для маневрового тепловозу із гібридною передачею. Було розроблено таку модель.

Процедура вирішення цієї задачі представлена на рисунку 1.

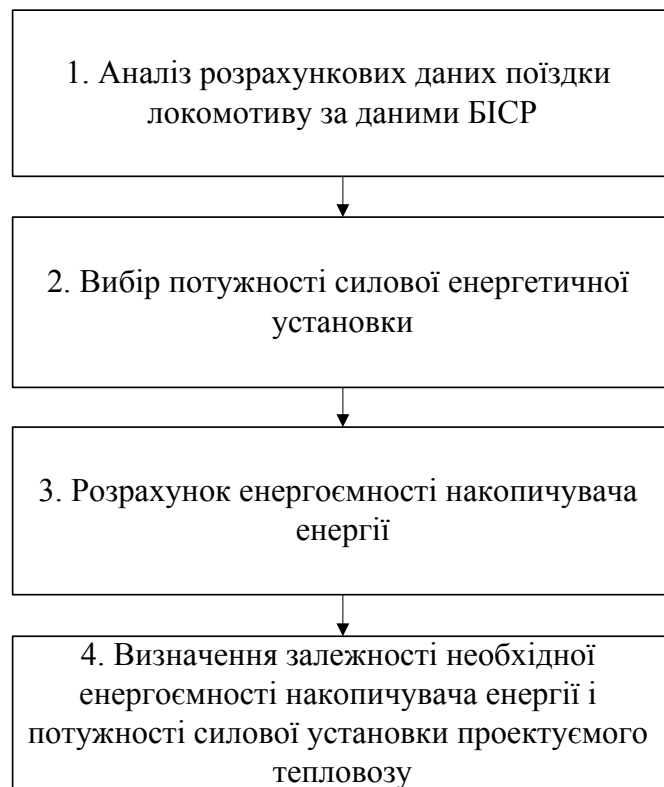


Рисунок 1. – Процедура визначення необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки маневрового тепловозу із гібридною передачею

На основі розробленої процедури було складено алгоритм програми розрахунку необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки маневрового тепловозу із гібридною передачею, який зображено на рисунку 2.

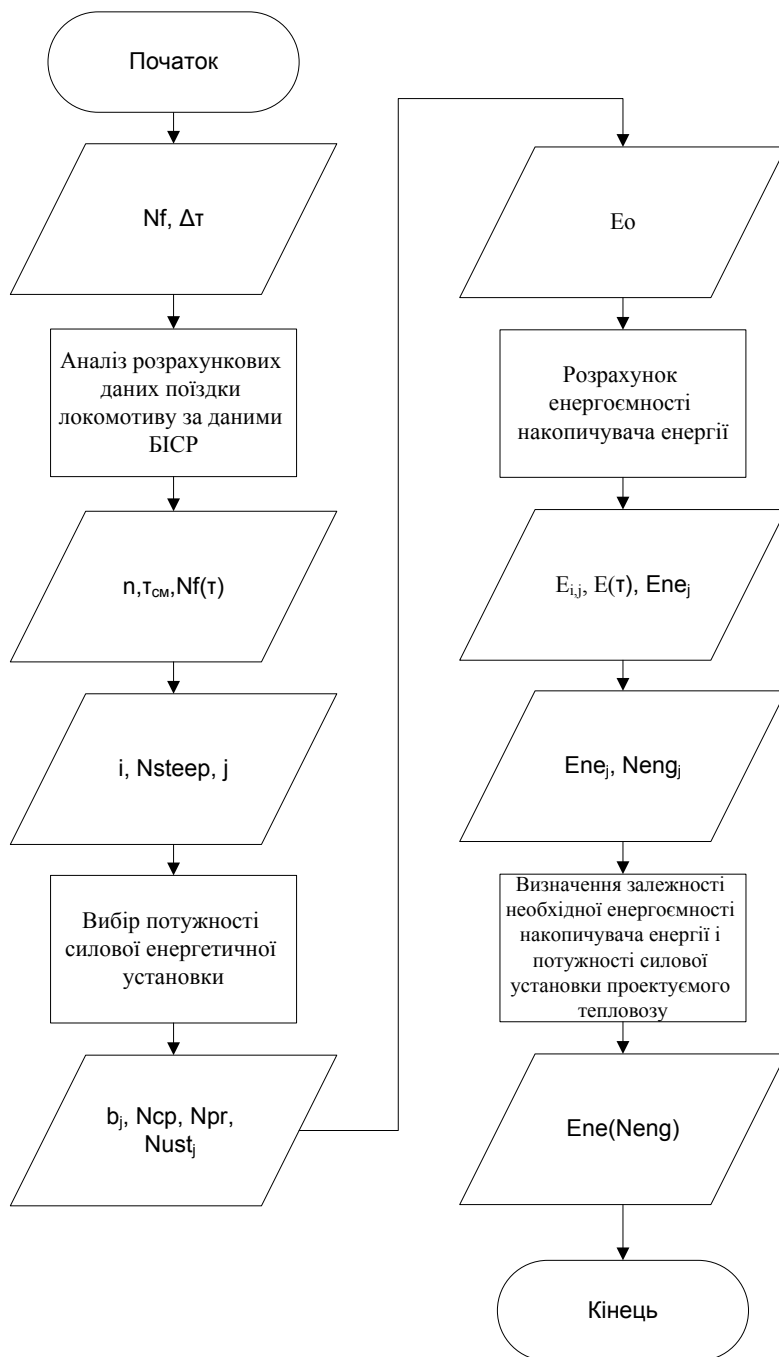


Рисунок 2 – Алгоритм програми розрахунку необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки маневрового тепловозу із гібридною передачею

Для аналізу даних БІС-Р вихідними даними є: потужність силової установки N_f , яка визначалась протягом поїздки кожні 2 хвилини Δt . В результаті отримуємо: значення кількості зафіксованих даних n , тривалість роботи тепловозу τ_{cm} , а також залежність $N_f(\tau)$.

Під час вибору потужності силової енергетичної установки вихідними даними є: вектор i за даними БІС-Р, кількість шагів N_{steep} змінювання потужності силової установки, що розраховується, а на основі цього вектор j . При цьому обчислюються: коефіцієнт зміни потужності b_j , середня потужність за даними БІС-Р N_{sp} , потужність N_{pr} , яка приймається у якості базової для розрахунків, потужність силової установки, що розраховується, N_{ustj} .

Для розрахунку енергоємності накопичувача енергії використовуються наступні вихідні дані: початкова потужність розрахунку E_0 . При цьому розраховується мінімально необхідна енергоємність накопичувача енергії E_{ne} в залежності від обраної потужності силової установки, а також визначається енергоємність накопичувача енергії E_{ij} на кожному етапі змінювання необхідної потужності тепловозу, і залежність енергії $E(\tau)$, потребуємої локомотивом від накопичувача, від часу роботи τ .

Для визначення залежності $E_{ne}(N_{eng})$ необхідної енергоємності накопичувача енергії і потужності силової установки тепловозу, що проектується, вихідними даними є вектор N_{engj} значень потужності проектуємої силової установки і вектор E_{ne} значень мінімальної енергоємності накопичувача, необхідної для забезпечення вихідної роботи локомотиву.

На основі запропонованого алгоритму було розроблено програму розрахунку необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки маневрового тепловозу із гібридною передачею за допомогою пакету програм Mathcad, вікно якої зображено на рисунку 3.

Використовуючи цю програму при проектуванні маневрового тепловозу із гібридною передачею, можна вибрати раціональні співвідношення його силової установки і накопичувача енергії.

Розглянемо її застосування на прикладі тепловозу ЧМЕЗ.

За даними БІС-Р для тепловоза ЧМЕЗ №2191 було побудовано залежність експлуатаційної потужності локомотиву N_{fi} від часу його роботи t_i . Цю залежність зображено на рисунку 4.

Далі обираємо потужність силової установки локомотиву i в залежності від цього розраховуємо енергоємність накопичувача енергії для кожного i -того шагу зміни експлуатаційної потужності локомотиву. Графічно це зображується у вигляді залежності енергоємності E_i накопичувача енергії від часу роботи локомотиву T_i .

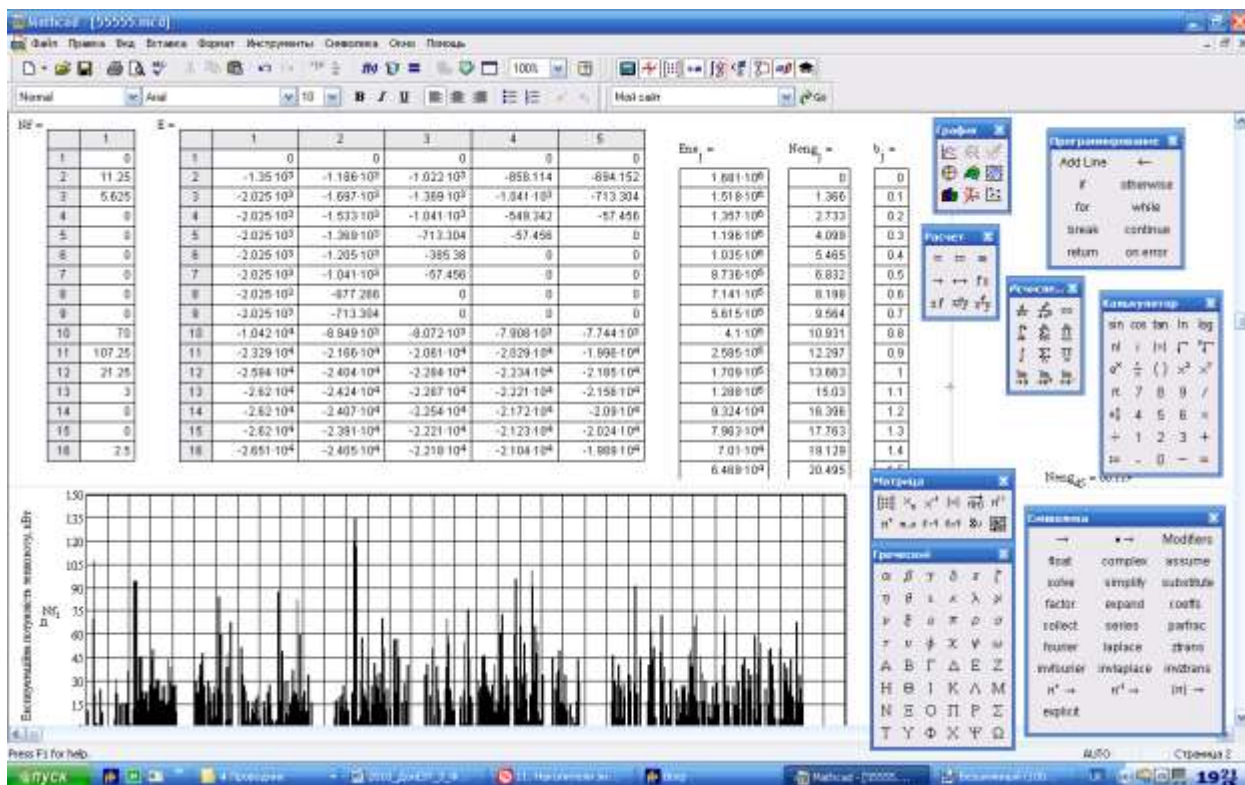


Рисунок 3. – Вікно програми розрахунку необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки маневрового тепловозу із гібридною передачею

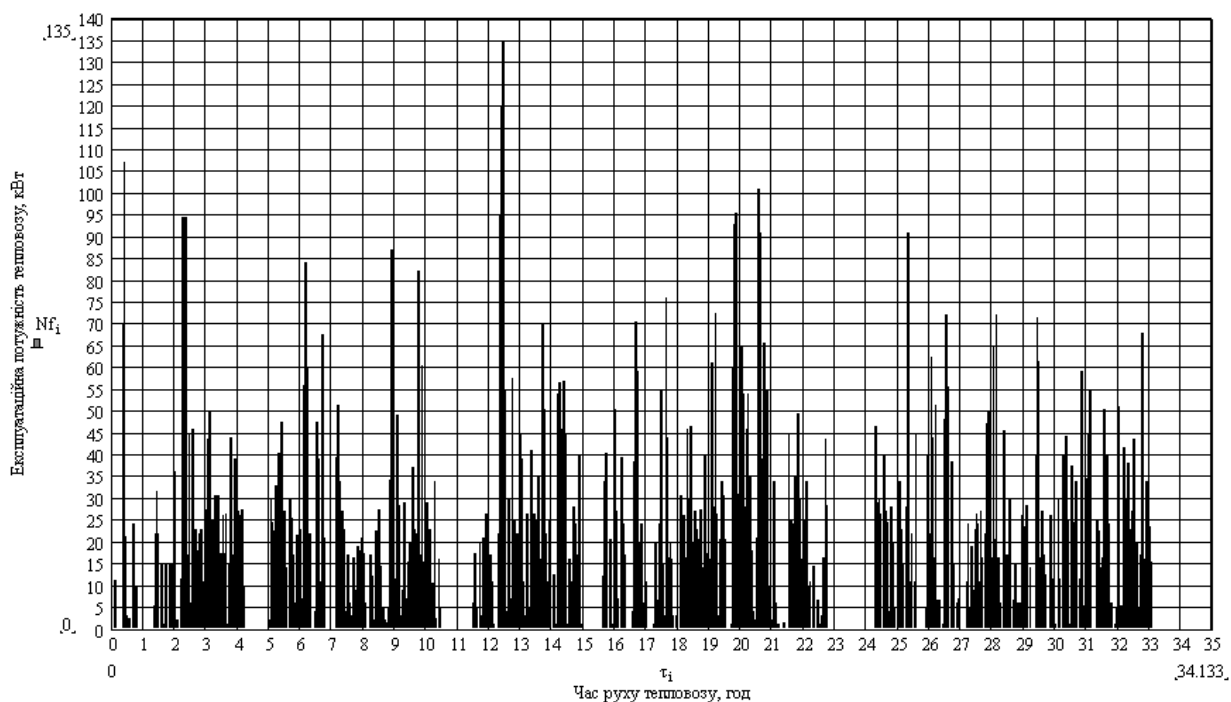


Рисунок 4. – Залежність експлуатаційної потужності тепловозу ЧМЕЗ від часу його роботи за даними БІС-Р

Так, на рисунку 5 для розглянутого вище режиму роботи тепловозу ЧМЕЗ наведено залежність E_i (τ_i) при обраній потужності N_{eng} силової установки 60 кВт.

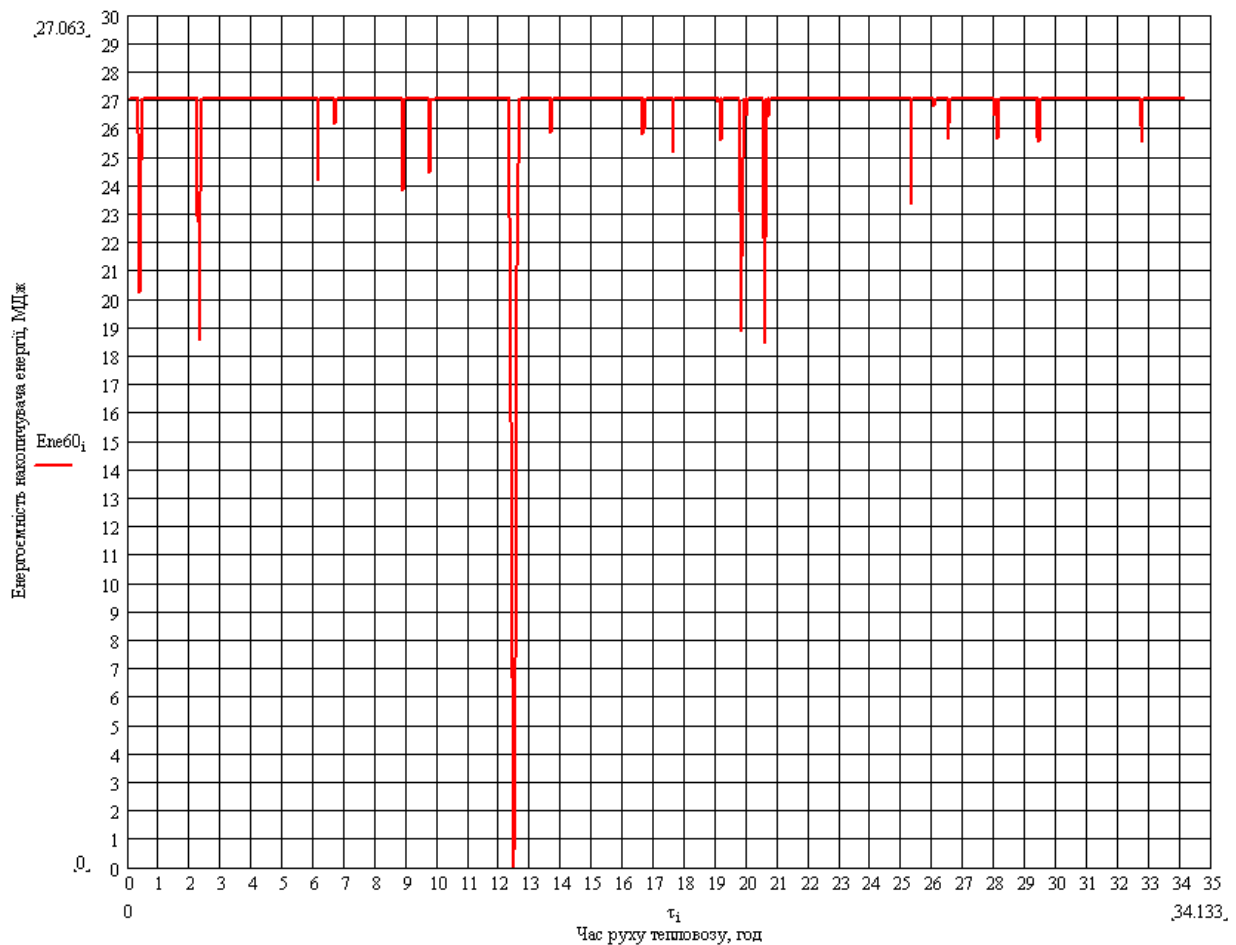


Рисунок 5. – Залежність енергоємності накопичувача енергії від часу роботи локомотиву τ_i . для потужності силової установки 60 кВт

З наведеного рисунку виходить, що для силової установки потужністю 60 кВт необхідно обрати накопичувач енергії із мінімальною енергоємністю 27 МДж.

І на завершальному етапі для проектуємого тепловозу з урахуванням зміни його експлуатаційної потужності будується залежність енергоємності накопичувача енергії E_{ne} від потужності обраної силової установки N_{eng} . Залежність $E_{ne}(N_{eng})$ для розглянутого режиму роботи тепловозу ЧМЕЗ зображено на рисунку 6.

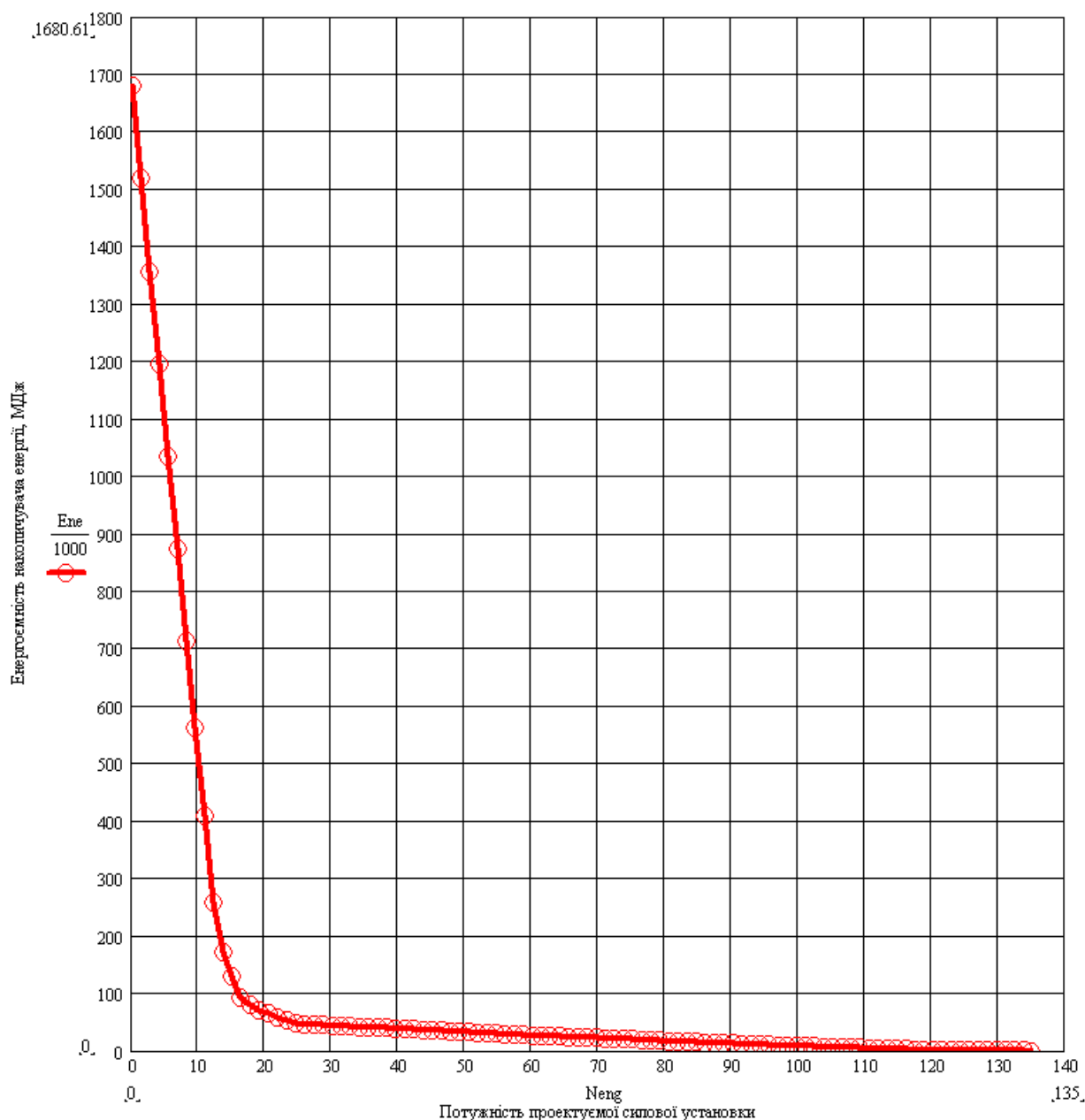


Рисунок 6. – Залежність енергоємності накопичувача енергії E_{ne} від потужності обраної силової установки N_{eng} для заданого режиму роботи

Обираючи тип накопичувача, потрібно також враховувати його масо-габаритні показники. Тому виникає необхідність у розрахунку граничної енергоємності накопичувачів енергії, яка обмежується вільним простором тепловозу. Для цього необхідно знати їх питоми вагу і ємність.

В таблиці 1 наведено питомі показники різноманітних накопичувачів енергії.

Таблиця 1. – Питомі показники накопичувачів енергії

Тип накопичувача	Питома маса, кг/кДж	Питомий об'єм, л/кДж
Конденсатор ООО «МНПО Эконд»	0,37	0,19
Електрохімічний конденсатор «Эсма»	0,068	0,0465
Маховичний	0,0042	0,0009
Нікель-кадмієвий акумулятор	0,021	0,012
Літій-іонний акумулятор	0,0003	0,001

На основі цих показників, а також за умови обмеження вільного простору тепловозу ЧМЭЗ, було розраховано граничну енергоємність різноманітних накопичувачів енергії. Результати розрахунку наведено у таблиці 2.

Таблиця 2. – Результати розрахунку граничної енергоємності різноманітних накопичувачів енергії для тепловозу ЧМЕЗ.

Тип накопичувача	Енергоємність за типом обмеження, МДж	
	За масою	За об'ємом
Конденсатор ООО «МНПО Эконд»	54	211
Електрохімічний конденсатор «Эсма»	294	860
Маховичний	4761	44444
Нікель-кадмієвий акумулятор	952	3333
Літій-іонний акумулятор	66667	40000

Із порівняння розрахунків, які наведено у таблиці 2 і на рисунку 6, виходить, що для локомотиву ЧМЕЗ можна обрати будь-який із вищенаведених накопичувачів за умови їх масо-габаритних параметрів.

Висновки.

- 1) Проведений аналіз роботи існуючих маневрових тепловозів.
- 2) Розроблена модель розрахунку необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки маневрового тепловозу із гібридною передачею, процедура, алгоритм та на основі їх програма цього розрахунку.
- 3) Обґрунтовано доцільність використання різноманітних накопичувачів енергії за умови їх масо-габаритних параметрів.
- 4) В подальшому необхідно розробити модель визначення оптимальних параметрів маневрового тепловозу із гібридною передачею, виходячи з економічної ефективності цього заходу.

Список літератури

1. Коссов Е. Е., Азаренко В. А., Комарицкий М. М. К вопросу выбора мощностных характеристик перспективного автономного тягового подвижного состава // Транспорт Российской Федерации. — 2007. — № 10. — С. 20-21.
2. Гулиа Н.В. Накопители энергии. - М.: Наука, 1980, с.137-138.
3. Фалендыш А.П., Володарец Н.В. Оценка технического уровня маневровых тепловозов с гибридной передачей // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.— №5(147) 2010. — С. 134-141.
4. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: Учеб. для студентов ВУЗов/ Под ред. А.А. Камаева. — М.: Машиностроение, 1981. — 351с.
5. Конструкция и динамика тепловозов. — 2-е изд., доп.; Под. ред. В.Н. Иванова — М.: Транспорт, 1974. — 336 с.
6. Механическая часть тягового подвижного состава: Учеб. Для вузов ж.-д. т-та. / И.В. Бирюков, А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак и др.; Под ред. И.В. Бирюкова. — М.: Транспорт, 1992. -440 с.
7. Фалендиш А.П., Володарець М.В. Розробка моделі розрахунку техніко-економічних параметрів маневрового тепловозу із застосуванням гібридної тяги // Збірник наукових праць ДонІЗТ. — 2010. - №23. — С. 125-156-162.

УДК 662.76

Грицук І.В., к.т.н, доц. (ДонІЗТ)
Гушчін А.М., к.т.н, доц. (ДонІЗТ)
Прилепський Ю.В., к.т.н, доц. (ДонІЗТ)
Краснокутська З.І., с.н.с. (НТУ, м.Київ)
Адров Д.С., аспірант (ДонНАБА)

**ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПРОГРІВУ
ОХОЛОДЖУЮЧОЇ РІДИНИ
ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, ОСНАЩЕНОГО
СИСТЕМОЮ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.**

Вступ. Багато двигунів внутрішнього згорання застосовуються на енергетичних силових установках, для яких характерна достатньо часта і різка зміна режимів роботи, яка призводить до зміни теплових потоків від газу до стінки циліндра і від стінки в охолоджуючу рідину, що зрештою призводить до зміни температури гільзи циліндра. Ця зміна триватиме до встановлення рівноважного теплового стану, при якому кількість тепла, що підводиться в систему охолодження і відводиться нею, будуть дорівнювати одна одній.

На економічність двигуна внутрішнього згорання та екологічні показники істотну роль відіграє температура стінки циліндра - при дуже високій температурі стінки циліндра зростає кількість викидів NO_x , а при низькій температурі зростає частка незгорілих вуглеводнів і витрата палива. Тому важливо підтримувати температуру стінки циліндра в тому діапазоні температур, при якому досягається компроміс за кількістю викидів NO_x і незгорілих вуглеводнів. Досягти цього можливо шляхом підтримання температури охолоджуючої цю стінку рідини в межах допустимих робочих температур, які обумовлені заводською інструкцією.

Виходячи з вищесказаного ми маємо складну ситуацію для енергетичних установок, що працюють у складі систем утилізації теплоти, коли рідина системи охолодження ДВЗ повинна постійно мати сталу робочу температуру за допомогою системи охолодження з термостатом, а також і в разі холодного пуску і відбору керованої кількості теплоти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Постійні зміни теплового стану двигуна значною мірою впливають на різні параметри його роботи, особливо помітно вплив теплового стану буде відбуватися на показники

економічності двигунів. Ця закономірність виявлена достатньо давно (20 - 30-е роки XX - століття) [1] і в більш пізніший час проводились роботи із визначення впливу теплового стану двигуна на його основні показники [1-7]. При проведенні досліджень особливо зверталась увага на покращення показників економічності двигунів при використанні високотемпературного охолодження [2, 3, 4, 7], це пов'язано зі зміною теплового балансу двигуна.

Метою роботи є підвищення ефективності використання палива та досягнення більш точного регулювання теплового стану двигуна внутрішнього згорання при відведенні теплоти охолоджувальної рідини в залежності від навантаження і частоти обертання колінчастого валу за допомогою розробленої системи регулювання температури, а також розробка методики визначення часу прогріву охолоджуючої рідини ДВЗ, оснащеного цією системою.

Основна частина. При підвищенні температури стінок циліндра відбувається зменшення втрат теплоти в систему охолодження і, як наслідок, покращення економічних показників. В якості прикладу на рисунку 1 наведено залежності питомої витрати палива від температури гільзи у верхньому поясі для дизелів 8ЧН 26/26 і 6Ч 15/18 [8]. Зацікавлює подальший розподіл заощадженого тепла: на збільшення корисної роботи за рахунок робочого процесу йде не більш 10 - 20% цього тепла [1], а в деяких випадках, як наслідок погіршення наповнення циліндра через підігрів всмоктуваного повітря, індикаторний ККД може навіть падати. Для різних двигунів, як показують проведені дослідження [9], підігрів всмоктуваного повітря складає 1,5 - 2,5°C на кожні 10°C підвищень температури стінки.

Іншим важливим показником, на який впливає перерозподіл теплового балансу, є механічний ККД, величина якого значною мірою залежить від теплового стану. В основному це пояснюється тим, що визначаючим, як показано в роботі [1], для механічного ККД є коефіцієнт в'язкості масляного шару між циліндром і поршнем, що змінюється в широких межах, в залежності від температури. Особливо інтенсивна зміна коефіцієнта в'язкості змащувального масла спостерігається при температурах до 110°C. Можливо вважати, що тільки при температурі змащувального масла вище 110°C зміна коефіцієнта в'язкості не може істотно впливати на механічний ККД двигуна. Вплив теплового стану двигуна на механічний ККД підтверджено багатьма дослідженнями, проведеними як для двигунів з рідинним охолодженням [1], так і для двигунів із повітряним [10] охолодженням.

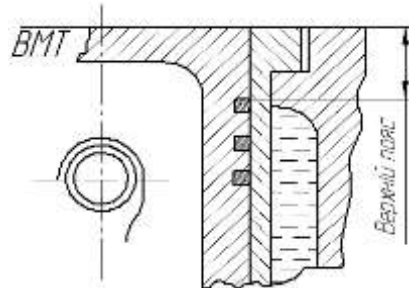
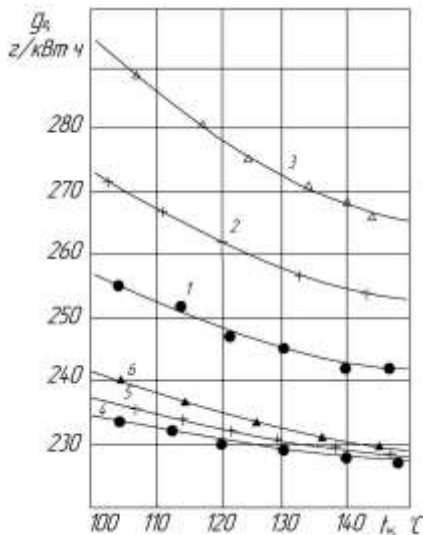


Рисунок 1. - Залежність питомої витрати палива від температури гільзи у верхньому поясі дизелів 6Ч 15/18 і 8ЧН 26/26:

1, 2, 3 – 6Ч 15/18:

1 – $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$; $Ne = 100\%$;

2 – $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$; $Ne = 50\%$;

3 – $n = 950 \text{ хв}^{-1}$; $Ne = 25\%$;

4, 5, 6, - 8ЧН 26/26:

4 – $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$; $Ne = 100\%$;

5 – $n = 700 \text{ хв}^{-1}$; $Ne = 35\%$;

6 – $n = 600 \text{ хв}^{-1}$; $Ne = 25\%$.

Для двигунів з рідинним охолодженням підвищення температури охолоджуючої води з 50°C до 90°C підвищує механічний ККД від 2,2% до 8,5% [1]. Представляють інтерес дані для двигунів з повітряним охолодженням, де механічний ККД розглядається як функція температури стінки циліндра. Відмічається, що механічний ККД зменшується на 2% при зниженні середньої температури стінки циліндра зі 150°C до 110°C і на 6% при подальшому її зниженні до 60°C [10]. Зниження середньої температури верхнього поясу циліндрів зі 150°C до 110°C призвело до зменшення механічного ККД на 1%, а подальше її зниження на 35°C призвело до зменшення останнього на 3,5% [10]. Істотним є також і те, що з підвищенням теплового стану двигуна зменшується потужність, що витрачається на привід агрегатів системи охолодження (вентилятор, рідинний насос), що теж призводить до підвищення механічного ККД. В результаті можна зробити висновок, що для двигунів існує якнайкращий, з погляду економічності, тепловий стан, визначуваний температурою стінки циліндра. Для більшості двигунів ця якнайкраща температура знаходиться в межах від 130°C до 150°C і при її підтриманні досягається мінімальна ефективна витрата палива [10].

При обґрунтуванні схеми роботи системи регулювання теплоти в сорочці охолодження двигуна необхідно звернути увагу на наступне питання - який параметр регулювання повинен бути обраним за основу в автоматичній системі регулювання теплового стану двигуна. У більшості подібних систем таким параметром є температура води, але як було показано раніше, найважливішим параметром, з погляду теплового стану, є температура стінки гільзи циліндра. Тому в перспективних системах автоматичного регулювання слід приймати за основний саме цей параметр [14]. Прикладом обґрунтованості такого висновку можуть служити роботи із заміни датчика-термостата з твердим наповнювачем типу ТД, відстежуючим температуру охолоджуючої рідини, на терморегулятор, що встановлено в середньому поясі втулки циліндра [14]. В результаті такої заміни на дизелі 6ЧН 12/14 ($Ne_{ном} = 75$ кВт.; $n_{ном} = 1500$ хв⁻¹) забезпечувалось наступне зниження витрати палива: на холостому ході до 1,5 кг/год, при навантаженні 25% $Ne_{ном}$ до 15,25 г/кВт·год. і при навантаженні 50% $Ne_{ном}$ - до 5,04 г/кВт·год.

Регулювати температуру стінки можливо як зміною температури рідини, так і зміною витрати рідини через порожнину охолодження. Перший спосіб недоцільний, оскільки в цьому випадку система регулювання температури буде мати велику інерційність [15]. У більшості дизелів температура вогняних днищ кришок циліндрів з моменту початку перехідного процесу протягом короткого часу (2 - 4 с) зростає на 75 - 90 % [15]. Приблизно той же порядок значень характерен і для стінок гільз. В той же час загальна стабілізація теплового режиму двигуна при різких змінах навантаження відбувається за набагато більший період. Наприклад, при використанні стандартної системи охолодження на дизелі ЗИЛ-645 стабілізація теплового режиму при різкому скиданні навантаження від 100 % до 25 % відбувається через 8 - 10 хвилин [15]. Тому доцільно використовувати керований вентилятор тільки для підтримки постійної температури охолоджуючої рідини.

Спосіб регулювання теплового режиму зміною витрати повітряного потоку дає як тепловий, так і економічний позитивний ефект. Певні можливості в цьому напрямку дає і спосіб регулювання теплового стану зміною витрати потоку рідини в системі охолодження. Одна з реалізацій цього способу - застосування термостатів для перепуску рідини поза радіатором, використовується досить давно і непогано зарекомендувала себе [11].

Термостати дозволяють прискорити прогрівання холодного двигуна, підтримувати температуру при навантаженнях близьких до номінальних, але на часткових навантаженнях вони стають практично даремними, а при запуску в холодний час, якщо використовується вода, навіть небезпечними, оскільки можуть призвести до заморожування і поломки радіатора. Гнучкішим представляється спосіб регулювання циркуляції рідини в системі

охолодження за допомогою керованого вентиля [11] (найчастіше використовується електромагнітний клапан). При чому, за допомогою таких вентилів можливо регулювати як подачу рідини в радіатор, так і циркуляцію її в межах блоку [11]. Така система є кращою з погляду теплового режиму, проте, не дозволяє здійснити економію на приводі насоса. На деяких режимах, через зміни умов руху рідини всередині блоку, вона може бути причиною появи кавітаційних явищ. З цих причин більший інтерес представляють системи з регульованою частотою обертання крильчатки рідинного насосу.

Ефект від застосування подібних систем, як і у разі керованих вентиляторів складається з двох складових: поліпшення теплового стану на часткових навантаженнях і зменшення витрат на привід насоса. Причому, ефект від застосування керованих насосів достатньо значний, як для великих суднових двигунів [12], так і автомобільних, тракторних і стаціонарних будь-якого робочого об'єму [13].

Привід рідинних насосів може здійснюватись практично зі всіма тими ж муфтами і привідними пристроями, що і привід вентилятора. Привід і регулювання вентилятора і насоса може здійснюватись однією загальною муфтою (рисунок 2), що спрощує і здешевлює систему в цілому. Але найчастіше використовують роздільний привід, що дозволяє, не дивлячись на великі витрати, ефективніше підтримувати оптимальний тепловий стан і зменшувати втрати на привід агрегатів системи охолодження. Прикладом такої роздільної системи може служити система електронного регулювання охолодження двигуна (ЕРОД), розроблена французькою фірмою "Valeo" для легкових автомобілів, що мають двигуни з робочим об'ємом від 1100 до 1400 см³ [13]. Блок-схема системи ЕРОД показана на рис.2. Електричні датчики, що є в системі на вході і виході рідини з двигуна подають сигнали в електронний модуль управління, який, у свою чергу, регулює роботу електровентилятора і електронасоса. Як показали випробування, застосування такої системи на автомобілях, в залежності від режиму руху, забезпечує економію палива від 1,3 до 5,5%, а при холодному пуску - навіть до 20 - 24% [13]. Недоліком системи є те, що перемикання контурів сорочки охолодження відбувається за допомогою класичного термостату, що не забезпечує високої якості регулювання теплового стану двигуна.

За наслідками випробувань системи ЕРОД можемо робити наступні висновки: система дає економію палива за рахунок підвищеної і сталої робочої температури охолоджуючої рідини; можливе зменшення розмірів охолоджуючого і опалювального радіаторів, завдяки підвищенню робочої температури; спрощення функції регулювання опалювання і покращення теплової комфортності завдяки підвищеній і, разом з тим, сталій

температурі, а також прискореному доведенню її до потрібного значення; простота включення електронасоса в систему. Ці ж висновки можливо віднести практично до всіх автоматично керованих систем рідинного охолодження з регульованою частотою обертання вентилятора і насоса.

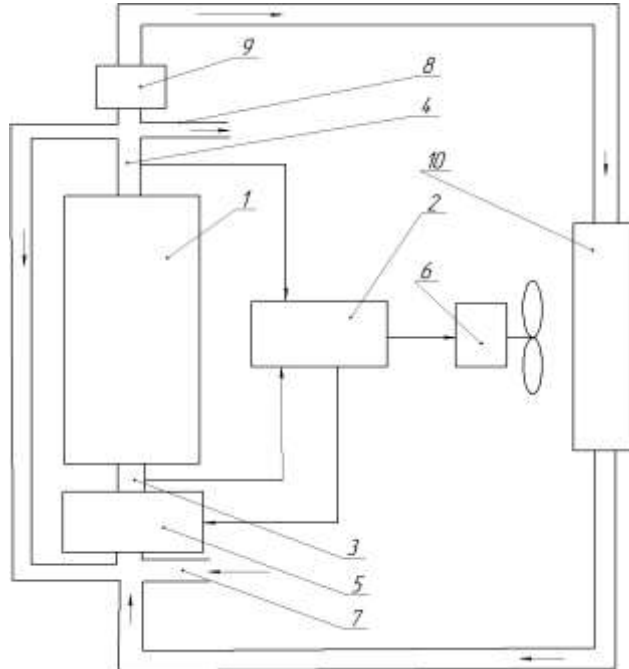


Рисунок 2. - Блок-схема системы охлаждения с ЭРОД фирмы "Valeo":
1 - ДВС, 2 -электронный модуль, 3, 4 - датчики температуры жидкости на входе и выходе из двигателя, 5 - элекронасос, 6 -электроклапан, 7, 8 - вспомогательные контуры системы охлаждения, 9-термостат, 10-радиатор.

Метою запропонованої авторами системи регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання для приводу електроагрегата [16] є підвищення ефективності використання палива та досягнення більш точного регулювання теплового стану двигуна внутрішнього згорання при відведенні теплоти охолоджувальної рідини в залежності від навантаження і частоти обертання колінчастого вала. Вирішення поставленої задачі досягається тим, що в систему регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання для приводу електроагрегата встановлюють насос з регульованим електричним приводом, двопозиційний клапан з електромагнітним управлінням от електронного блоку і датчиків температури зв'язаних з електронним блоком, установлених на вході і виході в сорочку охолодження двигуна внутрішнього згорання і радіатор. На рисунку 3 наведено розроблену принципову схему системи регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання для приводу електроагрегата [16].

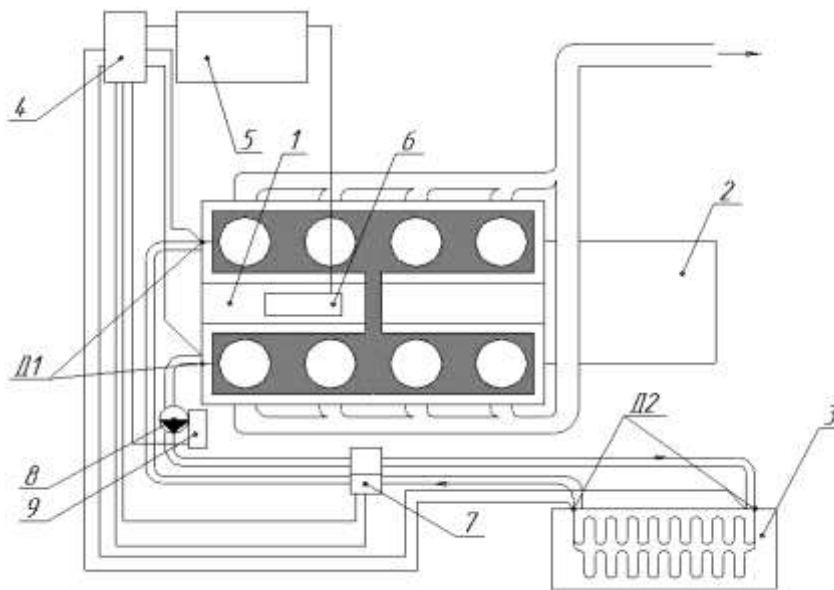


Рисунок 3. - Принципова схема системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ для приводу електроагрегата

Система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання для приводу електроагрегата складається з двигуна внутрішнього згорання 1 з приєднаним до нього електричним генератором 2, радіатора 3, блока регулювання температури охолоджуючої рідини 4, блока управління двигуном 5 зв'язаного з регулятором паливоподачі 6, двопозиційного клапана 7 і насоса 8 з регульованим електричним приводом 9, датчиків контролю температури охолоджуючої рідини Д1 і Д2, електрично зв'язаних з блоком регулювання 4.

Система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання працює наступним чином. При роботі двигуна внутрішнього згорання в режимі прогріву двопозиційний клапан 7 встановлюється блоком регулювання температури охолоджуючої рідини 4 у положення в якому насос 8 з регульованим електричним приводом здійснює рух охолоджувальної рідини по малому колу через двохпозиційний клапан 7, міняючи радіатор 3, після того як датчики температури охолоджувальної рідини Д1 зафіксують температуру відповідну прогрітому двигуну 1, блок регулювання температури охолоджуючої рідини 4 подає сигнал на двопозиційний клапан 7, який перемикається у положення циркуляції охолоджувальної рідини через радіатор 3. Подальша робота системи регулювання температури двигуна 1 відбувається на основі даних датчиків температури Д1, Д2. Відповідно до показників температур датчиків Д1 і Д2 вираховується оптимальна частота обертання приводу 9 який забезпечує необхідну продуктивність насоса 8.

У залежності від навантаження на генератор 2 і частоти обертання колінчастого вала блок регулювання температури охолоджуючої рідини 4 формує електричний сигнал за допомогою датчиків Д1 і в залежності від температури охолоджуючої рідини на вході і виході двигуна 1 і радіатора 3 та подає керуючий сигнал на виконавчий електричний привод 9 насоса 8.

Таким чином, використання запропонованої системи дозволяє шляхом електронного керування двигуном та системою регулювання температури охолоджувальної рідини двигуна підвищити ефективність використання палива та досягти більшої якості регулювання теплового стану двигуна.

Для системи охолодження ДВЗ з утилізацією теплоти їх відпрацьованих газів важливо знати час, за який система досягне (прогріється до оптимального значення) робочої температури. Це обумовлено не тільки екологічними та економічними аспектами, але й тим через який час споживачі отримують технологічно необхідне тепло. Так значення періоду прогріву важливо знати ще на етапі проектування установки з тією метою, щоб була можливість його зменшення на цій стадії, а також для урахування потрібного значення при проведенні пуско-налагоджувальних робіт.

Для розрахунку потрібного значення часу в математичну модель процесів теплообміну в дослідженнях роботи ДВЗ з утилізацією теплоти їх відпрацьованих газів [17] було додано виведені авторами математичні залежності процесу теплообміну, які дозволяють, враховуючи технологічні параметри системи охолодження (обсяг патрубків, сорочки охолодження, властивості рідини), визначати час прогріву двигуна до робочої температури.

Для роботи математичної моделі необхідні наступні вихідні дані для виконання розрахунку:

1. Площа теплообміну в циліндрі, $F, \text{м}^2$;
2. Щільність теплового потоку скрізь стінки циліндра, $q_{cp}, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$;
3. Витрата насоса, $V_h, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;
4. Густина охолоджуючої рідини, $\rho_p, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
5. Теплоємність охолоджуючої рідини, $C_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;
6. Об'єм охолоджуючої рідини в патрубках системи охолодження, $V_2, \text{м}^3$;
7. Об'єм охолоджуючої рідини в двигуні, $V_p, \text{м}^3$;
8. Об'єм охолоджуючої рідини в зовнішніх патрубках малого кола двигуна, $V_5, \text{м}^3$;

9. Витрата охолоджуючої рідини в сорочці охолодження, $V_u = \frac{V_h}{z}, \frac{м^3}{с}$;
10. Вагова витрата охолоджуючої рідини в циліндрі, $G_{ви} = V_u \cdot \rho_p, кг/с$;
11. Температура охолоджуючої рідини на початку процесу, $t_0, ^\circ C$;
12. Кількість циліндрів, b .

Виконання розрахунку часу прогріву двигуна до робочої температури проводимо, починаючи з визначення часу однократного обміну охолоджуючої рідини в двигуні:

$$\Delta \tau = \frac{V_p}{V_u} = \frac{V_p \cdot b}{V_h}, с \quad (1)$$

де V_p - об'єм охолоджуючої рідини в двигуні, $м^3$

V_h - витрата насоса, $\frac{м^3}{с}$;

b - кількість циліндрів.

Кількість теплоти, яку отримує охолоджуюча рідина від поверхні циліндра за однократне проходження її крізь двигун:

$$Q_1 = q_{cp} \cdot F \cdot \Delta \tau = q_{cp} \cdot F \cdot \frac{V_p \cdot b}{V_h}, кДж \quad (2)$$

де F - площа теплообміну в циліндрі, $м^2$;

q_{cp} - щільність теплового потоку скрізь стінки циліндра, $\frac{кДж}{м^2 \cdot с}$.

Та ж кількість теплоти, що розрахована для нагріву охолоджуючої рідини:

$$Q_1^I = G_{ви} \cdot c_p \cdot (t_1 - t_0) = V_p \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_1 - t_0), кДж \quad (3)$$

де $G_{ви}$ - вагова витрата охолоджуючої рідини в циліндрі, $кг/с$;

c_p - теплоємність охолоджуючої рідини, $\frac{кДж}{кг \cdot K}$;

ρ_p - густина охолоджуючої рідини, $\frac{кг}{м^3}$

$t_0, ^\circ C$ - температура охолоджуючої рідини на початку процесу,

$t_1, ^\circ C$ - температура охолоджуючої рідини наприкінці процесу.

Порівнюємо:

$$Q_1 = Q_1^l$$

Звідки із залежності 1 маємо, що:

$$\Delta\tau = \frac{V_2 + V_5 + V_p + V_3 / b}{q_{cp} \cdot F} \cdot \rho \cdot c_p \quad (4)$$

де V_2 - об'єм охолоджуючої рідини в патрубках системи охолодження, m^3

V_3 - об'єм охолоджуючої рідини в сорочці двигуна системи охолодження, m^3

V_5 - об'єм охолоджуючої рідини в зовнішніх патрубках малого кола двигуна, m^3

Звідки

$$t_1 = t_0 + \frac{q_{cp} \cdot F \cdot b}{V_h \cdot \rho_p \cdot c_p}, \text{град} \quad (5)$$

Процес формування температури продовжується за час однократного обміну у всій охолоджуючій системі. Час однократного обміну у всій системі може бути визначеним по співвідношенням:

$$\Delta\tau' = \frac{b(V_2 + V_5 + V_p) + V_3}{V_h}, \text{с} \quad (6)$$

У відповідності зі співвідношенням (4) після відрізка часу $\Delta\tau'$ рівняння теплового балансу буде мати вигляд:

$$q_{cp} \cdot F \cdot \frac{V_p \cdot b}{V_h} = V_p \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) \quad (7)$$

Звідки кінцева температура:

$$t_2 = t_1 + \frac{q_{cp} \cdot F \cdot b}{V_h \cdot \rho \cdot c_p} = t_0 + 2 \frac{q_{cp} \cdot F \cdot b}{V_h \cdot \rho \cdot c_p} \quad (8)$$

Через n проміжків часу для $\Delta\tau'$ температура води на виході із двигуна визначається за формулою:

$$t_n = t_0 + n \frac{q_{cp} \cdot F \cdot b}{V_h \cdot \rho \cdot c_p} \quad (9)$$

Число циклів n виразимо через відрізок часу $\Delta\tau$ та час однократного обміну $\Delta\tau'$ у відповідності з формулою (6)

$$\Delta\tau = n \cdot \Delta\tau' \quad (10)$$

звідки

$$n = \frac{\Delta\tau}{\Delta\tau'} = \frac{\Delta\tau \cdot V_h}{(V_2 + V_5 + V_p)b + V_3} \quad (11)$$

Співвідношення (11) ставимо у формулу (9)

$$t_n = t_0 + \frac{\Delta\tau \cdot V_h}{(V_2 + V_5 + V_p)b + V_3} \cdot \frac{q_{cp} \cdot F \cdot b}{V_h \cdot \rho \cdot c_p} = t_0 + \frac{\Delta\tau}{(V_2 + V_5 + V_p)b + V_3} \cdot \frac{q_{cp} \cdot F \cdot b}{\rho \cdot c_p} \quad (12)$$

Із формули (12) знаходимо час процесу $\Delta\tau$, за який температура води зміниться від температури t_0 до температури t_n

$$\Delta\tau = \frac{V_2 + V_5 + V_p + V_3/b}{q_{cp} \cdot F} \cdot \rho \cdot c_p (t_n - t_0), c \quad (13)$$

Застосовуючи залежність (13) можливо за допомогою математичної моделі процесів теплообміну в дослідженнях роботи ДВЗ з утилізацією теплоти їх відпрацьованих газів [17] аналізувати час прогріву двигуна до оптимальної температури при різних параметрах системи охолодження (об'єми патрубків та сорочки охолодження), а також визначати час прогріву при різних температурах пуску двигуна – варіюючи t_0 .

Уточнена таким чином вже існуюча методика [17] надає широкі можливості для оптимізації проектування систем утилізації теплоти ДВЗ когенераційних установок, оскільки дає змогу окрім урахування необхідних об'ємів теплової енергії, що дозволяє максимально ефективно використовувати установку в подальшому, визначати швидкість прогріву установки до робочої температури ще на етапі проектування.

Висновок. Розроблена система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання для приводу електроагрегата дає економію палива за рахунок сталої робочої температури охолоджуючої рідини; можливе зменшення розмірів теплообмінників, завдяки підвищенню робочої температури; використання запропонованої системи дозволяє шляхом електронного керування двигуном та системою регулювання температури охолоджувальної рідини двигуна підвищити ефективність використання палива та досягти більшої якості регулювання теплового стану двигуна; спрощення функції регулювання опалювання і покращення теплової комфортності завдяки підвищеній і, разом з тим, сталій температурі, а також прискореному доведенню її до потрібного значення; простота включення електронасоса в систему. Розроблена методика розрахунку потрібного значення часу прогріву двигуна до робочої температури, за допомогою якої було уточнено математичну модель процесів теплообміну в дослідженнях роботи ДВЗ з утилізацією теплоти їх відпрацьованих газів

Список літератури

1. Левин М.И. Оптимальный температурный режим в системах охлаждения двигателей и требования к автоматическому регулированию температуры // Труды ЦНИДИ.-1954.- кн.26.-с.18-49.
2. Влияние температуры охлаждающей воды на некоторые показатели рабочего процесса дизеля / В.К.Нечаев, Д.Д. Матиевский, Л.В.Нечаев и др.//Труды Алтайского политехнического института.- Барнаул, 1972.-Выпуск 4.- с.16-23.
3. Ливенцев Ф.Л. высокотемпературное охлаждение поршневых двигателей внутреннего сгорания.- М.: Машиностроение, 1964. – 192с.
4. Масловец Р.А. Влияние температурного режима системы охлаждения двигателя на тепловой баланс // Эксплуатация дизелей при низких температурах: Известия Иркутского сельскохозяйственного института.- Иркутск, 1982.- с.21-27
5. Несиловский О.Г., Новенников А.Л. Повышение эффективности работы ДВС за счет совершенствования жидкостной системы охлаждения // Материалы научно-методической конференции / Яросл. сельскохоз. ин-т.- Ярославль, 1993.- с.196-199.
6. Оптимизация теплового состояния автомобильных двигателей / И.Б.Гурвич, А.П.Егорова, К.М.Москвин и др. // Двигателестроение, 1982.- №4.- с.10-12.
7. Хомич А.З. Топливная экономичность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей.- М.: Транспорт, 1987. – 271с.
8. Стефановский Б.С., Новенников А.Л., Пикус В.Н. Теплобалансовые характеристики быстроходного автотракторного дизеля // Двигатели внутреннего сгорания: Межвузовский сборник научных трудов.- Ярославль, 1975.- с.16-21.
9. Горбунов В.П., Груздева В.И., Столбов М.С. Зависимость параметров заряда в цилиндре дизеля от условий на выпуске // Труды НАТИ.- 1960. Выпуск 198. с.80-88.
10. Поспелов Д.Р. Двигатели внутреннего сгорания с воздушным охлаждением.- М.: Машиностроение.- 1971.- 535с.

11. Жидкостное охлаждение автомобильных двигателей / А.Л.Кригер, М.Е.Дискин, А.Л.Новенников., В.И.Пикус.- М.: Машиностроение, 1985.- 176с.
12. Влияние теплового режима дизеля на механические потери / В.К.Нечаев, Н.Ф.Ефремов и др. // Труды Алтайского политехнического института. – Барнаул. 1972.- Выпуск 4.- с.24-32.
13. Использование водяного электронасоса для электронного регулирования температуры охлаждающей жидкости / Х.К. Нгуен, Ж.Л. Мулен, П. Перрье, Э. д'Орсе // Препринт/ Ярославский политехнический институт: №88.-Я.: 1988. – 31 с .
14. Пожидаев В.М. Некоторые перспективные САР температуры дизелей // Двигателестроение.- 1981.- №5.- с.31-32
15. Костин А.К., Пугачев Б.П., Кочинев Ю.Ю. Работа дизелей в условиях эксплуатации.- Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1989.- 284с.
16. Система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання для приводу електроагрегата. Патент на корисну модель № 50378, МКП (2009) F01P 3/22 І.В.Грицук, З.І.Краснокутська, Д.С.Адров UA.- № заявки 2009 11494, Заявл. 12.11.2009; Опубл.10.06.2010 Бюл. №11 – 6с.
17. Грицук І.В. Особливості математичного моделювання процесів теплообміну в дослідженнях роботи двигунів внутрішнього згорання з утилізацією теплоти їх відпрацьованих газів / І.В.Грицук, Д.С.Адров, В.С.Вербовський // Зб. наук. праць ДонІЗТ. - Донецьк: ДонІЗТ, 2010 – Вип. №22. – с. 93-101

УДК 629.463.65.015.001.5

*Мямлин С.В., д.т.н., професор (ДНУЖТ)
Недужая Л.А., к.т.н., доцент (ДНУЖТ)
Тен А.А., главный конструктор (ЗАО «Промтрактор - Вагон»)*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПОЛУВАГОНОВ

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями. Основными критериями динамических качеств, определяющих режим эксплуатации подвижного состава, как известно, являются его динамические показатели. Они должны учитывать современные тенденции мирового грузового вагоностроения [1] и соответствовать Нормативным документам [2]. С появлением новых конструкций грузовых вагонов особую важность приобретает задача, связанная с созданием тележек, оценкой их динамических качеств в зависимости от типа и конструкции, с учетом

осевых нагрузок и обеспечением динамических и ходовых качеств, удовлетворяющих условиям по воздействию на путь, устойчивости, величине рамных сил. Тележка должна быть универсальной, взаимозаменяемой по установочным размерам с существующими в эксплуатации, максимально унифицированной по комплектующим деталям, простой не только по конструкции, но и по технологии изготовления (чтобы обеспечить минимальные затраты при производстве и техническом содержании таких тележек), их эксплуатация должна быть экономически эффективной.

Постановка задачи. В связи с этим в данной работе выполнен анализ влияния различных конструкций тележек на основные динамические показатели безопасности движения грузовых вагонов, в данном случае полувагонов: коэффициент вертикальной динамики необрессорной части вагона ($K_{дв}$), коэффициент горизонтальной динамики необрессорной части вагона ($K_{дг}$) или по соотношению рамной силы и статической нагрузки на ось ($H_p/P_{ст}$), коэффициент устойчивости при вкатывании гребня набегающего колеса на рельс (K_y).

Основная часть исследования. Для этого рассмотрены конструкции тележек трех типов: известные типовые - модели 18-100, модели западноевропейской тележки Y25 и тележки модели 18-9771 с улучшенными динамическими характеристиками.

Одной из распространенных на территории Российской Федерации, стран СНГ и Балтии является двухосная тележка модели 18-100 (до 1972 г. именовалась ЦНИИ-ХЗ), которая включает клиновые гасители колебаний, две колесные пары с буксовыми узлами, две боковые рамы в виде стальной отливки с проемами для рессорных комплектов и букс, надрессорную балку замкнутого коробчатого сечения (отлита заодно с подпятником, опорами для размещения скользунов, гнездами для фрикционных клиньев и приливом для крепления кронштейна мертвой точки рычажной передачи тормоза), навесную рычажную тормозную передачу [3].

Среди двухосных тележек грузовых вагонов европейских железных дорог следует отметить французскую тележку типа Y25, которая имеет буксовое подвешивание, жесткую сварную H-образную раму и две колесные пары с буксами [3]. Опирающиеся на кронштейны букс рессорные комплекты состоят каждый из двух цилиндрических пружин разной высоты, что обеспечивает билинейную характеристику жесткости рессорного подвешивания. На каждой буксе установлен фрикционный гаситель колебаний переменного трения, который демпфирует вертикальные и боковые колебания. При этом создается возвращающий момент, ограничивающий влияние колесных пар. Тележка снабжена

упругими скользунами. Тормозная рычажная передача обеспечивает двухстороннее тормозное нажатие колодок на колесную пару.

Для более полной оценки динамических качеств грузовых вагонов с использованием различных конструкций тележек проведены теоретические исследования полувагона, поставленного на производство ЗАО «Промтрактор - Вагон» (г. Канаш, Чувашская Республика). В качестве ходовой части использовалась тележка модели 18-9771 (рисунок 1) - новая разработка завода [4], имеющая увеличенный межремонтный пробег 500 тыс. км. (таблица 1). Конструкция тележки позволяет уменьшить динамическое воздействие вагона на путь за счет пружин рессорного комплекта с увеличенным до 68 мм статическим прогибом, повысить устойчивость подвижного состава, снизить расходы на эксплуатацию и ремонт ходовой части за счет применения в узлах трения сменных износостойких элементов. Разработанная новая конструкция двухосной тележки для грузовых вагонов имеет ряд отличий от разработок других производителей железнодорожной техники и заключается в том, что:

- боковые рамы выполнены усиленной конструкции;
- боковые рамы и надрессорные балки выполнены в виде стальных отливок, изготовленных по вакуумно-пленочной технологии;
- пружины центрального рессорного подвешивания с увеличенным статическим прогибом;
- скользуны постоянного контакта;
- в узлах трения применяются сменные износостойкие накладки.



Рисунок 1. - Тележка модели 18-9771

Расчеты динамических показателей качества произведены учеными Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДИИТ) и специалистами ЗАО «Промтрактор - Вагон» при движении груженых полувагонов по прямолинейному участку пути в диапазоне скоростей 40 - 120 км/ч, по кривым радиусом 300 м с возвышением наружного рельса 150 мм в диапазоне скоростей 40 - 80 км/ч, по кривым радиусом 600 м с возвышением наружного рельса 150 мм в диапазоне скоростей 40 - 100 км/ч с использованием программного комплекса «DYNRAIL» «Wagon Dynamics (Single Wagon) 10.12.2007» [5, 6] на основе Нормативных документов [2]. Во всех случаях в качестве возмущений использовались динамические неровности рельсовых нитей (рисунок 2), специально сгенерированные по статистическим характеристикам реальных участков железной дороги.

Параметры горизонтальных неровностей задаются аналогично вертикальным. Отличие между вертикальными и горизонтальными неровностями состоит лишь в том, что в перечне возможных типов горизонтальных неровностей отсутствуют стыковые [5].

Некоторые результаты выполненных теоретических исследований приведены на графиках (рисунок 3 - 5) и таблицах 2 – 4.

Таблица 1.- Результаты выполненных теоретических исследований.

Основные параметры и размеры	Значение
1 Максимальная расчетная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, кН(тс)	230,5 (23,5)
2 Конструкционная скорость, км/ч	120
3 База тележки, мм	1850
4 Масса одной тележки в сборе, не более, кг	4900
5 Расстояние от уровня головок рельсов до уровня опорной поверхности подпятникового места в свободном состоянии, мм	811
6 Расстояние между продольными осями боковых скользунов, мм	1524
7 Расстояние между продольными осями рессорных комплектов, мм	2036
8 Статический прогиб рессорного подвешивания под максимально допустимой нагрузкой брутто, мм, не более	68
9 Статический прогиб рессорного подвешивания под тарой, мм, не менее (при нагрузке от колесной пары на рельсы 60 кН)	12
10 Коэффициент относительного трения фрикционных гасителей колебаний в рессорном подвешивании: - под максимальной нагрузкой брутто - под тарой	0,08-0,12 0,10-0,16
11 Диаметр подпятникового места не более, мм	304
12 Глубина подпятникового места, мм, не более	30
13 Габарит вписывания по ГОСТ 9238	02-ВМ

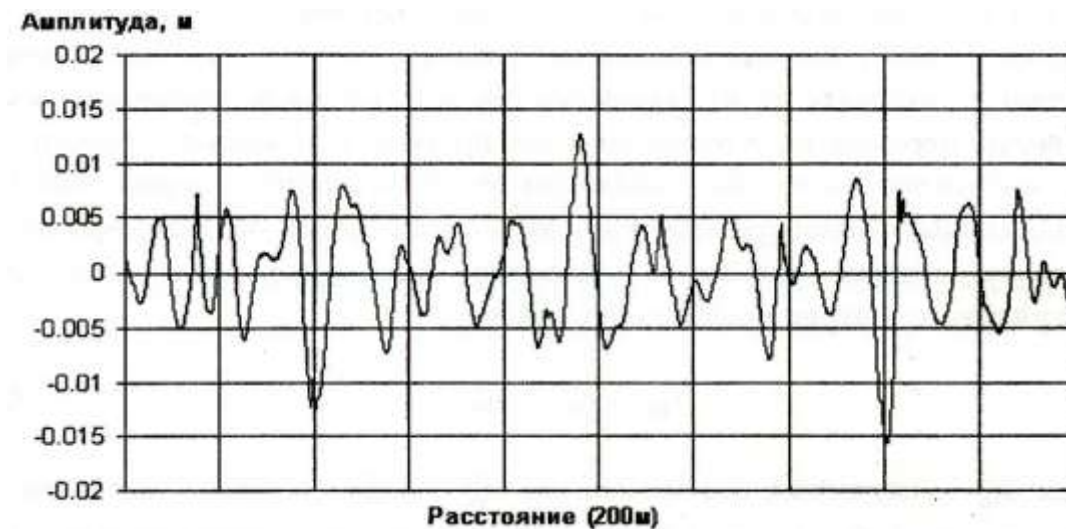


Рисунок 2 - Вертикальные неровности рельсовой нити

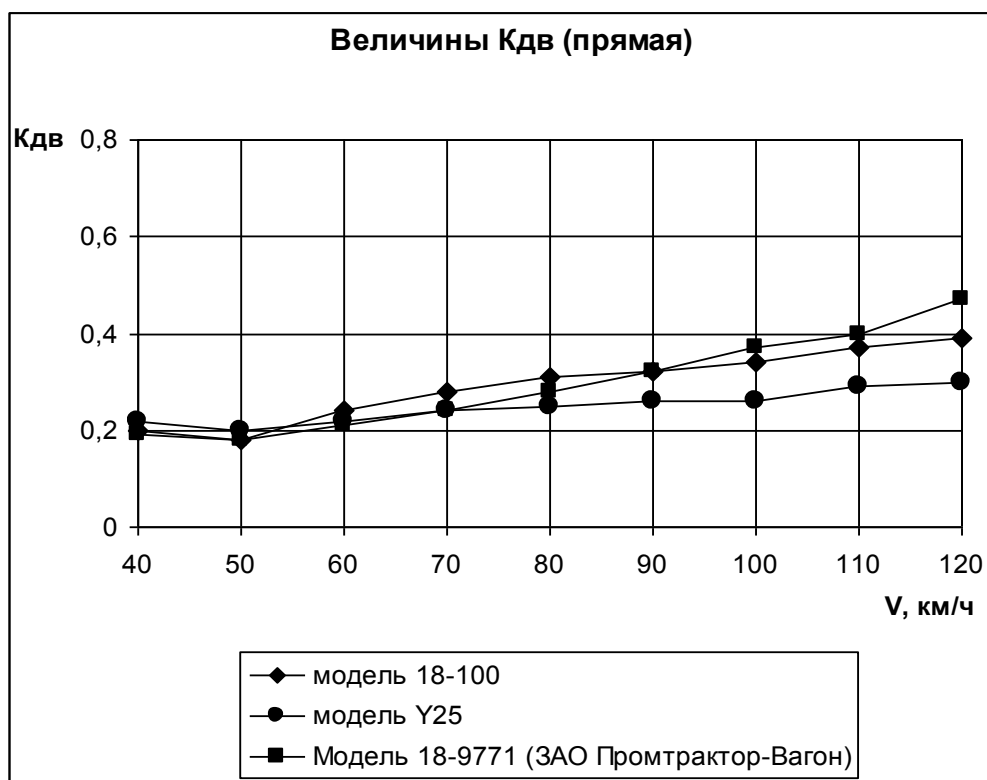


Рисунок 3 - Величины $K_{дв}$ (прямая)

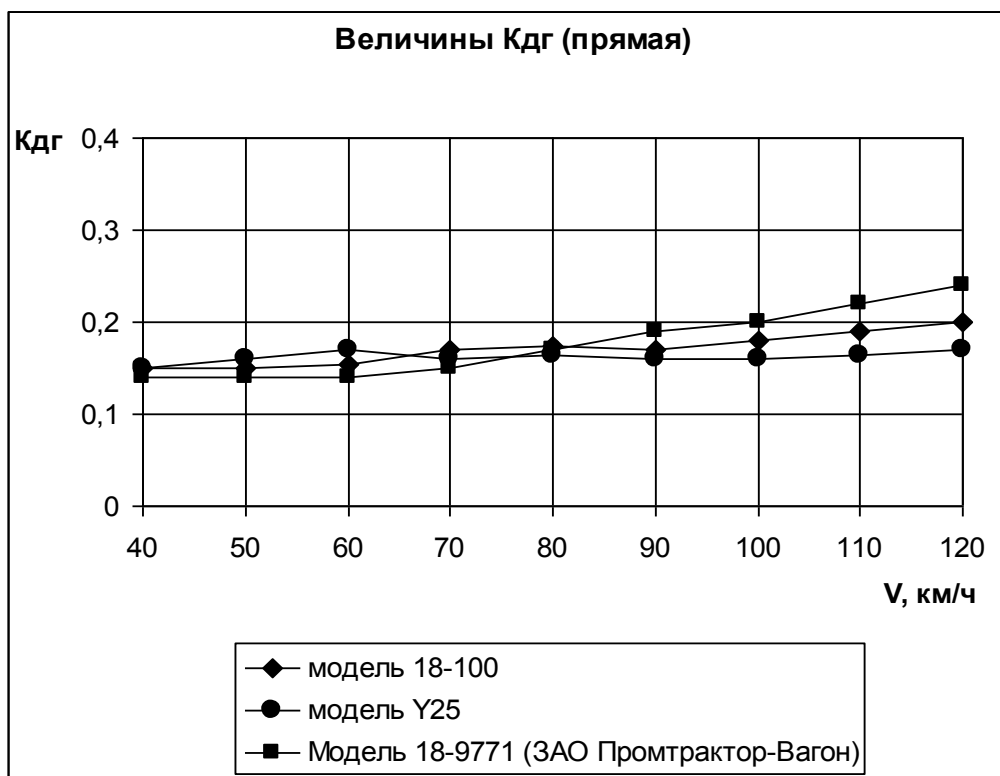


Рисунок 4 - Величины $K_{дг}$ (прямая)

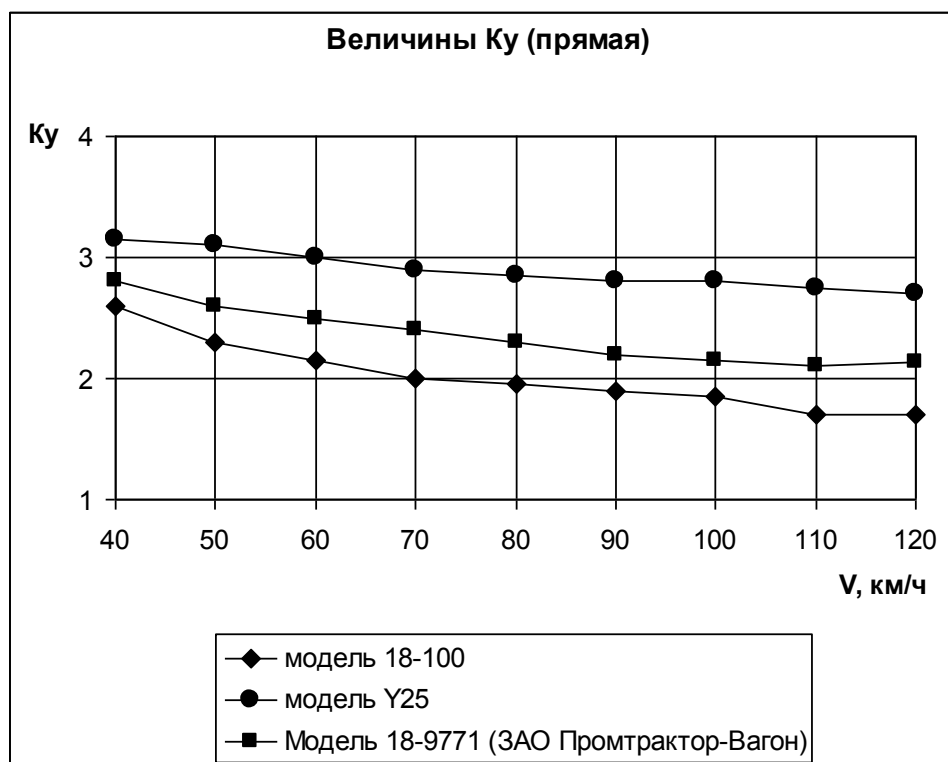


Рисунок 5(а)- Величины K_u (прямая)

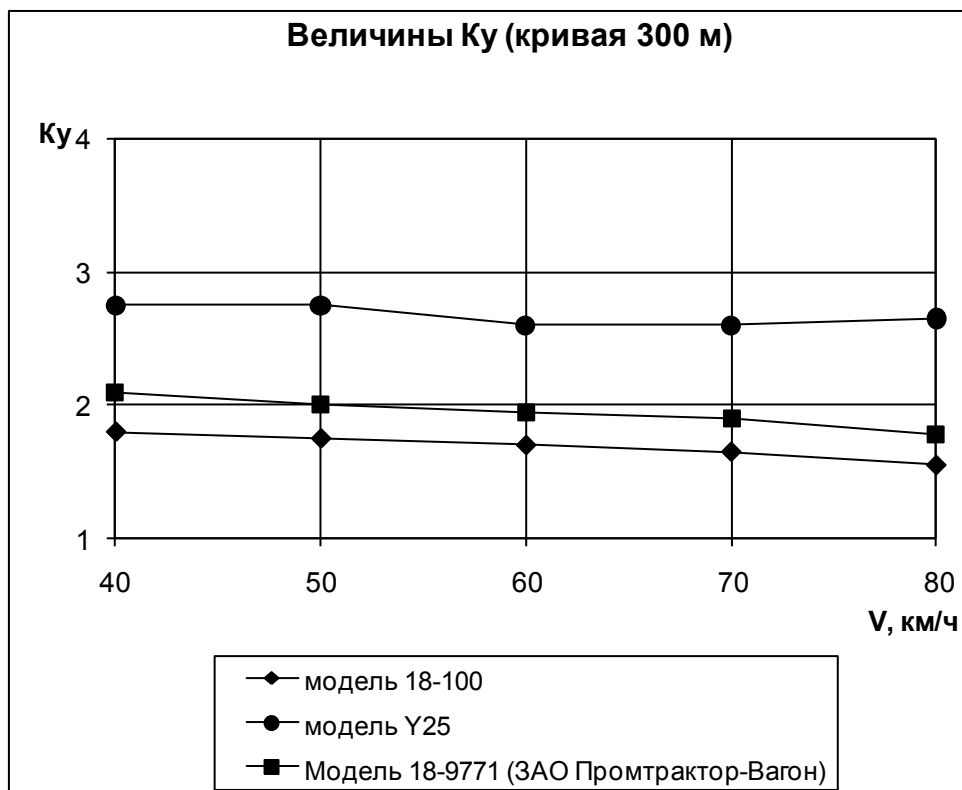


Рисунок 5(б) - Величины K_y (кривая R = 300 м)

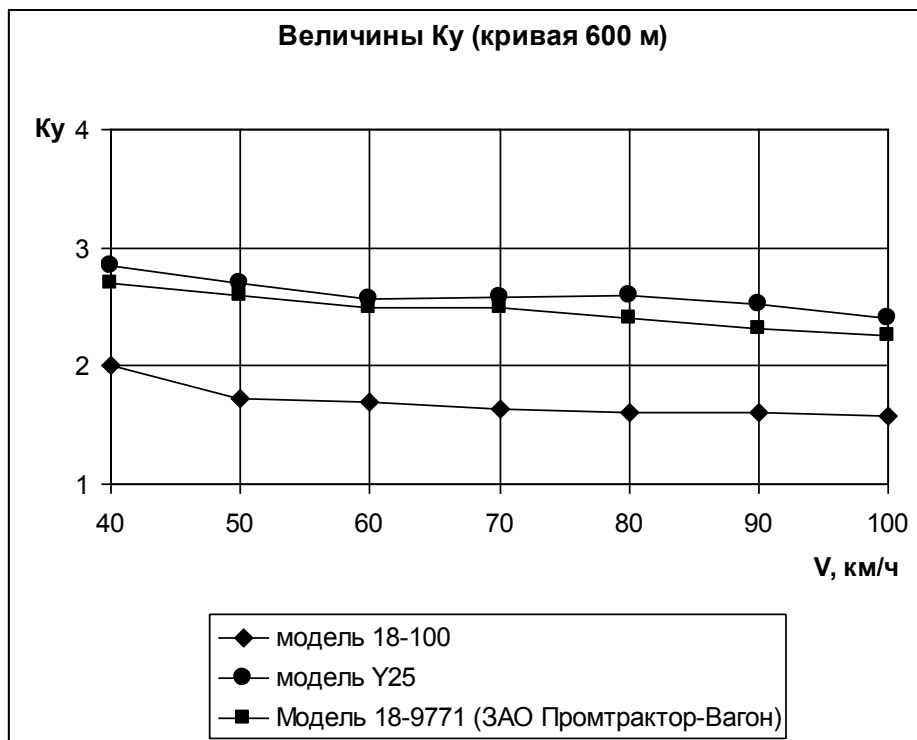


Рисунок 5(в) - Величины K_y (кривая R = 600 м)

Выводы. Анализ результатов теоретических исследований позволяет сделать вывод о том, что для всех моделей тележек величины динамических показателей качества полувагонов $K_{дв}$, $K_{дг}$ и K_y отличаются в пределах требований Нормативных документов и не превосходят максимально допустимых значений. Значения коэффициента вертикальной динамики необрессорной части вагона ($K_{дв}$) и коэффициента горизонтальной динамики необрессорной части вагона ($K_{дг}$) для всех трех моделей тележек на прямом участке пути (рис. 3, 4) во всем рассмотренном диапазоне скоростей практически не отличаются между собой. Некоторое превышение значений $K_{дв}$ и $K_{дг}$ новой тележки со скорости 90 км/ч (табл. 2) объясняется тем, что она рассчитана на осевую нагрузку 23,5 тс. Необходимо отметить, что для всех участков пути наибольшие в рассмотренном диапазоне скоростей величины $K_{дв}$ и $K_{дг}$ не превышают предельно допустимых значений [0,8] и [0,38] соответственно.

Из сравнения величин коэффициента устойчивости от всползания колеса на рельс (K_y) на всех участках пути для рассмотренных моделей тележек видно, что K_y для новой тележки находится (рис. 5, а, б, в) в допускаемых пределах (табл. 2, 3, 4) и удовлетворяет требованиям Норм [2] для грузовых вагонов [1,45].

Аналогичные исследования проводились и для других типов тележек и моделей грузовых вагонов [7].

Таблица 2.- Значения $K_{дв}$, $K_{дг}$, K_y для различных моделей тележек на прямом участке пути при скорости $V = 120$ км/ч

Динамические показатели безопасности движения	Тележка модели 18-100	Тележка модели Y25	Тележка модели 18-9771
$K_{дв}$	0,39	0,30	0,37
$K_{дг}$	0,20	0,17	0,24
K_y	1,70	2,70	2,15

Таблица 3.- Значения $K_{дв}$, $K_{дг}$, K_y для различных моделей тележек на кривой радиусом $R = 300$ м при скорости $V = 80$ км/ч

Динамические показатели безопасности движения	Тележка модели 18-100	Тележка модели Y25	Тележка модели 18-9771
$K_{дв}$	0,70	0,60	0,52
$K_{дг}$	0,30	0,27	-
K_y	1,55	2,65	1,79

В целом проведенные теоретические исследования свидетельствуют о том, что тележка модели 18-9771 по сравнению с тележками моделей

18-100 и Y25 по динамическим показателям является лучше, но в то же время имеется резерв по их улучшению.

Таблица 4 - Значения Кдв, Кдг, Ку для различных моделей тележек на кривой радиусом $R = 600$ м при скорости $V = 90$ км/ч

Динамические показатели безопасности движения	Тележка модели 18-100	Тележка модели Y25	Тележка модели 18-9771
Кдв	0,44	0,39	0,43
Кдг	0,24	0,19	-
Ку	1,60	2,52	2,41

Анализ величин коэффициентов вертикальной и горизонтальной динамики, коэффициентов устойчивости подтверждает, что скользуны постоянного контакта улучшают ходовые качества грузовых вагонов, снижая нагрузки, передаваемые от подвижного состава на железнодорожное полотно.

Таким образом, полученные результаты наглядно подтверждают не только возможность совершенствования конструктивной схемы тележек грузовых вагонов, но и правильность конструкторских решений, так как динамические показатели вагонов на новой тележке несколько лучше, чем на типовых. При этом есть резервы улучшения динамических характеристик грузовых вагонов на новых тележках за счет выбора рациональных параметров рессорного подвешивания.

Список литературы

1. Тен А. А., Мямлин С. В. Особенности проектирования тележек грузовых вагонов // Тезисы докладов 70 Междунар. науч. - техн. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Днепропетровск: ДНУЖТ. - 2010. - С. 82 – 83.
2. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС 1520 мм (несамоходных) и изменения и дополнения. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 352 с.
3. Вагоны. Конструкция, теория и расчет (под. ред. Шадура Л.А.) [Текст]. М.: Транспорт, 1980 г. – 440 с.
4. Тележка двухосная грузового вагона [Текст]: пат. 88627 Рос. Федерация: МПК В61F 3/02 / Тен А.А.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Промтрактор - Вагон». № 2009128488/22; заявл. 22.07.2009; опубл. 20.11.2009, Бюл. №32. – 3 с.: ил. 1.
5. Мямлин С.В. [Текст] Моделирование динамики рельсовых экипажей. Днепропетровск: «Новая идеология», 2002. – 240 с.
6. Свидетельство о регистрации авторского права на произведение №7305. Компьютерная программа «Dynamics of Rail Vihscles» («DYNRAIL») / Мямлин С.В.; зарегистр. 20.03.2003.
7. Мямлин, С. В. Оценка динамических качеств различных конструкций тележек грузовых вагонов [Текст] / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, Е. А. Письменный, А. И. Яловой // Сб. науч. статей. – СПб.: ПГУПС, 2005. – С. 229 – 235.

УДК 621.333:621.3.017.72

Гущин А.М., к.т.н., доц. (ДонІЗТ)
Дорошко В.І., ст. викл. (ДонІЗТ)
Сацюк О.В., ст.. викл. (ДонІЗТ)
Володарець М.В., аспірант (УкрДАЗТ)
Лихошва О.В., студент (ДонІЗТ)

ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ТА МОЖЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВЕНТИЛЯТОРІВ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЛОКОМОТИВІВ

Постановка задачі. Для забезпечення роботи вентиляторів тягових двигунів в якості енергоносія на електровозах використовується електроенергія, поступаючи із контактної сіті, а на тепловозах – дизельне паливо. На привід вентиляторів потрібно до 6% дизельного палива від витрат на тягу поїздів на тепловозах і до 15% електроенергії від витрат на тягу на електровозах. Нагрівання обмоток двигунів залежить від величини струму, поступаю чого в них, в той час, як продуктивність вентиляторів незмінна на електровозах і залежить від частоти обертання колін вала дизеля – на тепловозах. У зв'язку із цим необхідно забезпечувати залежність продуктивності вентиляторів від струму, поступаючого на тягові двигуни, який і зумовлює їх нагрівання.

Мета роботи. Визначити необхідну продуктивність вентиляторів на різних режимах роботи тягових двигунів. Так як необхідність регулювання продуктивності більш очевидна для електровозів, буде розглянута ця задача відносно тепловоза 2ТЕ116.

Основна частина. Межі, в яких можливе регулювання продуктивності вентиляторів, можна визначити, якщо встановити залежність кількості відведеного тепла від обмоток тягового двигуна при різних температурах їх перегріву і температурах повітря навколишнього середовища (приймавши з невеликою погрішністю, що з такою ж температурою повітря поступає в двигун) від продуктивності вентилятора. Визначення цих залежностей проведено по формулі [1], одержаної по результатах випробувань різних тягових двигунів.

$$Q = 6,6g^{0,62}(t_{\beta} - t_r), \quad (1)$$

де Q – кількість теплоти відведеної від тягового двигуна, кДж;

g – витрати повітря (продуктивність вентилятора), кг/хв.;

$t_{\text{я}}$ – температура поверхні якоря, °С;

$t_{\text{п}}$ – температура навколишнього середовища, °С.

Розрахунки проведені для температур поверхні якоря:

$t_{\text{я1}} = 120^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{я2}} = 80^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{я3}} = 40^{\circ}\text{C}$ і температур навколишнього середовища:

$t_{\text{п1}} = 40^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{п2}} = 20^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{п3}} = -10^{\circ}\text{C}$.

По результатах розрахунків побудовані залежності $P=f(Q)$ для тягового двигуна ЕД-118, наведені на рисунку 1.

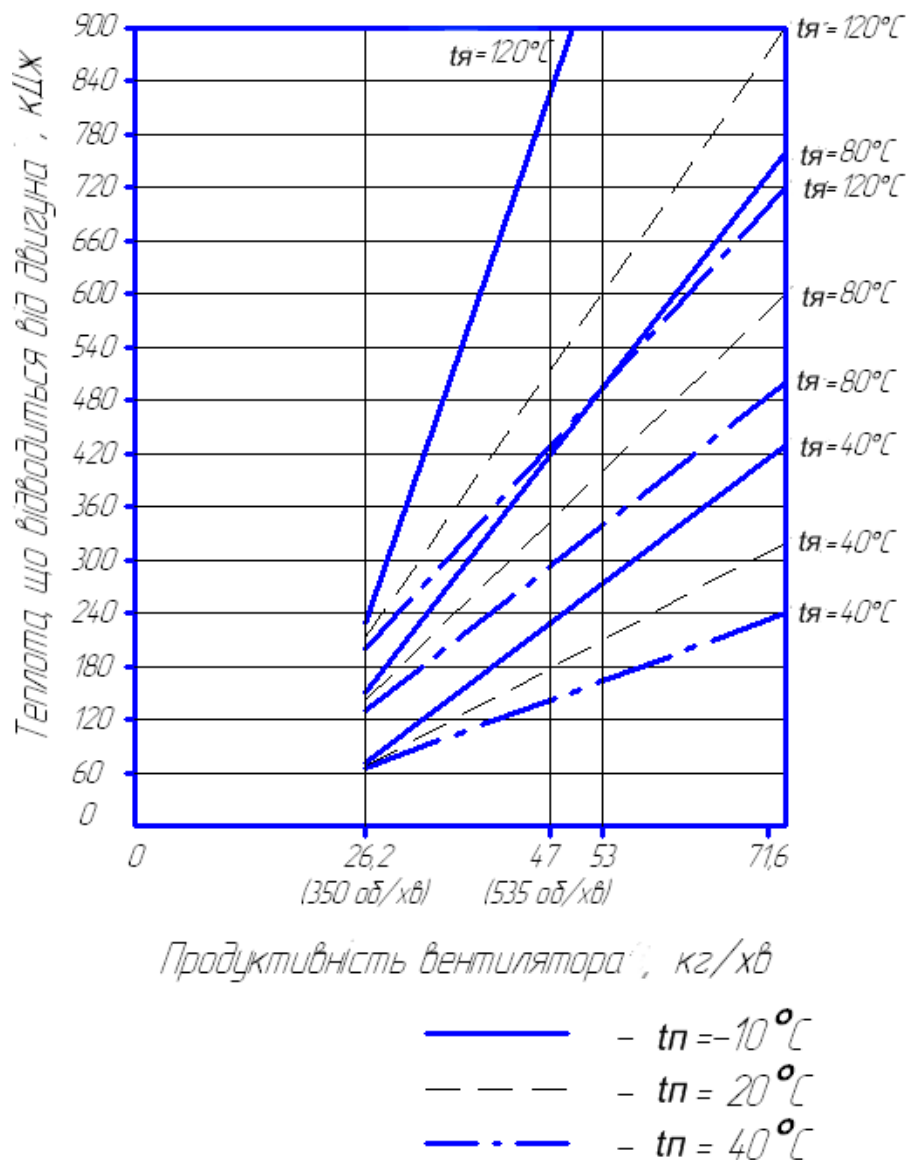


Рисунок 1 – Залежності $P=f(Q)$ для тягового двигуна ЕД-118

Аналіз режимних карт і швидкостемірних стрічок роботи тепловозів, працюючих на ділянках Красноармійськ – Рутченково, Красноармійськ – Курахово, Красноармійськ – Добропілля, показав, що робота на 14 позиції не перевищує 12хвилин, а швидкість руху не зменшується нижче 30км/год, тобто величина струму, поступаю чого на тяговий двигун, становить 600...610А. При таких струмах перегрів обмоток тягових двигунів буде становити не більше 80°C. Приблизно такі ж дані по температурі перегріву отримані на ділянці Дебальцево – Луганськ тягово – випробувальним вагоном.

На 14 позиції контролера кількість повітря, поступаю чого в тяговий двигун, складає 71,6кг/хв. (див. рис.1). При такій кількості повітря, поступаю чого в двигун при температурі $t_n=40^\circ\text{C}$, відводиться біля 485кДж теплоти. Така ж кількість теплоти відводиться при подачі в двигун 53кг/хв при $t_n=20^\circ\text{C}$ і 47кг/хв при $t_n=-10^\circ\text{C}$, що дозволяє зменшувати продуктивність вентилятора при зниженні температури навколишнього середовища.

Згідно законів аеродинаміки [2] між частотою обертання вала вентилятора, його продуктивністю і споживаємою потужністю існують такі залежності

$$\begin{aligned} Q_1/Q_2 &= n_1/n_2; \\ N_1/N_2 &= \left(n_1/n_2\right)^3 \end{aligned} \quad (2)$$

або

$$N_1/N_2 = \left(Q_1/Q_2\right)^3. \quad (3)$$

Таким чином, при перегріві обмоток двигуна до $t=80^\circ\text{C}$ і однаковій кількості відведеної теплоти на привід вентилятора потрібна потужність:

при $t_n=20^\circ\text{C}$ в 2,5 рази менша ніж при $t_n=40^\circ\text{C}$

при $t_n=-10^\circ\text{C}$ в 3,5 рази менша ніж при $t_n=40^\circ\text{C}$

Приблизно така ж закономірність зберігається при всіх температурах перегріву обмоток, що підтверджує необхідність регулювання продуктивності вентиляторів, особливо при змінах температури поступаючого повітря для зменшення витрат енергії.

Слід відмітити ще деякі особливості роботи тягових двигунів локомотивів, пов'язану з їх вентиляцією. Встановлено [3], що при амплітуді коливань температури обмоток 60°C зволоження ізоляції проходить в 5 раз скоріше, ніж при амплітуді 10°C.

Крім того, разом з повітрям в тягові двигуни попадають агресивні речовини: лужні сполуки, кислоти та їх ангідриди, пари масла. Вказані фактори значно скорочують строк служби ізоляції і тягових двигунів в цілому.

Розрахунки показують, що при діючій системі охолодження, переведенням на сезонне регулювання продуктивності вентиляторів можна досягти 25% (згідно рисунку 1) економії енергії, витрачаємої на їх привід.

Найбільш ефективною може бути система автоматичного управління продуктивністю вентиляторів в залежності від струму підведеного до тягових двигунів і температури повітря, поступаю чого на їх охолодження.

Висновки. Доведено, що регулювання продуктивності вентиляторів тягових двигунів дозволить:

1. Скоротити витрати енергії на їх привід до 25% при сезонному регулюванні, і не менше 40% при автоматичному.
2. Зменшити зволоження ізоляції обмоток, дію на них агресивного середовища і, відповідно, продовжити строк служби тягових двигунів.

Література

1. Иоффе А.Б. О теплоотдаче якоря машин постоянного тока. «Вестник электромышленности» №1, 1949.
2. В.И. Колицун, Е.В. Дроздов. Основы гидравлики и аэродинамики. Москва. Стройиздат. 1980.
3. Башков В.М., Щетинин В.Г. Влияние расхода охлаждающего воздуха на срок службы тяговых электрических машин. Луганск, машиностроительный институт – Луганск, 1989.

УДК 629.463.125

Ищенко В.М., к.т.н., доц. (ДЕТУТ)
Дуганов О.Г., к.т.н., доц. (ДНУЗТ)
Вислогузов В.Т., к.т.н., доц. (ДНУЗТ)

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ

Вступ. Відповідно до рішень Монреальського протоколу та інших міжнародних домовленостей щодо речовин, які руйнують озоновий шар, холодильний агент хладон 12 (R12), який застосовувався в холодильному обладнанні рухомого складу залізниць протягом багатьох років, визнаний

озоноруйнуючою речовиною і його виробництво та використання в теперішній час заборонено [1, 2]. Згідно існуючих критеріїв вибору альтернативних холодоагентів для заміни R12 в холодильному обладнанні установок кондиціонування повітря пасажирських вагонів та рефрижераторного рухомого складу найбільш прийнятним рішенням є використання неазеотропної сумішної композиції холодоагентів на основі гідрохлорфторвуглецевих (ГХФВ) [3, 4]. Неазеотропні сумішні композиції холодоагентів ГХФВ мають характерні для них особливості роботи, які дещо відрізняються від поведінки азеотропної моноречовини R12 і потребують удосконалення процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання з урахуванням особливостей термодинамічних властивостей.

Постановка задачі. Для забезпечення ефективного функціонування холодильного обладнання сучасні методи діагностики холодильних систем використовують термодинамічний аналіз, який описує за допомогою математичних моделей взаємодію між енергією, що споживається і продуктом, що виробляється [5]. Аномальна поведінка одного з елементів обладнання викликає зміну роботи інших елементів та усієї системи. Функції, за якими розрізняють несправності, завжди базуються на основі термодинамічних властивостей робочих тіл, які здійснюють процеси переносу енергії і маси в системі. Такі функції розглядаються як міра розбіжності між ідеальною характеристикою до початку експлуатації обладнання і реальною характеристикою безпосередньо в процесі життєвого циклу рухомого складу залізниць. З цієї точки зору знання термодинамічної поведінки робочих тіл є ключовим моментом для подальшого удосконалення процедури діагностування холодильного обладнання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням підвищення екологічної безпеки рухомого складу залізниць та технічної діагностики обладнання вагонів присвячені праці вітчизняних, закордонних вчених та фахівців. Аналіз довів що більшість робіт стосується пошуку та вибору нових холодоагентів для холодильного обладнання рухомого складу залізниць з урахуванням екологічних, економічних, термодинамічних та експлуатаційних вимог, а також впровадженню виконаних досліджень в існуючих холодильних установках робочого парку пасажирських та рефрижераторних вагонів. При цьому недостатньо приділено уваги дослідженням удосконалення процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання рухомого складу залізниць з урахуванням його конструктивних особливостей і термодинамічних властивостей альтернативних сумішних композицій холодоагентів що використовуються в теперішній час.

Метою роботи є удосконалення процедури діагностування холодильного обладнання рухомого складу залізниць, що працює на

альтернативній неазеотропній сумішній композиції холодоагентів, з урахуванням її термодинамічних властивостей.

Основний матеріал. В рухомому складі залізниць застосовуються парокомпресійні холодильні установки, що розраховані на використання холодоагента R12 з поршневими компресорами одно- та двоступеневого стиснення. В робочому процесі холодильної установки холодопродуктивність, що виробляється компресором за рахунок підведеної роботи, утворюється у випарнику шляхом кипіння холодоагенту при низькій температурі кипіння t_0 та тиску кипіння P_0 за рахунок відводу теплоти від середовища, що охолоджується. Це означає, що робота холодильної установки характеризується однаковими значеннями холодопродуктивності компресора та випарника і у перехідному процесі ця енергетична рівновага є динамічною[6].

Холодопродуктивність є основною зовнішньою характеристикою холодильної установки, яка залежить від властивостей холодоагенту, параметрів холодильного циклу та для азеотропної моноречовини R12 визначається значеннями температур конденсації t_k та кипіння t_0 , тобто [6]

$$Q_0 = f(t_k, t_0), \quad (1)$$

На підставі положень термодинаміки холодильних машин рухомого складу залізниць, які розроблені Бартошем Є. Т., залежність $Q_0 = f(t_k, t_0)$ визначається за допомогою виразу об'ємної продуктивності компресора і має вигляд

$$Q_0 = \lambda V_h q_v, \quad (2)$$

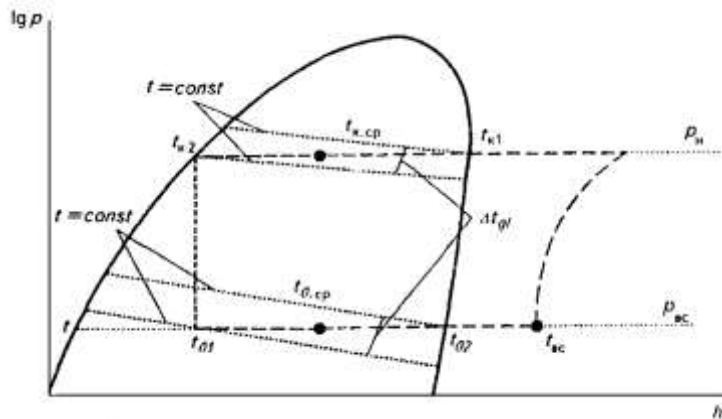
де λ - коефіцієнт подачі компресора;

V_h - об'єм, що описують поршні компресора за одиницю часу, $\text{м}^3/\text{с}$;

q_v – питома об'ємна холодопродуктивність пару холодоагенту, що всмоктується компресором, $\text{Дж}/\text{м}^3$.

На відміну від азеотропної моноречовини R12 у альтернативній неазеотропній сумішній композиції холодоагентів ГХФВ, які застосовуються в рухомому складі залізниць, концентрації парової та рідинної фаз в умовах термодинамічної рівноваги відрізняються, тобто кипіння при постійному тиску відбувається при збільшенні температури холодоагент від t_{01} до t_{02} а конденсація - при зменшенні температури від t_{k1} до t_{k2} (рисунок 1).

Таким чином, температуру кипіння та конденсації холодоагенту слід визначати по-іншому [7].



Риснок 1 – Діаграма $\lg p-h$ для неазеотропних холодоагентів

Практично це означає, що для побудови та розрахунку термодинамічного циклу холодильної машини при її роботі на неазеотропній суміші холодоагентів приймаються температури

$$t_{0\bar{n}\delta} = 0,5(t_{01} + t_{02}), \quad (3)$$

$$t_{k\bar{n}\delta} = 0,5(t_{k1} + t_{k2}), \quad (4)$$

Різниця температур фазового переходу при постійному тиску (при кипінні або конденсації) отримала назву Δt_{gl} або температурний глайд (від англ. glide – ковзання). Значення Δt_{gl} залежить від складу робочого тіла і є важливим технологічним параметром.

Враховуючи ці обставини, для побудови та дослідження основної зовнішньої характеристики холодильної машини, холодопродуктивності, запропонована математична модель, яка відображає взаємозв'язки вихідних параметрів компресора холодильної машини та властивості альтернативної неазеотропної сумішної композиції холодоагентів

$$Q_0 = f_i(x_i), \quad (5)$$

$$i = 1, 2; \quad x_1 = P_k; \quad x_2 = P_0, \text{ тобто } Q_0 = f(P_k, P_0).$$

Залежність $Q_0 = f(P_k, P_0)$, пропонується визначати на підставі виразу об'ємної продуктивності компресора (2).

Залежності $Q_0 = f(P_k, P_0)$ та $Q_0 = f(t_k, t_0)$ визначаються на підставі одного математичного рівняння і тому є аналогічними. Таким чином, залежність $Q_0 = f(P_k, P_0)$ враховує параметри холодоагента, які характеризують робочий цикл і тому можна вважати характеристикою холодильної установки.

При удосконаленні процедури діагностування враховувалася вартість окремих перевірок і перевага надана таким, які дозволяють з достатньою інформативністю швидко з мінімальними витратами оцінити стан холодильної машини.

Процедура діагностування передбачає вимірювання основної характеристики холодильної машини – холодопродуктивності $Q_0^{\text{діа}} = f(P_k, P_0)$ і визначення відхилення холодопродуктивності в робочому режимі від еталонної моделі $Q_0 = f(P_k, P_0)$. Використовуючи значення відхилення робочої холодопродуктивності за допомогою спеціальних перевірок визначаються несправності холодильного обладнання.

Висновки:

1. Інтегральної оцінкою технічного стану всієї системи холодильної установки є основна зовнішня характеристика – холодопродуктивність, яка визначається властивостями холодоагенту та значеннями температур кипіння і конденсації, $Q_0 = f(t_k, t_0)$.
2. На відміну від азеотропної моноречовини R12 альтернативна сумішна композиція холодоагентів має температурний глайд, який супроводжується незначними підвищенням температури при випаровуванні і зменшення температури при конденсації. Враховуючи температурний глайд неазетропний сумішної композиції холодоагентів, для побудови та дослідження холодопродуктивності холодильної установки запропонована математична модель, яка відображає взаємозв'язки вихідних параметрів компресора та термодинамічні властивості сумішної композиції холодоагентів, $Q_0 = f(P_k, P_0)$.
3. Удосконалена процедура діагностування передбачає вимірювання робочої холодопродуктивності установки $Q_0^{\text{діа}} = f(P_k, P_0)$ та визначення її відхилення від еталонної моделі $Q_0 = f(P_k, P_0)$.

Література

1. Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. ЮНЕП: Программа ООН по окружающей среде. – Монреаль. 1987. – 24 с.
2. Киотский протокол к рамочной конвенции организации объединенных наций об изменении климата, ООН, совершено 11.12.97.
3. Панферов В.И., Науменко С.Н. Исследование параметров и выбор озоносберегающего хладагента для энергохолодильного оборудования подвижного состава. Сборник научных трудов РГО ГУПС по материалам 5 международной н-т конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта», Ч.1, 2000. – С. 78-79.
4. Панферов В.И., Науменко С.М., Коковихин О.В., Дуганов А.Г. Результаты испытаний холодильных машин рефрижераторных вагонов при работе на альтернативном R12 хладагенте. – Межвузовский сб. науч. Тр., ДИИТ, 1997, вып.219, с.41-44.

5. Соколов М.М. Диагностирование вагонов – М.: Транспорт, 1990- 197с.
6. Бартош Е.Г. Энергетика изотермического подвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. – 304 с.
7. Бабакин Б.С., Стефанчук В.И., Ковтунов Е.Е. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе. – М.: Колос, 2000. – 160с.: Ил.

УДК 629

Обуховський В.В. к.і.н., доц. (ДЕТУТ)

ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА З КОНДИЦІОНУВАННЯМ ПОВІТРЯ ТИПУ 47К/К

Вступ. У цей час проблема діагностування несправностей електрообладнання пасажирських вагонів і його ремонт є першочерговою задачею пасажирського господарства. Основні задачі стратегії Укрзалізниці в сфері пасажирських перевезень пов'язані з підвищенням безпеки, експлуатаційної надійності та комфортності обслуговування пасажирів.

Мета статті. Розробка методики діагностування електрообладнання пасажирського вагона.

Викладення основного матеріалу. Діагностування засноване на протіканні електричного струму через певні клема електричного обладнання. Для діагностичних операцій може бути використана стандартна контрольна електролампа, потужністю 4,8 Вт із двома вивідними кінцями, які приєднуються до діагностичних клем.

Діагностування на стоянці. Перед діагностуванням необхідно систему керування живити напругою акумуляторної батареї шляхом вилучення запобіжника 1e1 - це необхідно для виключення розряду акумуляторної батареї через якір генератора, і постановки перемички перерізом 1,5-2,0 мм між клемми 13 РНГ та 1 РНГ (рисунок 1).

На цій діагностичній схемі (рисунок 1) робочими вузлами є: 1 і 4 - підвагонні ящики з резисторами; b2 - пускова кнопка, a1 - рубильник коробки зовнішнього живлення напругою 380В, МБ 1/5 - клемна рейка заднього монтажу в нижній частині розподільної шафи, L2 і L3 - клемні рейки переднього монтажу розподільної шафи.

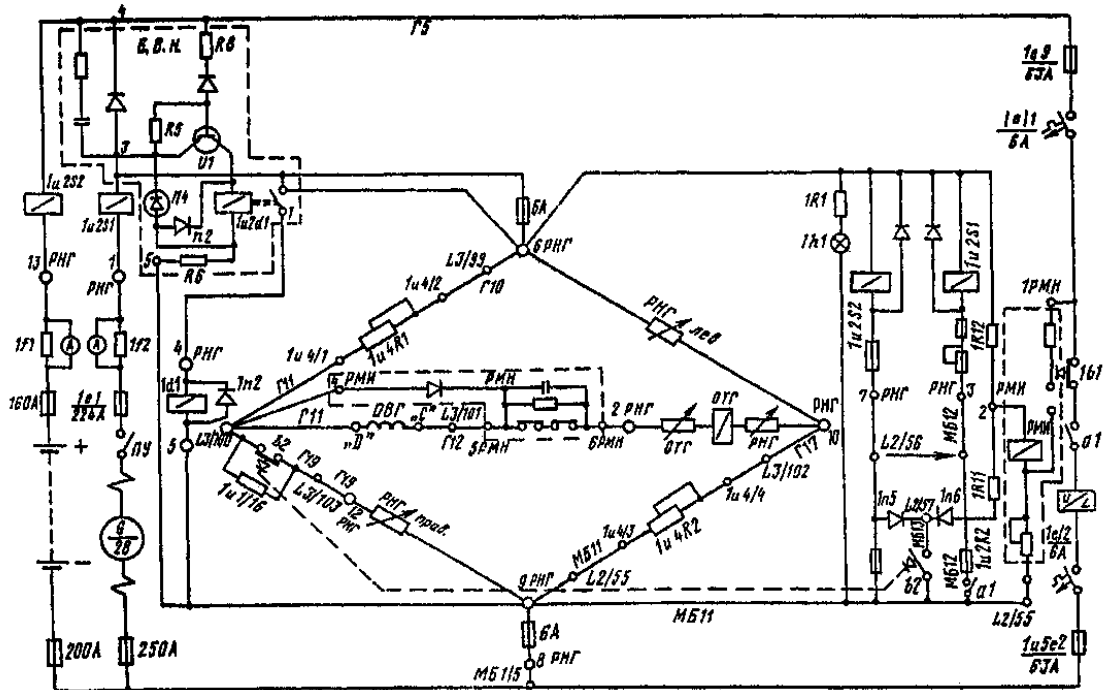


Рисунок 1 - Схема діагностування електрообладнання пасажирського вагона з кондиціонуванням повітря типу 47 К/К

Перевірка цілісності ланцюгів збудження. Один дріт контрольної лампи (КЛ) приєднується до мінуса системи електроустаткування в доступній точці.

Іншим дротом контрольної лампи провадиться приєднання послідовне до клем:

1 РНГ - нормальне розжарення контрольної лампи свідчить про надходження повної напруги акумуляторної батареї до клем 1 РНГ;

6 РНГ - нормальне розжарення контрольної лампи свідчить про те, що котушка 1u2S1 обмежувача струму генератора ОТГ у ланцюзі збудження зі струмом уставки 6А справні;

10 РНГ - повне розжарення лампи свідчить про цілісність лівого вугільного стовпа РНГ;

2 РНГ - повне розжарення лампи свідчить про справність заднього вугільного стовпа РНГ, котушки ОТГ і вугільних стовпів ОТГ;

6 РМН вхід у РМН; 5 РМН вихід РМН - при повному розжаренні КЛ РМН не являються причиною відмови генератора;

9 РНГ, 8 РНГ і МБ 1/5 - при нормальному горінні КЛ мінусові ланцюги справні.

Перевірка ланцюгів пускової кнопки двигуна генератора в коробці зовнішнього живлення під вагоном. Один дріт контрольної лампи (КЛ)

підключається до клеми L3/100, а іншої - до клеми L3/103. Нормальне світіння КЛ показує, що в ланцюзі запуску є обрив. У момент установлення перемички між клемми 13 РПР і 1 РНГ ведеться спостереження за станом якоря РНГ. Його поворот вказує на замкнутість 2-ї пари контактів розглянутої кнопки. Через протікання струму по котушці РНГ 1u2S2 стискаються вугільні стовпи РНГ. Якщо зазначена несправність відбувається під час рейсу, то акумуляторна батарея не буде заряджатися, тому що напруга генератора не буде вище 90В. Для усунення необхідно звільнити клему 7 РНГ.

Перевірка ланцюгів збудження генератора. Один дріт підключається до клеми L3/101, а іншої - до клеми L3/100. При нормальному світінні КЛ виявляється обрив обмотки збудження генератора.

Перевірка цілісності діодів. Перевіряються тільки діоди, які шунтують ОВГ. У випадку перегорання шунтового запобіжника зі струмом уставки 6А при наявності перемички між клемми 13 РНГ і 1 РНГ причиною є коротке замикання в ланцюгах управління генератора. Для усунення цього дефекту досить зняти дріт із клеми 4 або 5, що звільнити котушку 1d1 від її шунтування несправним діодом. Аналогічно може бути при пробі діодів котушок РМН, ОТГ, РНГ.

Перевірка силових ланцюгів генератора. Нобиться підключенням одного дроту контрольної лампи (КЛ) до позитивного полюса акумуляторної батареї, іншого - до нижнього мінуса гнізда запобіжника 1e1/224А. Нормальне розжарення КЛ свідчить про справність запобіжника 250 А ("мінус генератора") обмотки збудження, обмоток додаткових полюсів і наявності контакту між щітками й колектором генератора.

Діагностування на шляху прямування вагона.

Перевірка ланцюгів генератора. Перед початком перевірок стану генератора доцільно переконатися в справності вимірювальних штатних приладів на передній панелі розподільної шафи (вольтметр, амперметр). У практиці бувають випадки виходу з ладу вольтметра, коли генератор працює нормально, при цьому починаються непотрібні перевірки генератора й пошуки помилкових несправностей. Для перевірки роботи генератора потрібно клеми КЛ підключити до позитивного й негативного полюсів вольтметра.

Для перевірки силових ланцюгів генератора необхідно дроти контрольної лампи приєднати, відповідно, до клем «+» і «-» генератора. При цьому потрібно враховувати, що в генераторах DUGG-28 завжди через наявність залишкового магнетизму, при обертанні якоря з'являється залишкова напруга величиною 12-16 В. Горіння КЛ повним розжаренням свідчить про справність силових ланцюгів і несправності (наявності обриву ланцюга) шунтової обмотки генератора.

Загасання контрольної лампи вказує або на несправність силового ланцюга генератора, або на відсутність залишкового магнетизму (генератор розмагнічений), для чого машина може бути намагнічена шляхом пропущення струму через обмотку збудження від акумуляторної батареї тільки на стоянці, дотримуючи при цьому полярність шляхом постановки короткочасної перемички між клемми «+» акумуляторної батареї та 6 РМН.

Висновок. В даний час з особливою гостротою постає проблема всебічного удосконалення роботи всіх видів транспорту з метою більш повного задоволення потреб країни в перевезеннях вантажів і пасажирів. Успішне вирішення цього завдання на залізничному транспорті в значній мірі залежить від технічного стану рухомого складу і перш за все вагонного парку. Аналіз діагностування несправностей електрообладнання пасажирських вагонів, яке засноване на протіканні електричного струму через певні клеми електричного обладнання забезпечує повний контроль

Список літератури

1. Зорохович А.Э., Либман А.З. Электро- и радиооборудование вагонов. - М.: Транспорт, 1982. – 343 с.
2. Ребрик Г.М., Гомола Г.Г., Нодель С.Н. Электрооборудование пассажирских вагонов с кондиционированием воздуха. - М.: Транспорт, 1982. – 367 с.
3. Майоров В.Н. Устройство и ремонт электрооборудования вагонов. - М.: Транспорт, 1980. - 279 с.

УДК 621.791.05

Савенков В. Н., к.т.н., доц. (ДонНТУ)
Тимохин Ю. В., к.т.н., доц. (ДонИЖТ)

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПЕРЕХОДНЫХ УЧАСТКОВ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ НАПРЯЖЕНИЙ В ВАЛАХ

Постановка проблемы. Валы большинства агрегатов и машин изготавливаются ступенчатыми с разными диаметрами участков. В местах сопряжения участков возникает концентрация напряжений. Для снижения напряжений применяют различные формы переходных участков валов (рисунок 1).

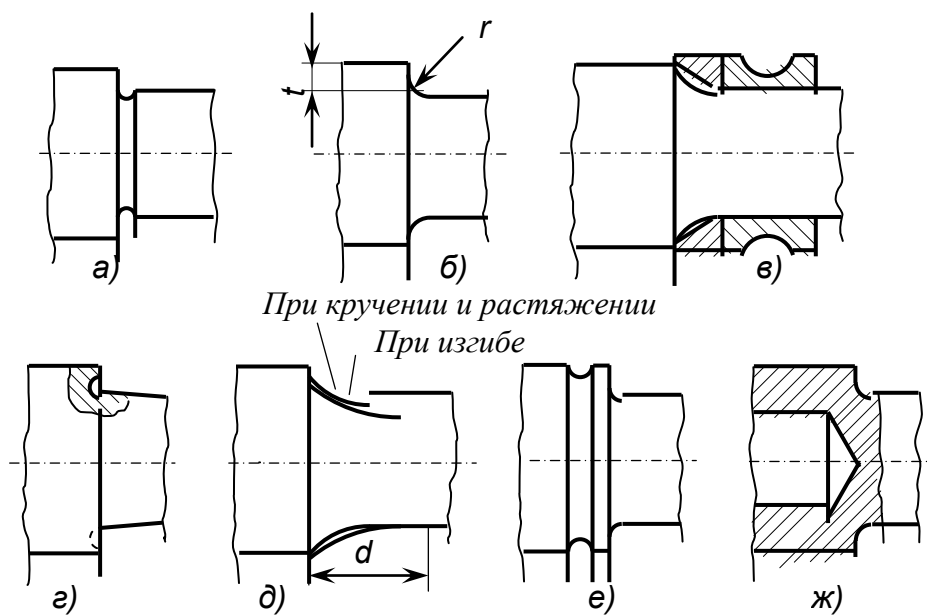


Рисунок 1. – Формы переходных участков валов:
а – с канавкой для выхода шлифовального круга;
б – постоянного радиуса;
в – под промежуточное кольцо;
г – эллиптическая с поднутрением;
д – оптимальной формы при изгибе (внутренняя кривая) и при кручении и растяжении (наружная кривая);
е – с разгрузочной канавкой;
ж – с отверстием в ступени большого диаметра

Матеріал валів в місцях сопряжения участков с различными диаметрами находится в сложном напряженно-деформированном состоянии.

Анализ последних достижений. В настоящее время накоплен огромный объем теоретических и экспериментальных данных по определению напряжений в местах их концентрации в валах [1 – 4].

Цель работы. Определение напряжений в валах возможно либо аналитическими методами теории упругости, либо численными методами. В данной работе исследуются напряжения в переходных участках валов, вычисленные методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS. Результаты численного расчета сравниваются с аналитическими результатами, приведенными в справочной литературе.

Расчет напряженно-деформированного состояния валов проводился при изгибе и кручении.

На рисунке 2 приведена расчетная схема переходного участка вала с галтелью постоянного радиуса и разгрузочной канавкой при чистом изгибе.

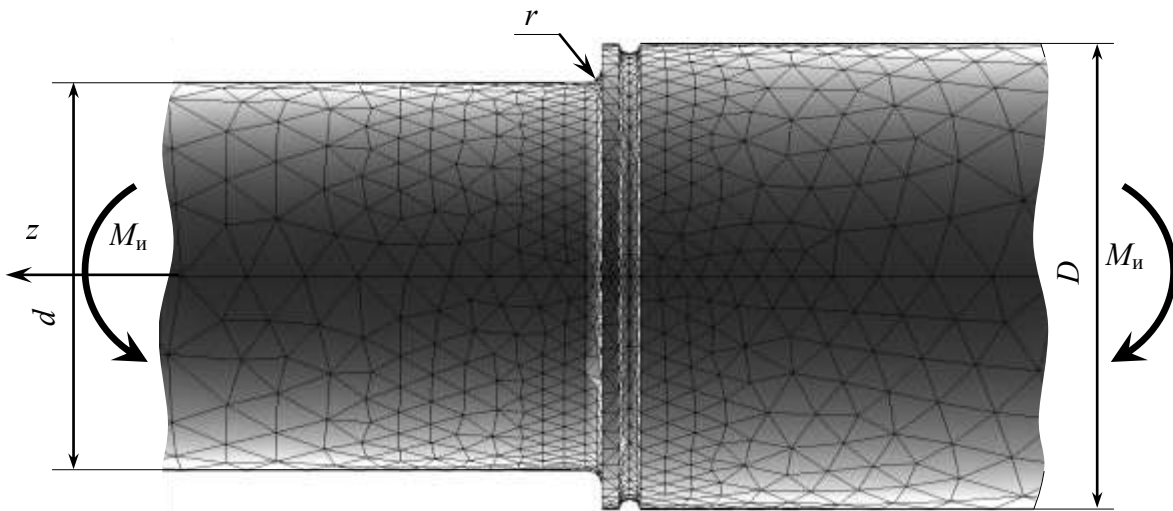


Рисунок 2. – Расчетная схема переходного участка вала с галтелью и разгрузочной канавкой

Участки вала на рисунке представлены твердотельными объемами с сеткой конечных элементов в виде тетраэдров.

Результаты расчета содержат компоненты напряжений и перемещений в узлах сетки, а также усредненные величины напряжений по граням элементов.

На рисунке 3 приведена эпюра эквивалентных напряжений на поверхности участков вала, определенных по формуле

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]}, \quad (1)$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – нормальные напряжения, $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$ – касательные напряжения.

Оси x , y расположены в поперечном сечении вала: ось x – горизонтальная, ось y – вертикальная. Ось z – продольная ось вала.

В расчете принято: диаметры участков $d = 80$ мм, $D = 100$ мм, радиус галтели $r = 3,2$ мм, изгибающий момент $M_{из} = 80$ Н·м.

Напряжения, вычисленные по МКЭ, на участке с диаметром $d = 80$ мм вдали от галтели (номинальные напряжения) равны $\sigma_{ном} = 15,8$ МПа.

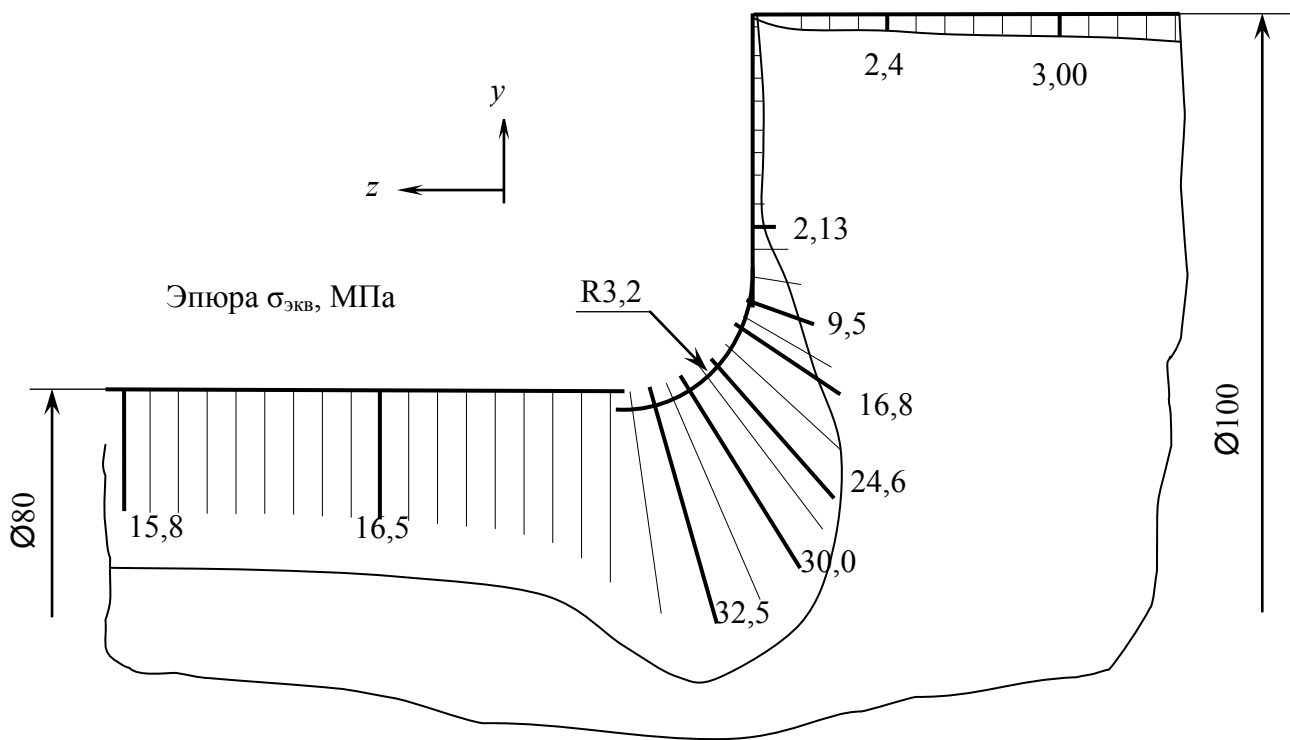


Рисунок 3. – Эпюра эквивалентных напряжений у поверхности вала в зоне галтельного перехода между участками с разными диаметрами при изгибе

Нормальные напряжения, вычисляемые по формуле сопротивления материалов, равны

$$\sigma_z = \frac{M_{из}}{W_x} = \frac{32M_{из}}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 80 \cdot 10^3}{\pi \cdot 80^3} = 15,9 \text{ МПа},$$

где $W_x = \frac{\pi d^3}{32}$ – момент сопротивления поперечного сечения участка вала.

Остальные напряжения в формуле (1) равны нулю. Поэтому по теории сопротивления материалов $\sigma_{экв} = \sigma_z = 15,9$ МПа.

Как видим, результаты, полученные по МКЭ и по теории сопротивления материалов, отличаются незначительно.

Максимальные напряжения в районе галтели по МКЭ (рисунок 3) равны $\sigma_{\max} = 32,5$ МПа.

Коэффициент концентрации напряжений в данном случае равен

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{ном}}} = \frac{32,5}{15,82} = 2,05. \quad (2)$$

Аналогично получаются коэффициенты концентрации для других компонентов напряжений и для других видов нагружения валов.

На рисунке 4 приведены эпюры касательных напряжений τ_{xz} (а) и эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ (б) на поверхности вала при кручении.

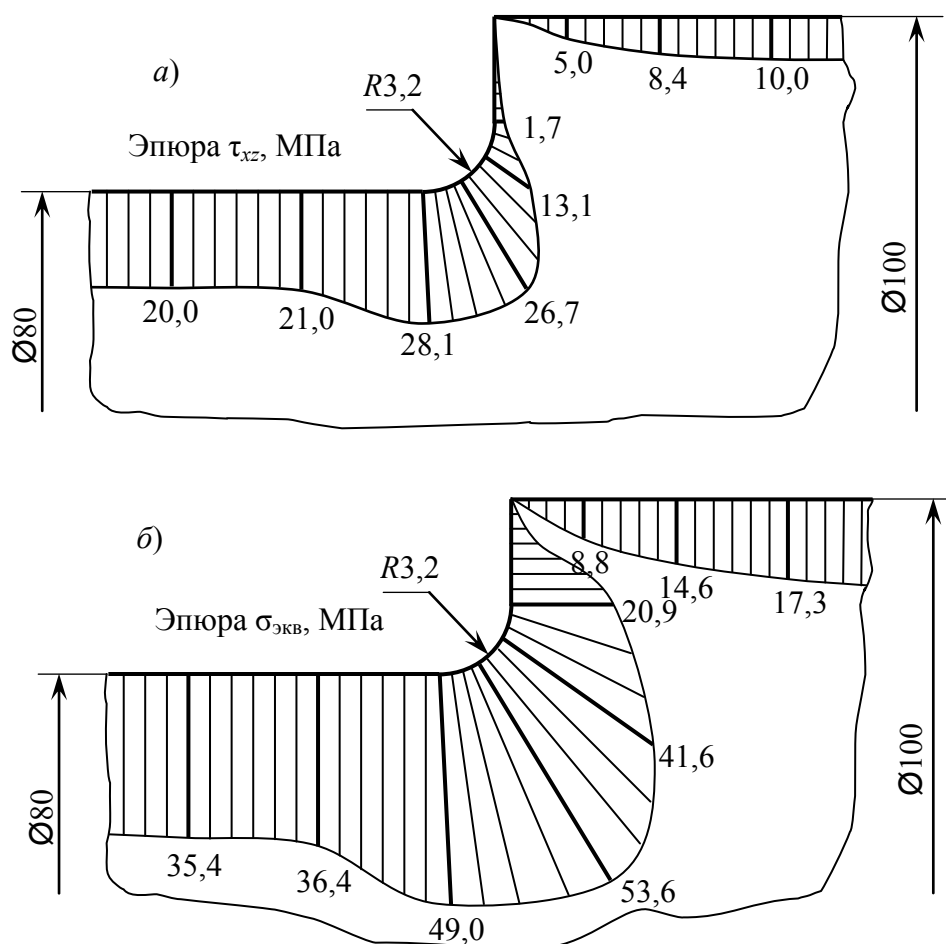


Рисунок 4. – Эпюры напряжений на поверхности вала в зоне галтельного перехода при кручении:

- а) – касательные напряжения τ_{xz} в поперечных сечениях вала;
б) – эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}}$

Значение касательных напряжений вдали от концентратора напряжений (галтель с радиусом $R_{3,2}$ мм) $\tau_{xz} = \tau_{ном} = 20,0$ МПа практически совпадает с теоретическим значением, вычисленным по формуле сопротивления материалов,

$$\tau_{xz} = \frac{M_K}{W_p} = \frac{16M_K}{\pi d^3} = \frac{16 \cdot 2 \cdot 10^6}{\pi \cdot 80^3} = 19,9 \text{ МПа},$$

где $M_K = 2 \cdot 10^6$ Н·мм – крутящий момент; $W_p = \frac{\pi d^3}{16}$ – полярный момент сопротивления поперечного сечения вала.

Эквивалентные напряжения, определенные по формуле (1) и по МКЭ также отличаются незначительно (34,6 МПа и 35,4 МПа соответственно).

Коэффициенты концентрации для касательных и эквивалентных напряжений по данным, приведенным на рисунке 4, соответственно равны

$$k_\tau = \frac{\tau_{max}}{\tau_{ном}} = \frac{28,1}{20,0} = 1,41; \quad (3)$$

$$k_{эkv} = \frac{\sigma_{max}^{эkv}}{\sigma_{ном}} = \frac{49,0}{35,4} = 1,38.$$

Сравнивая значения коэффициентов концентрации в выражениях (2) и (3) заключаем, что при одинаковых геометрических параметрах галтель-ных переходов концентрация напряжений при изгибе больше, чем при кручении.

В таблице приведены коэффициенты концентрации напряжений в галтелях с различными радиусами.

Таблица 1 – Коэффициенты концентрации напряжений в галтелях валов

$D = 120 \text{ мм}; d = 80 \text{ мм}$ $D/d = 1,5$		$r, \text{ мм}$	3,2	6,4	9,6	12,8	16
		r/d	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20
изгиб	$k_\sigma, [1]$		2,18	1,77	1,61	1,50	1,42
	$k_\sigma, \text{МКЭ}$		2,23	1,77	1,52	1,46	1,36
	$k_{эkv}, \text{МКЭ}$		2,40	1,89	1,57	1,55	1,45
кручение	$k_\tau, [1]$		1,77	1,51	1,38	1,29	1,23
	$k_\tau, \text{МКЭ}$		1,46	1,31	1,26	1,20	1,17
	$k_{эkv}, \text{МКЭ}$		1,47	1,32	1,26	1,20	1,17

Коэффициенты k_σ , k_τ , $k_{эkv}$ определены по нормальным напряжениям при изгибе, касательным напряжениям при кручении и по эквивалентным напряжениям. Для сравнения в таблице приведены коэффициенты

концентрации, взятые из справочника [1]. Подобные данные можно найти в учебной литературе [2].

Расчетные и справочные значения значительно отличаются при малых радиусах скругления. Большее расхождение наблюдается для коэффициентов, рассчитанных по эквивалентным напряжениям.

Исследовано влияние формы переходных участков в валах на величину коэффициента концентрации.

Как видно из рисунке 3 и 4, при выполнении галтели с постоянным радиусом кривизны максимальные напряжения возникают в самом начале галтели со стороны участка с меньшим диаметром. Применение галтели с переменным радиусом кривизны, например, по дуге эллипса может существенно снизить эти напряжения.

На рисунке 5 приведена эпюра эквивалентных напряжений в переходном участке с галтелью в виде дуги эллипса, выполненной внутри участка с большим диаметром. Максимальные напряжения здесь равны 26,4 МПа, что на 19 % меньше напряжений в галтели с постоянным радиусом (32,5 МПа, рисунок 3).

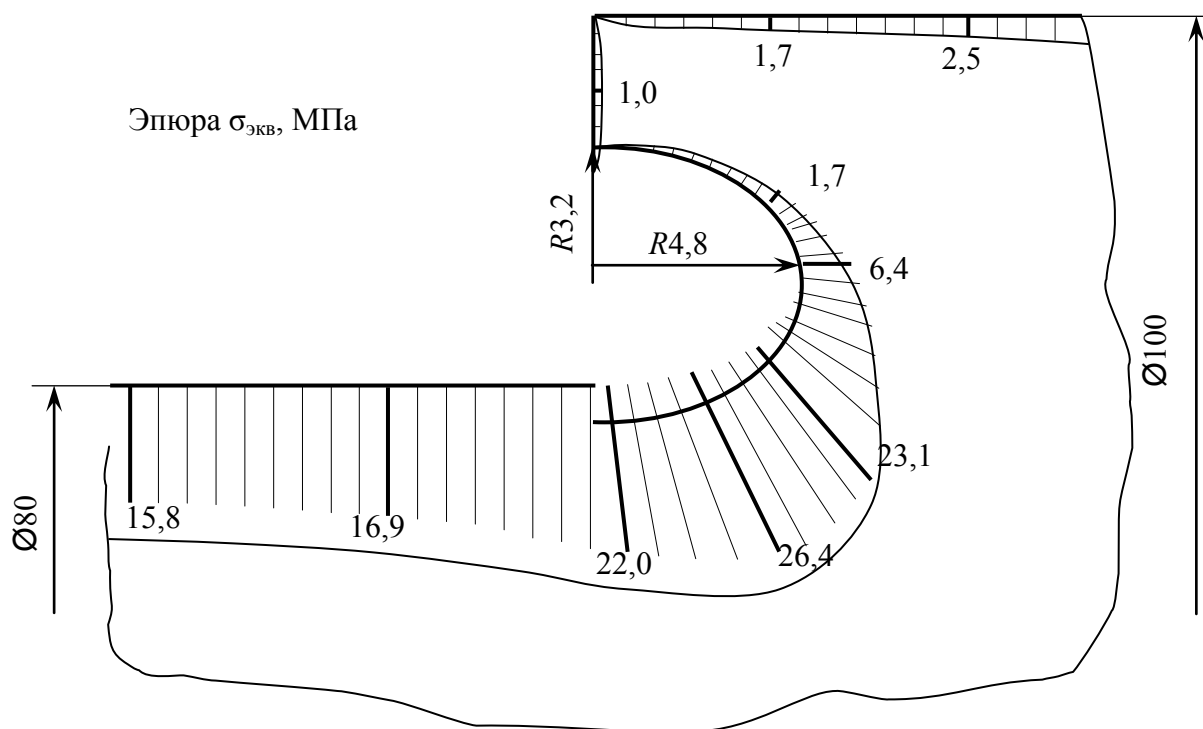


Рисунок 5. – Эпюра эквивалентных напряжений у поверхности вала в зоне галтельного перехода с поднутрением в виде эллипса при изгибе

Меньший эффект на снижение концентрации напряжений в галтели оказывает разгрузочная канавка со стороны участка с большим диаметром.

На рисунке 6 представлены эквивалентные напряжения в зоне галтельного перехода с разгрузочной канавкой с радиусом поперечного сечения, равным радиусу галтели. В данном случае максимальные напряжения, равные 31,0 МПа лишь на 5% меньше напряжений в галтельном переходе без канавки.

Не подтверждается положительное влияние отверстий на снижение концентрации напряжений в полых участках валов.

На рисунке 7 приведена эпюра эквивалентных напряжений в зоне перехода между сплошным участком меньшего диаметра и участком большего диаметра с отверстием.

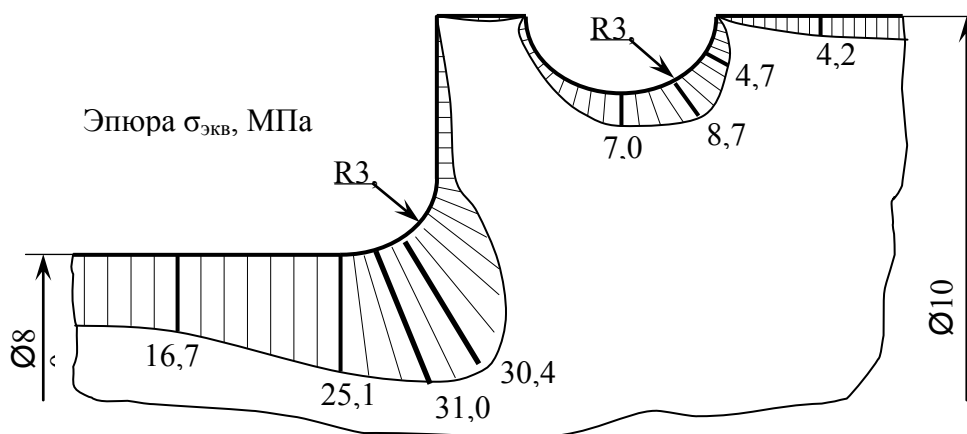


Рисунок 6. – Эпюра эквивалентных напряжений у поверхности вала в зоне галтельного перехода с разгрузочной канавкой при изгибе

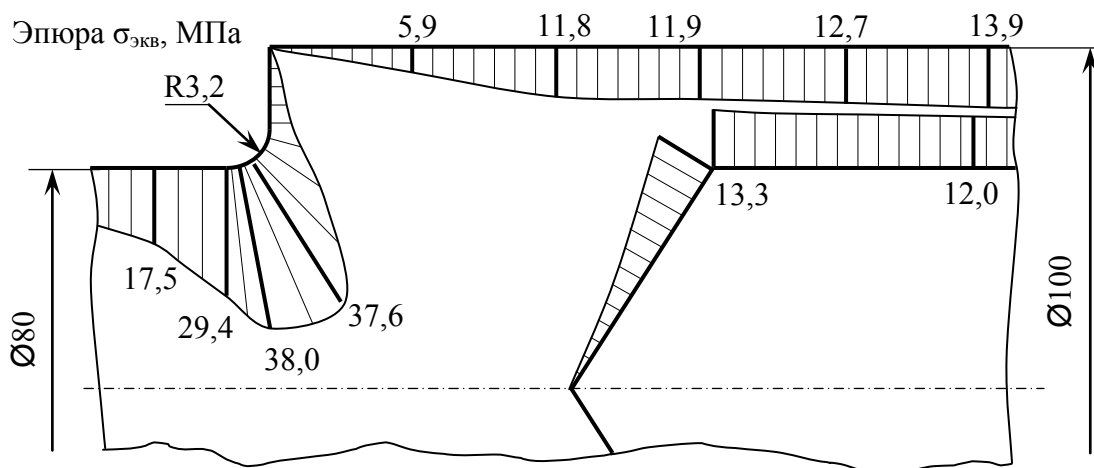


Рисунок 7. – Эпюра эквивалентных напряжений в зоне галтельного перехода с отверстием в валу при изгибе

Как видно из эпюры, максимальные напряжения в галтельном переходе с отверстием в валу даже больше напряжений в валах без отверстий. В данном случае эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}} = 38,0$ МПа превышают напряжения в валу без отверстия ($\sigma_{\text{экв}} = 32,5$ МПа) на 17%. По-видимому отверстие в валу ослабляет участок вала в районе галтели и разгрузочного эффекта не дает.

Выводы. По эпюрам, представленным на рис. 3 – 7, можно установить, что максимальные напряжения возникают в самом начале галтели со стороны участка с меньшим диаметром.

Наибольший разгрузочный эффект достигается в галтельном переходе с переменным радиусом кривизны. Большой радиус кривизны необходимо принимать со стороны более тонкого участка.

Использование внутреннего отверстия на участке с большим диаметром лишь увеличивает концентрацию напряжений в галтельном переходе между участками с разными диаметрами и поэтому использование этого конструктивного приема для снижения максимальных напряжений ошибочно.

Список литературы

1. Справочник по концентрации напряжений. Г. Н. Савин, В. И. Тульчий. Издательское объединение «Школа», 1976, 412 с.
2. Решетов Д. Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989, 496 с.
3. Иосилевич Г. Б. Детали машин: Учебник для студентов машиностроит. спец. вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

УДК 621.89

Ткач В. В., ст. викл. (ДЮІЛДУВС)

ВПЛИВ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ПЛІВКИ НА ВТОМНУ МІЦНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ

У статті розглядається питання зменшення нормальних контактних напружень зі збільшенням товщини змащувальної плівки за рахунок електростатичної обробки, що призводить до підвищення втомної міцності деталей підшипників ковзання.

Постановка проблеми. В сучасних технічних системах одним з перспективних методів інтенсифікації формування змащувальної плівки, відповідно до раніше проведених досліджень, може бути застосування зовнішнього електростатичного поля, спрямованого на руйнування надмолекулярних структур (міцел), що призводить до перевodu молекул ПАР у мономірний стан, що позитивно впливає на механізм формування змащувальної плівки, зв'язок контактних напружень у підшипниках ковзання із товщиною змащувальної плівки та на підвищення втомної міцності деталей підшипників ковзання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно механіки контактних взаємодій по теорії Герца контактні напруження, що виникають в зоні контакту поверхонь визначаються без урахування змащувального матеріалу. Відомо, що змащувальна плівка на поверхнях зменшує контактні напруження, але на сьогоднішній день модель яка пов'язує контактні напруження і втомну міцність з товщиною змащувальної плівки відсутня. Така модель дозволить проводити розрахунки втомної міцності підшипників ковзання в умовах формування змащувальної плівки кристалічної будови.

Метою статті є підвищення втомної міцності деталей підшипників ковзання шляхом зменшення нормальних контактних напружень за рахунок збільшення товщини змащувальної плівки на поверхнях тертя.

Матеріали та результати дослідження. В даній статті встановлено зв'язок між товщиною змащувальної плівки та нормальними контактними напруженнями і втомною міцністю підшипників ковзання. Результати розрахунків показують, що із зростанням товщини граничної змащувальної плівки відбуваються наступні позитивні явища: зменшуються нормальні

контактні навантаження, та підвищується втомна міцність підшипників ковзання. Так, при збільшенні товщини плівки в 2 рази з $1 \cdot 10^{-7}$ м до $2 \cdot 10^{-7}$ м, нормальні напруження зменшуються в 1,11 рази, при цьому втомна міцність збільшується в 4,4 рази. Таким чином, використання електростатичної обробки мастил призводить до суттєвого збільшення втомної міцності деталей підшипників ковзання.

Розрахунки деталей тертя на втомну міцність слід проводити по залежностям [1]

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{-1}}{K_0 \cdot n_\sigma}, \quad (1)$$

i

$$N_\sigma = \left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma} \right)^m \cdot N_{G\sigma}, \quad (2)$$

де σ – діючі максимальні нормальні напруження в контактi;

$[\sigma]$ – допустимі напруження на витривалість;

σ_{-1} – границя витривалості для матеріалу деталі;

n_σ – коефіцієнт запасу міцності;

K_0 – коефіцієнт зниження границі витривалості: $K_0 \geq 1$;

N – втомна міцність деталі (кількість циклів навантаження);

$N_{G\sigma}$ – абсциса точки перелому на кривій втомленості (кількість циклів навантаження);

m – показник ступеня, який визначається експериментально $m = \operatorname{ctg} \alpha$, де α – кут нахилу кривої втомленості матеріалу до границі перелому.

З рівняння (1) провадиться перевірка деталей на втомну міцність, а рівняння (2) дозволяє побудувати криву втомленості матеріалу.

Для оцінки впливу товщини змащувальної плівки на втомну міцність деталей підшипників ковзання необхідно визначити максимальні нормальні напруження, що виникають в зоні контакту поверхонь. Для цього слід скористатися теорією Герца. Уявимо контакт вкладиша підшипника з валом як дискретний контакт з урахуванням рівновагової шорсткості поверхонь, що утворилася в процесі тертя. Номінальна площа контакту визначається як $F_{НОМ} = l_1 \cdot B$, де B – ширина зони контакту. Однак, зовнішнє навантаження P_0 сприймається не номінальною площею, а фактичною F_ϕ яка дорівнює

$$F_\phi = f_l \cdot n_c \cdot F_{НОМ}, \quad (3)$$

де f_l – площа поодинокого контакту виступів вкладиша і валу;

n_c – щільність розподілу виступів по поверхням деталей.

Якщо припустити, що в процесі тертя всі мікроскопічні виступи обох поверхонь тертя набувають однакових геометричних параметрів та наближаються по своїй формі до півкуль з радіусом R , щільність розподілу виступів по поверхнях деталей

$$n_c = \frac{l}{\pi \cdot R^2}, \quad (4),$$

а зовнішнє навантаження, що сприймається поодиноким контактом двох виступів

$$P_l = \frac{P_0 \cdot B}{F_{НОМ} \cdot n_c}. \quad (5)$$

Розрахункова схема такого контакту наведена на рис. 1 Причому в контактї приймає участь адсорбований на поверхнях деталей шар молекул присадки товщиною h .

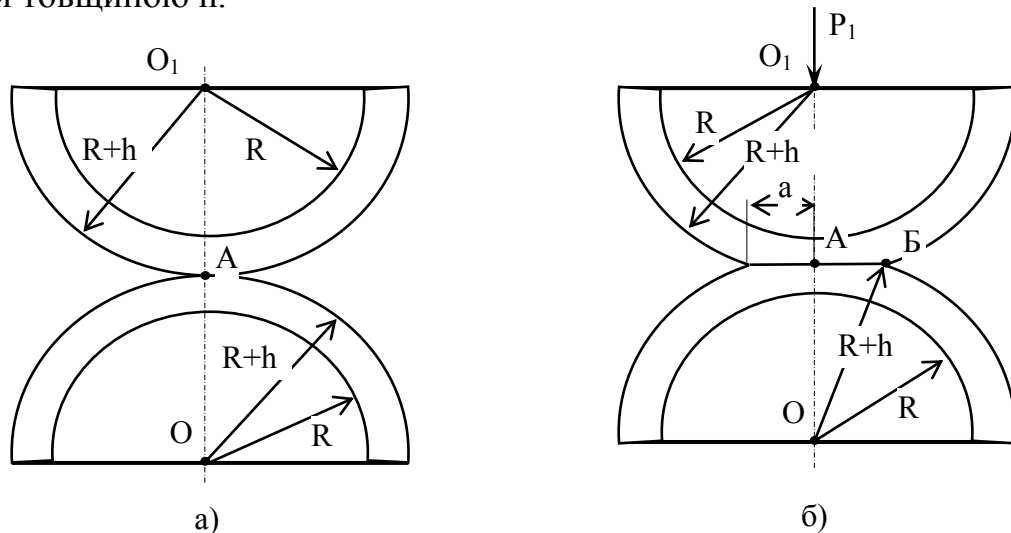


Рисунок 1. – Розрахункова схема до визначення ділянки контакту та максимальних контактних напружень при контактї двох мікроскопічних виступів підшипника ковзання:

а) до навантаження;

б) після навантаження.

Для визначення ділянки контакту, максимального напруження і контактного тиску в контактї двох виступів скористаємося формулами Герца [2]. Радіус ділянки контакту a

$$a = \left(\frac{3P_l(R+h)}{4E^*} \right)^{\frac{1}{3}}; \quad (6)$$

максимальний контактний тиск і нормальне напруження

$$\sigma = p_m = \left(\frac{6P_l E^{*2}}{\pi^3 (R+h)^2} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (7)$$

де E^* – зведений модуль пружності:

$$E^* = \left(\frac{1 - \mu_{h1}^2}{E_{h1}} + \frac{1 - \mu_{h2}^2}{E_{h2}} \right)^{-1}, \quad (8)$$

де μ_{h1} , μ_{h2} і E_{h1} , E_{h2} – коефіцієнти Пуассона і модулі пружності приповерхневих шарів деталей підшипника.

Таким чином, зі збільшенням товщини змащувальної плівки зменшуються нормальні контактні напруження, що призведе до підвищення втомної міцності деталей підшипника ковзання.

В якості прикладу проведемо розрахунок нормальних напружень та порівняльний аналіз втомної міцності валу підшипника ковзання в залежності від товщини змащувального шару. Вважаємо, що вкладиш підшипника знаходиться під дією стаціонарного навантаження, яке не призводить до його втомного руйнування.

Нехай товщина плівки змінюється в межах $h = 10^{-7} \dots 3 \cdot 10^{-7}$ м; зовнішнє навантаження на вал $P_0 \cdot V = 1000$ Н при $V = 10^{-2}$ м; радіус валу $R_2 = 25 \cdot 10^{-3}$ м; радіус виступів рівновагової шорсткості $R = 0,5 \cdot 10^{-6}$ м; матеріал вкладиша БрОЦС 4-4-17, матеріал валу 18Х2Н4МА ($E_1 = E_2 = 10^5$ МПа [3], $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$, $\sigma_{-1} = 750$ МПа); модуль пружності пластифікованих поверхневих шарів, насичених молекулами змащувальної плівки згідно роботи [4] в декілька разів менше значень модуля пружності об'єму (приймаємо $E_{h1} = E_{h2} = 0,2 \cdot 10^5$ МПа); номінальна площа контакту $F_{НОМ} = 19,5 \cdot 10^{-5}$ м²; $N_{G\sigma} = 10^6$ циклів, $m = 14,5$ за експериментальними даними роботи [1].

1. По залежності (4) визначаємо щільність розподілу виступів по поверхні валу: $n_c = 1,27 \cdot 10^{12}$ м⁻².
2. По залежності (5) визначаємо зовнішнє навантаження: $P_1 = 4,04 \cdot 10^{-6}$ Н.
3. По залежності (8) визначаємо зведений модуль пружності: $E^* = 5,5 \cdot 10^{10}$ Па.
4. По залежностям (6), (7) і (2) обчислюємо значення функцій $a(h)$, $\sigma(h)$ і $N_\sigma(h)$. Результати розрахунків наведені на рисунку 2, 3



Рисунок 2. – Зміна нормальних напружень в контактi підшипника в залежності від товщини змащувального шару

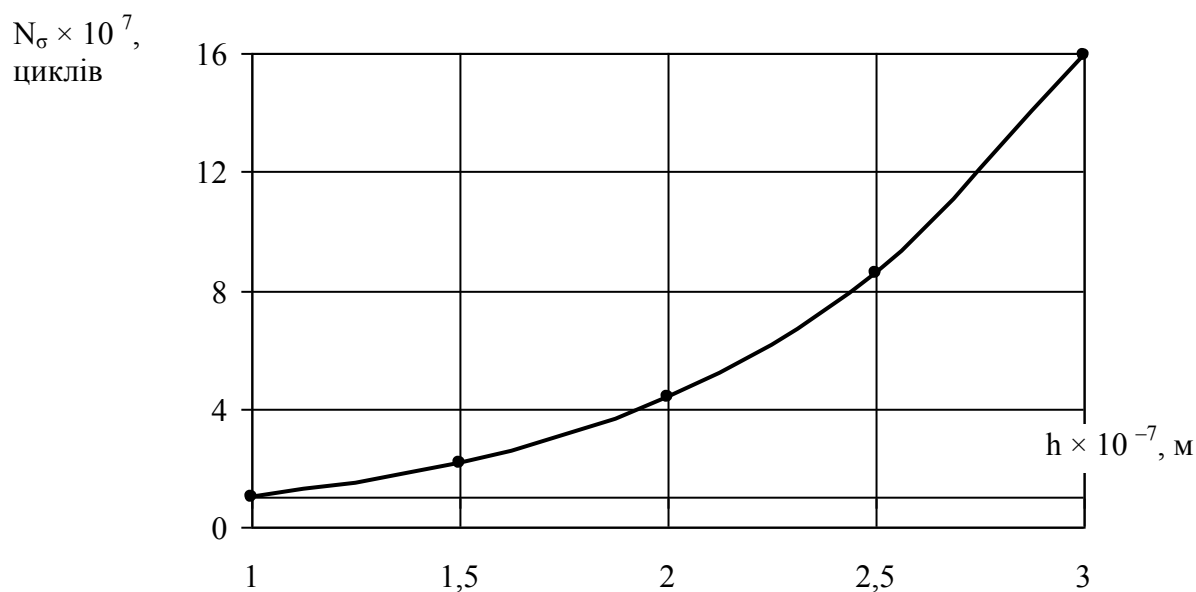


Рисунок 3. – Зміна втомної міцності валу підшипника в залежності від товщини змащувального шару.

Результати розрахунків показують, що із зростанням товщини граничної змащувальної плівки відбуваються наступні позитивні явища: зменшуються нормальні контактні навантаження, та підвищується втомна міцність підшипників ковзання. Так, при збільшенні товщини плівки в 2 рази з $1 \cdot 10^{-7}$ м до $2 \cdot 10^{-7}$ м, нормальні напруження зменшуються в 1,11 рази, при цьому втомна міцність збільшується в 4,4 рази.

Такі ефекти досягаються використанням при змащенні підшипників електростатичної обробки мастил. Завдяки цієї обробки, згідно проведених досліджень товщина змащувальної плівки збільшується до 2 разів, у порівнянні з необробленим мастилом.

Література

1. Сосновский Л.А. Основы трибофатики: Учебное пособие для студентов технических высших учебных заведений. Ч.1. – Гомель: БелГУТ, 2003. – 246 с.
2. Ануриев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя: В 3 т. Т. 1. – 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
3. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физмагиз, 1993, – 472с.

**БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ
КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

УДК 625.143.482

Даренский А.Н., к.т.н., профессор (УкрГАЗТ)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧИСЛЕННЫМИ
МЕТОДАМИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПУТЬ
СПЕЦИАЛЬНЫХ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВАГОНОВ
ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА**

Введение. Одной из главных задач при разработке мероприятий, позволяющих уменьшить количество отказов пути из-за неблагоприятных воздействий специальных и специализированных вагонов промышленного транспорта, является поиск методов и средств, позволяющих с большой точностью раскрыть существо и течение динамических процессов, возникающих при движении таких вагонов.

Такие методы и средства должны давать не только качественную, но и количественную информацию о процессах, адекватных реальным процессам в пути. Необходимо, чтобы информация имела вид графиков, изображающих течение динамических процессов во времени. Объем вводимой в исследования технической информации, описывающий практически все детали конструкции пути и подвижного состава должен быть достаточно большим для исследований влияния на динамические процессы взаимодействия подвижного состава и пути значительного числа параметров, их комбинаций и условий движения.

Таким методом является, по мнению автора, метод математического моделирования пространственной динамической системы “экипаж-путь” [1-4] и его реализация с использованием современных программных систем. Алгоритм и программа математической модели фактически адекватны натуральным физическим процессам, происходящим в реальных конструкциях пути и подвижного состава, что подтверждается серией экспериментальных работ [5].

Исследование воздействия специальных и специализированных вагонов на путь численными методами с использованием программной реализации математической модели позволяет получать результаты при

точно заданных исходных данных. Между тем при опытах в пути установить точно исходные данные каждого опыта практически невозможно. По времени выполнения исследований численными методами, возможностями быстрого изменения исходных данных, затратам материальных и финансовых средств, математическое моделирование значительно превосходит метод натурных экспериментов.

Основная часть. Для выявления особенностей воздействия на путь специального и специализированного подвижного состава промышленного транспорта были выполнены многовариантные расчеты с использованием разработанной компьютерной программы математической модели пространственной динамической системы “экипаж-путь” [1-4].

В качестве расчетных экипажей были приняты некоторые наиболее распространенные типы специальных и специализированных вагонов металлургических и горнодобывающих предприятий Украины.

Также был принят наиболее массовый грузовой вагон магистрального транспорта – четырёхосный полувагон на тележках типа ЦНИИ-ХЗ-0, который рассматривался в качестве эталонной нагрузки для сравнительного качественного анализа результатов. В расчетах использована модель 12-1000, как наиболее употребляемая для внешних и внутренних перевозок металлургических и горнодобывающих предприятий.

Технические характеристики указанных выше вагонов, которые были приняты в расчетах, получены на основании анализа информации, приведенной в [6-8]. Для каждого экипажа учитывалось 25 параметров.

Скорость движения экипажей задавались для специальных вагонов от 2,5 до 7,5 км/ч, в некоторых случаях – до 10 км/ч, для специализированных вагонов и полувагона модели 12-1000 – от 5 до 40, редко – до 80 км/ч, что соответствует разрешенным скоростям движения для такого подвижного состава на промышленном транспорте.

Рассматривался прямой участок пути с рельсами типа Р65 на железобетонных и деревянных шпалах. Характеристики рельсов – моменты инерции, моменты сопротивлений, площади поперечного сечения принимались с учетом износа рельсов в процессе эксплуатации [9].

Пространственные жесткости и приведенные эквивалентные коэффициенты диссипации рельсовых опор принимались в зависимости от сроков эксплуатации пути по результатам исследований, изложенным в [10].

Поскольку величины вертикальных сил воздействия на путь у разных типов специальных и специализированных вагонов могут отличаться более, чем в два раза, и эти силы непрерывно изменяются при движении экипажей, для сравнительного анализа более удобно и информативно использовать не их абсолютные значения, а коэффициенты динамики и

амплитудные коэффициенты. Коэффициент динамики представляет собой отношение максимальных вертикальных динамических сил, возникающих при движении, к величине статической колёсной (или осевой) нагрузки:

$$K_y = \frac{P_{\max \text{ дин}}}{P_{\text{ст}}}$$

Поскольку при движении экипажа вертикальные силы изменяются не только в большую, но и в меньшую от статических значений сторону, величину этих изменений можно оценивать значениями амплитудного коэффициента:

$$K_a = \frac{P_{\max \text{ дин}}}{P_{\min \text{ дин}}}$$

Следует отметить, что при использовании расчетной схемы рельса как балки на сплошном упругом основании в динамических расчетах взаимодействия экипажа и пути в вертикальной плоскости, при движении экипажа по прямому ровному участку с установившейся скоростью коэффициент динамики и амплитудный коэффициент равны единице. Между тем в реальных условиях вертикальные силы непрерывно изменяются и эти коэффициенты отличаются от единицы весьма существенно.

На рисунке 1 приведены полученные в результате расчетов графики изменений вертикальных сил, действующих от колеса на рельс при движении различных вагонов по пути со скоростью 10 км/ч. В качестве оси абсцисс использовано пройденное вагоном расстояние, ось ординат – силы воздействия (Н). В этих расчетах величины пространственных жесткостей рельсовых опор были приняты постоянными.

На рисунке 2 – 8 приведены полученные на основании анализа результатов расчетов графики зависимостей коэффициентов динамики и амплитудных коэффициентов от скоростей движения тех вагонов, которые являются наиболее характерными типами подвижного состава для условий промышленного железнодорожного транспорта. Значения скоростей движения приняты в пределах фактически реализуемых. На рисунках даны графики зависимостей для пути на железобетонных и на деревянных шпалах, как для новой конструкции, так и после десяти лет её эксплуатации. Эпюра шпал в расчетах принята равной 1840 шт./км.

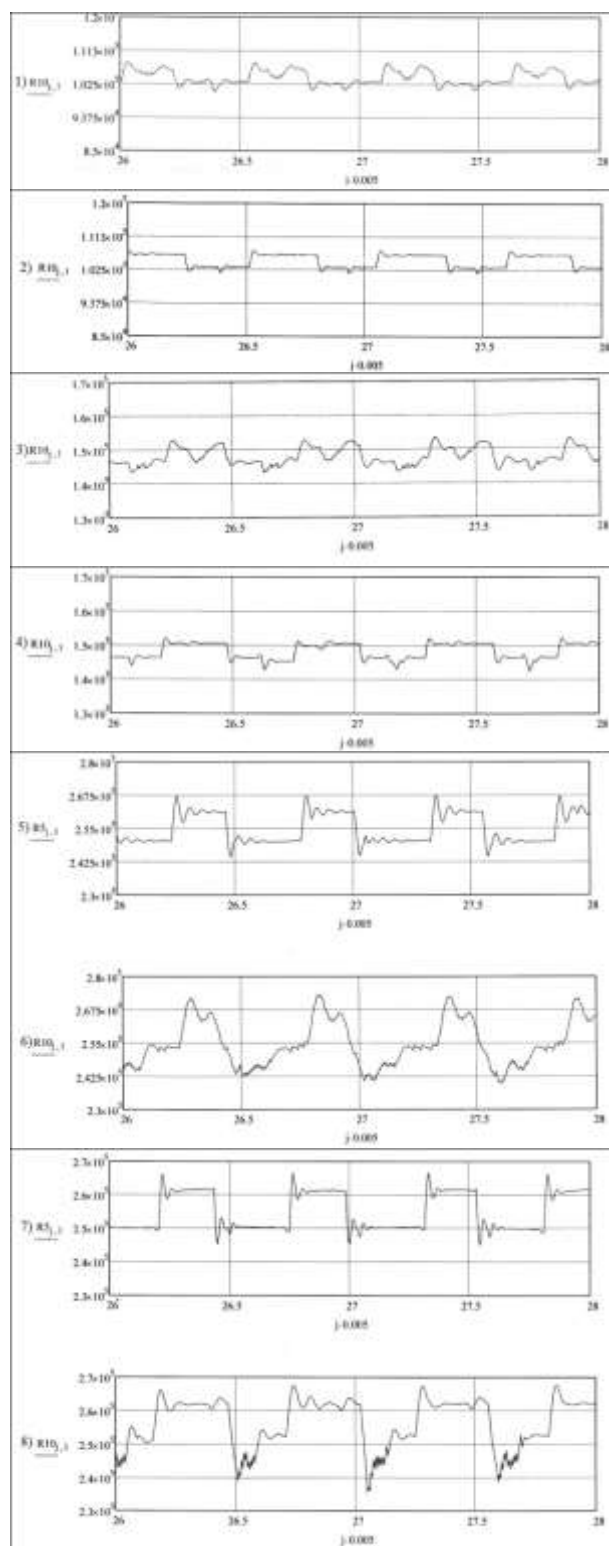


Рисунок 1. – Графики динамических вертикальных сил при движении вагонов:

- 1 – полувагон модели 12-1000, путь на деревянных шпалах, скорость – 10 км/ч
- 2 – то же железобетонные шпалы
- 3 – думпкар ВС-85, деревянные шпалы
- 4 – то же железобетонные шпалы
- 5 – чугуновоз грузоподъемностью 140 т, деревянные шпалы, скорость – 5 км/ч
- 6 – то же, скорость 10 км/ч
- 7 – чугуновоз грузоподъемностью 140 т, железобетонные шпалы, скорость – 5 км/ч
- 8 – то же, скорость 10 км/ч

Графики показывают, что на динамические вертикальные силы оказывают влияние как характеристики движущихся экипажей, их скорость, так и жесткости рельсовых опор. Причем характер изменений этих сил существенно различается при разных вариантах расчетов.

Для всех рассмотренных типов вагонов зависимости коэффициентов динамики и амплитудных коэффициентов от скоростей движения представляют собой показательные функции, при этом показатель степени аргумента меньше единицы, хотя, ориентируясь на общие положения динамики процесса, можно было бы ожидать другие значения. По-видимому здесь оказывает влияние не только скорость движения вагонов, но и соотношение жесткостей рессорных комплектов вагонов и пути, параметры диссипации в этих подсистемах и другие факторы.

При одинаковых скоростях движения, например 5 км/ч, для полувагона коэффициент динамики находится в пределах $1,006 \div 1,009$ для разных типов шпал и сроков службы пути; думпкара ВС-85 – $1,032 \div 1,057$; для чугуновоза грузоподъемностью 140 т – $1,059 \div 1,075$; для тележки И-120-550 эти величины достигают значений $1,115 \div 1,127$. В то же время при скорости 10 км/ч значения амплитудных коэффициентов составляют 1,06 – 1,15 для полувагонов 1,01 – 1,02, для думпкара ВС-85, 1,128 – 1,147 для чугуновоза грузоподъемностью 140 т.

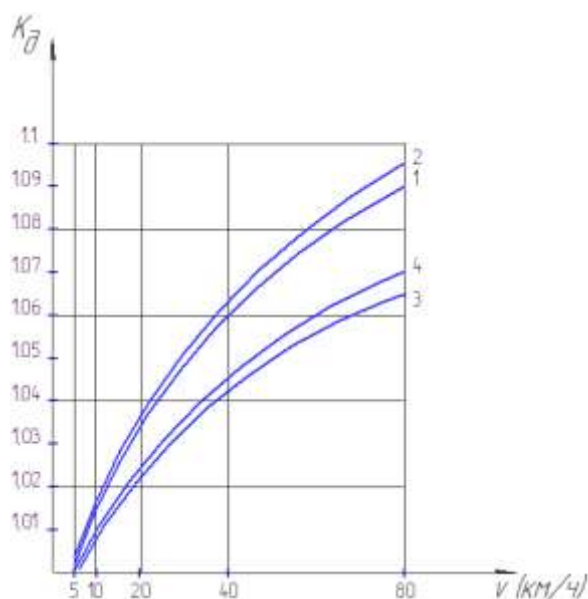


Рисунок 2. – Графики зависимостей коэффициентов динамики от скорости движения полувагона модели 12-1000

- 1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
- 2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
- 3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
- 4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.

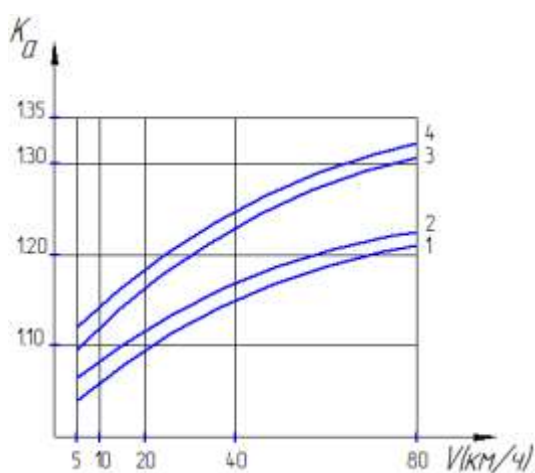


Рисунок 3. – Графики зависимостей амплитудных коэффициентов от скорости движения полувагона модели 12-1000

- 1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
- 2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
- 3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
- 4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.

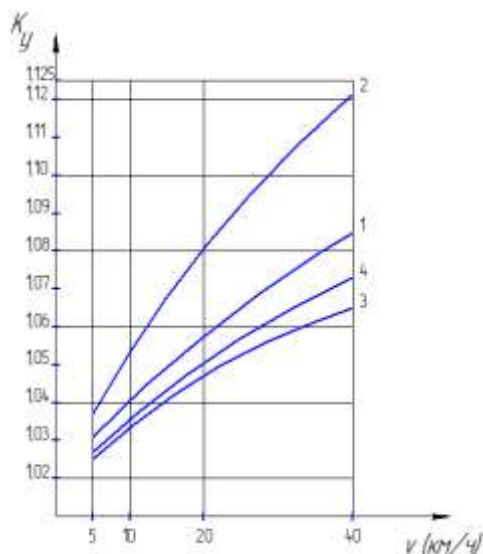


Рисунок 4. – Графики зависимостей коэффициентов динамики от скорости движения думпкара ВС-85

- 1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
- 2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
- 3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
- 4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.

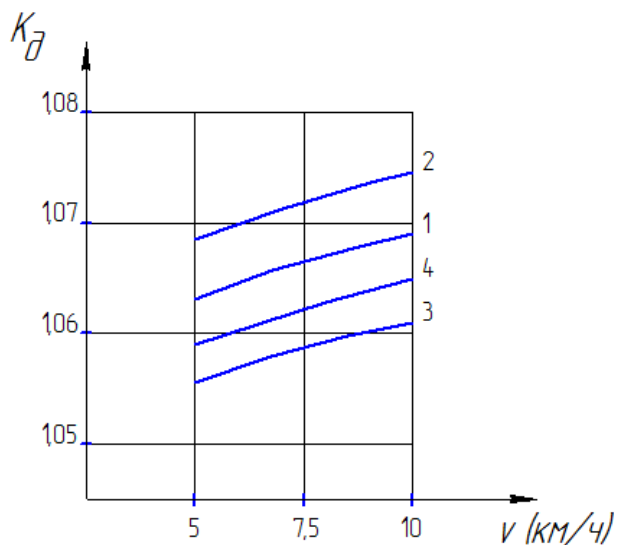
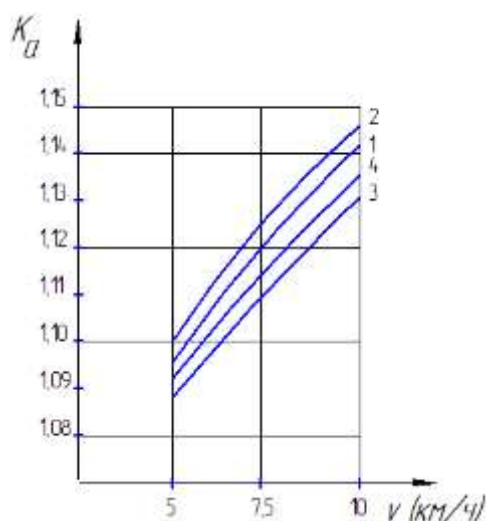
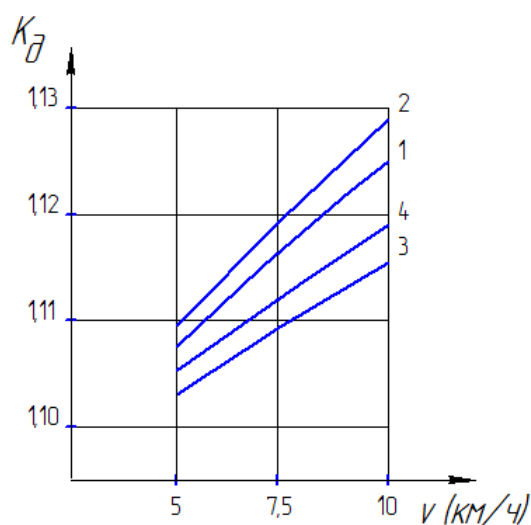


Рисунок 5. – Графики зависимостей коэффициентов динамики от скорости движения чугуновоза грузоподъёмностью 140 т

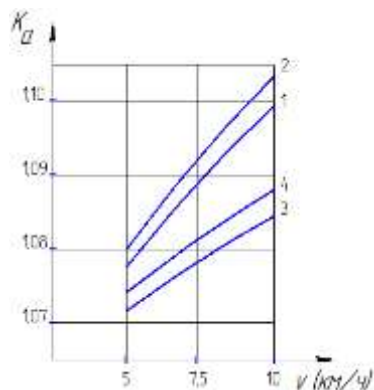
- 1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
- 2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
- 3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
- 4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.



Рисунко 6. – Графики зависимостей амплитудных коэффициентов от скорости движения чугуновоза грузоподъёмностью 140 т
1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.



Рисунко 7. – Графики зависимостей коэффициентов динамики от скорости движения тележки для изложниц И-120-5500
1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.



Рисунко 8. – Графики зависимостей амплитудных коэффициентов от скорости движения тележки для изложниц И-120-5500

- 1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
- 2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
- 3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
- 4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.

Таким образом, влияние осевых нагрузок и жесткостей рессорных комплектов при движении по прямым участкам пути, не имеющем неровностей, на анализируемые параметры явно прослеживается.

Введение в расчеты неравноупругости рельсовых опор с применением метода Монте-Карло оказывает весьма существенное влияние на коэффициенты динамики. Так, при скорости 10 км/ч, изменение коэффициента неравноупругости опор от 0 до 0,2 (рисунок 9) вызывает увеличение коэффициентов динамики от 1,02 до 1,055 при движении полувагонов, для думпкаров ВС-85 эти изменения составляют $1,065 \div 1,125$, чугуновозов грузоподъемностью 140 т – $1,085 \div 1,173$ и при движении тележек для изложниц И-120-550 – $1,18 \div 1,215$.

При реализуемых на путях промышленного железнодорожного транспорта скоростях движения поездов основное влияние на величину вертикальных динамических сил оказывают короткие изолированные неровности профиля длиной до 6 м. На рисунке 10 и 11 приведены графики изменений коэффициентов динамики и амплитудных коэффициентов при движении некоторых типов вагонов, принятых к расчетам, по вертикальным изолированным неровностям длиной 2 и 4. В этих расчетах в качестве опор приняты железобетонные шпалы, срок эксплуатации пути – 10 лет. Для установления влияния именно неровностей на динамику воздействия подвижного состава на путь, жесткость опор здесь одинакова.

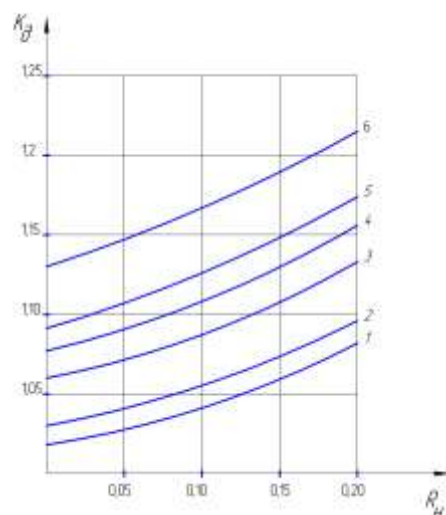


Рисунок 9. – Графики зависимостей коэффициентов динамики экипажей от коэффициента неравноупругости рельсовых опор, железобетонные шпалы, скорость движения 10 км/ч:

- 1 – полувагон модели 12-1000
- 2 – думпкар 6 ВС-60
- 3 – думпкар ВС-85
- 4 – платформа чугуновозная 70 т
- 5 – чугуновоз 140 т
- 6 – тележка для изложниц И-120-5500

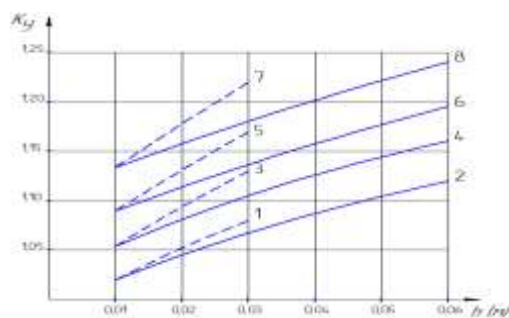


Рисунок 10. – Графики зависимостей коэффициентов динамики от глубины вертикальной неровности пути на железобетонных шпалах, скорость движения 10 км/ч:

- 1, 3, 5, 7 – длина неровности 2 м
- 2, 4, 6, 8 – длина неровности 4 м
- 1, 2 – полувагон модели 12-1000
- 3, 4 – думпкар ВС-85
- 5, 6 – чугуновоз 140 т
- 7, 8 – тележка для изложниц И-120-5500.

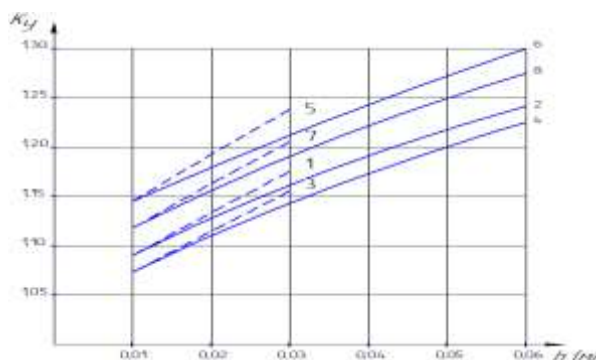


Рисунок 11. – Графики зависимостей амплитудных коэффициентов динамики от глубины вертикальной неровности пути на железобетонных шпалах, скорость движения 10 км/ч:

- 1, 3, 5, 7 – длина неровности 2 м
- 2, 4, 6, 8 – длина неровности 4 м
- 1, 2 – полувагон модели 12-1000
- 3, 4 – думпкары ВС-85
- 5, 6 – чугуновоз 140 т
- 7, 8 – тележка для изложниц И-120-5500.

При скорости движения 10 км/ч по прямому участку пути с вертикальной изолированной неровностью длиной 2 или 4 м коэффициент динамики полувагона, в зависимости от глубины неровности, достигает значений 1,075 – 1,123, амплитудный коэффициент – до 1,230; для думпкара ВС-85 эти значения составляют 1,16 и 1,22; для чугуновоза 1,195 и 1,30; для тележки И-120-5500 – 1,24 и 1,28 соответственно. В этом случае, если в расчеты вводится неравноупругость рельсовых опор, коэффициенты динамики при движении по пути с вертикальными неровностями возрастают на 12-20 %, амплитудные коэффициенты – на 8 - 17 %.

Выводы. Таким образом, использование расчетной схемы пути как балки на упругих опорах в математической модели динамической системы “экипаж-путь” позволило установить расчетами, что при движении по прямому участку пути с неравноупругими опорами величина максимальных динамических вертикальных сил, действующих от колеса на рельс для полувагона модели 12-1000 может достигать 118 кН (при скорости 40 км/ч), для думпкара ВС-85 – 174 кН (скорость 40 км/ч), чугуновоза грузоподъемностью 140 т – 296 кН (скорость 10 км/ч), для тележки И-120-5500 – 276 кН (скорость – 5 км/ч). При движении этих вагонов с теми же скоростями по пути с вертикальными изолированными неровностями значения вертикальных сил возрастают до 126 кН для

полувагона, 187 кН для думпкара ВС-85, 319 кН для чугуновоза грузоподъемностью 140 т и до 295 кН для тележки И-120-5500.

Литература

1. Даренський О.М. Розрахунок рейки як балки на пружних опорах під дією рухомого навантаження [Текст] / О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг // ДПТ, тези доповідей. – 2010. №14.-С.171.
2. Даренський О.М. Методологічні основи вибору розрахункової схеми динамічної системи “екіпаж-колія” для умов промислового транспорту [Текст] / О.М. Даренський // ІКСЗТ.-2010.-№2.-С. 32-36.
3. Даренський О.М. Розрахункова схема динамічної системи “екіпаж-колія” для умов промислового залізничного транспорту. Загальні положення і допущення математичної моделі системи [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // ДонНІИЖТ. Збірник наукових праць – 2010.- №21.-С. 219-230.
4. Даренський О.М. Умови контактування коліс і рейок в горизонтальній площині. Силкові і кінематичні зв’язки екіпажу і колії [Текст] / О.М. Даренський // Зб. наук. праць УкрДАЗТ – 2010.- №113.-С. 171-177.
5. А.Н. Даренский. Результаты экспериментальных работ по определению сил сопротивления железобетонных шпал перемещениям [Текст] / А.Н. Даренский, В.Г. Витольберг, Н.В. Бугаец // ДонИИЖТ. Збірник наукових праць – 2009.- №17.-С. 157-171.
6. Вагоны. Конструкция, теория и расчет [Текст]: учебник / Под. ред. Л.А. Шадура – М.: Транспорт, 1943,- 439 с.
7. Вагоны СССР [каталог-справочник 16-7-68].-М.: НИИинформтяжмаш, 1969.- 176 с.
8. Вагоны СССР [каталог-справочник 18-8-74].-М.: НИИинформтяжмаш, 1975.- 198 с.
9. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст]: Е.І. Даниленко, В.В. Рибкін.- К.: Транспорт України – 2006.-168 с.
10. Даренский А.Н. Результаты определения пространственных неупругих сопротивлений железобетонного пути деформациям для условий промышленного транспорта [Текст] / А.Н. Даренский // - ІКСЗТ.-2010.-№6.-С. 24-31

УДК 621.9

Татьянченко А.Г., д. т. н. , профессор (ДонНТУ)

О НЕЛИНЕЙНОСТИ РАБОТЫ ГИБКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Проблема и ее связь с научными или практическими исследованиями. Гибкие элементы, способные воспринимать только растягивающие усилия, являются важными компонентами различных стержневых конструкций, позволяющие существенно снижать их металлоемкость. Такие конструкции находят широкое применение в строительстве и на транспорте. Характерными примерами гибких элементов являются линии электропередач, контактные провода на железнодорожном транспорте, ванты в комбинированных и вантовых системах. При этом часто гибкие элементы работают в условиях высоких температур, ветровых и других внешних воздействий, которые могут оказывать существенное влияние на их напряженное состояние. Поэтому развитие теории напряженно-деформированного состояния гибких элементов в условиях экстремальных эксплуатационных нагрузок является важной научной и практической задачей.

Анализ исследований и публикаций постановка задачи. С точки зрения строительной механики гибкие элементы комбинированных и вантовых систем представляют собой гибкие нити. Теория расчета их напряженно-деформированного состояния достаточно широко освещена в специальной литературе [1-3]. Поскольку гибкие нити по определению не могут испытывать сжатие, практическое применение этой теории при оценке напряженного состояния традиционно предполагает исключение из работы тех элементов, в которых в результате расчета возникают условные сжимающие усилия или создание в этих элементах усилий предварительного натяжения, превышающих возможные сжимающие усилия. Однако, подобный подход фактически предусматривает замену гибких элементов стержнями и, поэтому, не всегда дает адекватные результаты. Поэтому в данной работе поставлена задача исследования особенностей работы гибких элементов при различных вариантах рабочего нагружения и определения возможностей учета их нелинейности в расчетных схемах.

Изложение материала и результаты. Принципиальным отличием гибких нитей от других элементов стержневых и вантовых систем, является влияние собственного веса нитей на характер напряженно-деформированного состояния. Для оценки этого влияния исследуем особенности изменения продольного усилия в весомой и невесомой гибкой нити при различных условиях технологического нагружения.

Предположим, что в результате различных эксплуатационных воздействий на невесомую гибкую нить ее длина уменьшилась на величину Δ и, вследствие, этого в ней возникло продольное усилие H_0 (рисунок 1а).

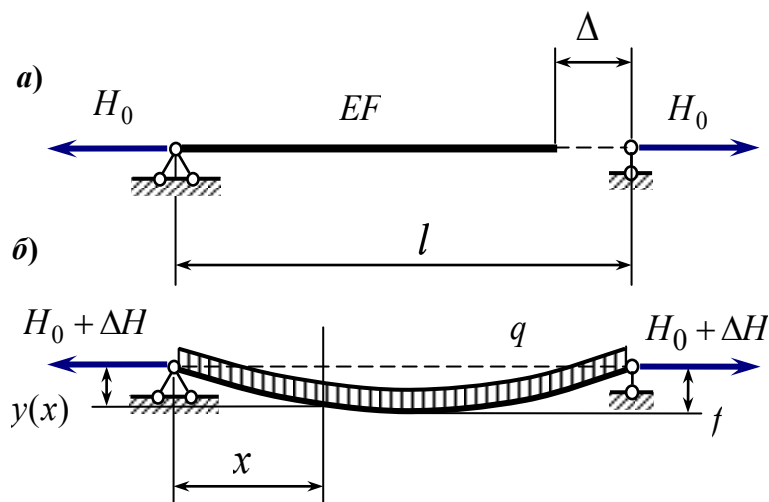


Рисунок 1. Напряженное состояние
невесомой (а) и весомой (б) нити при
предварительном натяжении

Для невесомой нити Δ и H_0 связаны законом Гука и физическими законами. Учитывая характер работы гибких элементов, можно выделить следующие виды эксплуатационных воздействий на них:

а) Усилия H_{np} от предварительного натяжения. Целью предварительного натяжения является перекрытие возможных сжимающих нагрузок в гибком элементе или уменьшение стрелы его прогиба. Технологически предварительное натяжение осуществляется при помощи гидравлических устройств, уменьшающих длину элементов. Поэтому в качестве эквивалентного внешнего воздействия при предварительном натяжении гибкого элемента можно рассматривать смещение его опорных точек на величину

$$\Delta_{np} = \frac{H_{np} l}{EF},$$

где EF – жесткость гибкой нити при растяжении, l – длина нити.

б) Усилия, возникающие от изменения температуры. При нагреве гибкого элемента до температуры Δt его длина изменится на величину

$$\Delta_{темн} = -\alpha_t l \cdot \Delta t,$$

где α_t – коэффициент линейного температурного расширения. Подобное изменение длины согласно закона Гука эквивалентно возникновению дополнительного продольного усилия

$$H_{темн} = -\alpha_t EF \cdot \Delta t.$$

в) Усилия от смещения опор $\Delta_{эксн}$ при эксплуатационном нагружении внешней нагрузкой. Такое смещение опор эквивалентно изменению продольного усилия на величину

$$H_{эксн} = \frac{EF \cdot \Delta_{эксн}}{l}.$$

Суммарное изменение продольного усилия от эксплуатационных воздействий в невесомом гибком элементе будет равно

$$H_0 = H_{np} + H_{темн} + H_{эксн} = H_{np} - \alpha_t EF \cdot \Delta t + \frac{EF \cdot \Delta_{эксн}}{l}, \quad (1)$$

а возникающее при этом смещение опор –

$$\Delta = \Delta_{np} + \Delta_{темн} + \Delta_{эксн} = \frac{H_{np} l}{EF} - \alpha_t l \cdot \Delta t + \Delta_{эксн}. \quad (2)$$

Положительное значение H_0 в (1) соответствует растяжению, положительное значение Δ в (2) – уменьшению длины гибкого элемента.

При последующем «нагружении» нити собственным весом (рис.1б), она провиснет по некоторой дуге и, следовательно, получит дополнительную деформацию Δ' , которая эквивалентна возникновению дополнительного продольного усилия ΔH .

Величину Δ' можно найти как разность длины дуги S и ее проекции l

$$\Delta' = S - l = \int_0^l \sqrt{dx^2 + dy^2} - l = \frac{1}{2} \int_0^l \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx. \quad (3)$$

Из уравнения изогнутой оси гибкой нити $y(x) = (q \cdot l \cdot x - q \cdot x^2) / 2H$, где

$$H = H_0 + \Delta H \quad (4)$$

– полное продольное усилие в гибкой нити (рисунок 1), получаем

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{H} \left(\frac{q \cdot l}{2} - q \cdot x \right). \quad (5)$$

С учетом (5) выражение (3) принимает вид

$$\Delta' = \frac{q^2 l^3}{24 H^2}. \quad (6)$$

При малых деформациях $\Delta' \ll l$, а $l \approx S$. Поэтому дополнительную деформацию Δ' согласно закона Гука можно представить виде

$$\Delta' = \frac{\Delta H \cdot S}{EF} \approx \frac{\Delta H \cdot l}{EF}. \quad (7)$$

Приравнявая (6) и (7), получим $\frac{q^2 l^2}{24 H^2} = \frac{\Delta H}{EF}$, или, с учетом (4),

$$\Delta H^3 + 2 H_0 \Delta H^2 + H_0^2 \Delta H = \frac{q^2 l^2 EF}{24}. \quad (8)$$

Из уравнения (8) видно, что величина дополнительного продольного усилия ΔH , вызванного действием собственного веса, является нелинейной функцией от действующего в гибкой нити продольного усилия H_0 от внешней эксплуатационной нагрузки. В частном случае при $H_0 = 0$, то есть, при отсутствии внешней нагрузки, дополнительное усилие ΔH будет равно

$$\Delta H = \sqrt[3]{\frac{q^2 l^2 EF}{24}} = S_0, \quad (9)$$

где S_0 – условное продольное усилие в гибкой нити от собственного веса.

Определим функциональную зависимость $\Delta H = f(H_0)$. Для этого решим уравнение (8), которое с учетом (9) принимает вид

$$\Delta H^3 + 2 \Delta H^2 H_0 + H_0^2 \Delta H = S_0^3. \quad (10)$$

Приводя (10) к каноническому виду при $\Delta H = x$ получаем

$$x^3 + r \cdot x^2 + s \cdot x + t = 0 \quad (11)$$

где $r = 2H_0$, $s = H_0^2$, $t = -S_0^3$.

После замены в (11) $y = x + r/3$ получаем приведенное уравнение

$$y^3 + p \cdot x + q = 0, \quad (12)$$

$$\text{где } p = \frac{3s - r^2}{3} = -\frac{H_0^2}{3}, \quad q = \frac{2r^3}{27} - \frac{r \cdot s}{3} + t = -\frac{2H_0^3}{27} - S_0^3.$$

Дискриминант уравнения (12) равен

$$D = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2 = \frac{H_0^3 S_0^3}{27} + \frac{S_0^6}{4} = \frac{S_0^6}{4} \left(1 + \frac{4H_0^3}{27S_0^3}\right). \quad (13)$$

При $H_0 > -1,89S_0$ дискриминант $D > 0$ и уравнение (12) будет иметь один действительный корень. Согласно формуле Кардано [4] он равен $y = u + v$,

$$\begin{aligned} \text{где} \quad u &= \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{D}} = \sqrt[3]{\frac{H_0^3}{27} + \frac{S_0^3}{2} + \sqrt{\frac{H_0^3 S_0^3}{27} + \frac{S_0^6}{4}}}, \\ v &= \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{D}} = \sqrt[3]{\frac{H_0^3}{27} + \frac{S_0^3}{2} - \sqrt{\frac{H_0^3 S_0^3}{27} + \frac{S_0^6}{4}}}. \end{aligned}$$

После преобразований получаем

$$y = \frac{S_0}{\sqrt[3]{2}} \left[\sqrt[3]{1 + 2\psi^3 + \sqrt{1 + 4\psi^3}} + \sqrt[3]{1 + 2\psi^3 - \sqrt{1 + 4\psi^3}} \right], \quad (14)$$

$$\text{где} \quad \psi = \frac{H_0}{3S_0}. \quad (15)$$

Деля в (14) обратную замену $x = \Delta H = y - r/3$, получаем решение уравнения (10) при $D > 0$

$$\Delta H = \frac{S_0}{\sqrt[3]{2}} \left[\sqrt[3]{1 + 2\psi^3 + \sqrt{1 + 4\psi^3}} + \sqrt[3]{1 + 2\psi^3 - \sqrt{1 + 4\psi^3}} - \sqrt[3]{16\psi^3} \right]. \quad (16)$$

Можно легко убедиться в том, что при $H_0 = 0$ согласно (15) $\psi = 0$. Тогда согласно (16) $\Delta H = S_0$, что соответствует условию (9).

При $H_0 < -1,89S_0$ дискриминант (13) $D < 0$ и уравнение (12) будет иметь три действительных корня. Физический смысл имеет корень

$$y = 2\sqrt[3]{\rho} \cos\left(\frac{\varphi}{3} + \frac{2\pi}{3}\right), \quad (17)$$

$$\text{где } \rho = \sqrt{-\frac{p^3}{27}} = \frac{H_0^3}{27}, \quad \varphi = \arccos\left(-\frac{q}{2\rho}\right) \approx \frac{\pi}{2} - \frac{1+2\psi^3}{2\psi^3} - \frac{1}{6}\left(\frac{1+2\psi^3}{2\psi^3}\right)^3.$$

После преобразований выражение (17) принимает вид

$$y = \frac{2H_0}{3} \cos\left(\frac{5\pi}{6} - \frac{1+2\psi^3}{6\psi^3} - \frac{1}{18}\left(\frac{1+2\psi^3}{2\psi^3}\right)^3\right), \quad (18)$$

Делая в (18) замену $x = \Delta H = y - r/3$, находим решение при $D < 0$

$$\Delta H = 2\psi S_0 \left[\cos\left(\frac{5\pi}{6} - \frac{1+2\psi^3}{6\psi^3} - \frac{1}{18}\left(\frac{1+2\psi^3}{2\psi^3}\right)^3\right) - 1 \right]. \quad (19)$$

Полученные аналитические являются функциями только двух параметров – S_0 и ψ , что удобно для их интеграции в различные численные и аналитические методы расчета. При этом параметр S_0 согласно (9) является объективной независимой характеристикой гибкого элемента, учитывающей его длину, форму сечения и свойства материала. Параметр ψ согласно (15) учитывает особенности внешнего нагружения, которые могут варьироваться согласно (1).

Численный анализ на основе уравнений (16) и (19) показывает, что даже при отсутствии внешней нагрузки $H_0 = 0$ или при условных сжимающих нагрузках $H_0 < 0$, соответствующих увеличению длины, в гибких элементах будут возникать продольные растягивающие усилия за счет действия собственного веса. Это положение противоречит положенному в основу общепринятых методов расчета вантовых систем предположению о «выключению» из работы гибких элементов с условно сжимающими нагрузками.

На рисунке 2 приведены характерные диаграммы функций $H = f(H_0)$ и $\Delta H = f(H_0)$ для одного из гибких элементов (стальной канат $l = 26\text{ м}$, $F = 19,88 \text{ см}^2$) вантовой системы, полученные на основе зависимостей (16), (19) и (4).

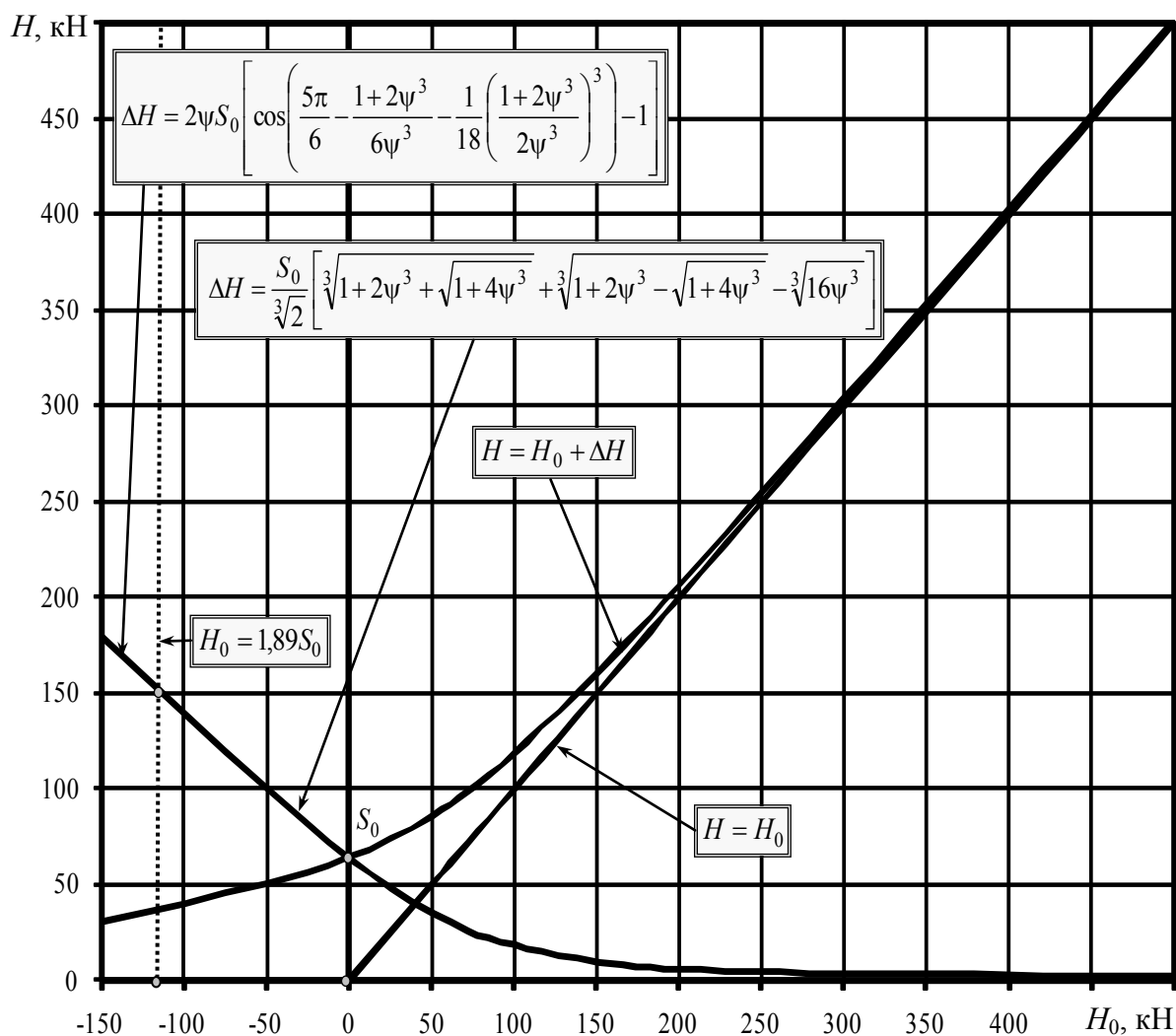


Рисунок 2. Характерная диаграмма изменения
продольных усилий в гибком элементе с учетом и
без учета собственного веса

Из рисунка видно, что даже при условно сжимающих нагрузках в гибких элементах остаются растягивающие усилия, вызванные натяжением от собственного веса. При увеличении H_0 дополнительное продольное усилие от собственного веса ΔH постепенно уменьшается, стремясь к нулю.

Зависимость $\Delta H = f(H_0)$ согласно (16) и (19) имеет выраженный нелинейный характер. Однако природа этой нелинейности отличается от традиционных геометрической и физической нелинейностей. Поэтому она

требует дополнительной адаптации в классические методы исследования стержневых систем в строительной механике.

Нетрудно убедиться в том, что учет дополнительных продольных усилий ΔH от собственного веса гибких элементов в расчетных схемах при кососимметричном загрузении, вызывающем условные сжимающие усилия в вантах, может значительно увеличить расчетные значения внутренних усилий не только в гибких, но и в стержневых элементах системы. Это может привести к перегрузке системы и негативно сказаться на ее несущей способности.

Выводы и направление дальнейших исследований

1) При малых деформациях в гибких элементах за счет дополнительного продольного усилия от собственного веса даже при условно сжимающих нагрузках всегда сохраняется растягивающие усилия.

2) Величина дополнительного продольного усилия ΔH от собственного веса является нелинейной функцией от суммарного продольного усилия H_0 от действия эксплуатационных нагрузок.

3) Дополнительное продольное усилие ΔH при малых значениях H_0 может оказывать значительное влияние на напряженное состояние не только в гибких, но и стержневых элементах вантовых систем и может привести к снижению их несущей способности.

4) Природа нелинейности дополнительного продольного усилия ΔH отлична от классических физической и геометрической нелинейностей и требует дополнительной адаптации в расчетных схемах вантовых систем.

Список литературы

1. Качурин В.К. Гибкие нити с малыми стрелками. М.: Гос. Изд. Технико-теоретической литературы, 1956. – 224 с.
2. Михайлов В.В. Предварительно напряженные комбинированные и вантовые конструкции. К.: Издательство АСВ, 2002. – 256с.
3. Перельмутер А.В. Основы расчета вантовых стержневых систем. М.: Стройиздат, 1969. – 193с.
4. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – 13-е изд., исправленное. - М.: Наука, Гл. ред. Физ.мат. лит., 1986. – 544 с.

УДК 627.13:519.711.3

Славінська О.С., д.т.н., доцент (НТУ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВІДКРИТИХ ЗАВИСЕНЕСНИХ ПОТОКАХ У ЗОНІ ВПЛИВУ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ

Постановка проблеми. У практиці експлуатації автомобільних доріг, залізниць порушення стійкості споруд мостового переходу обумовлені неминучим розвитком деформацій на руслових та заплавних ділянках, в результаті яких підмиваються основи опор мостів, руйнуються насипи підходів, регуляційні та захисні споруди. Теорія та методи прогнозування розмивів потребують суттєвого розвитку в зв'язку з ростом порушень стійкості споруд мостових переходів від повеней і паводків на Україні, особливо в останні роки.

Існуючі моделі процесу розмиву далеко не завжди відповідають сучасним вимогам проектування споруд мостового переходу. Деякі з них, покладені за основу методик для розрахунку розмивів, мають порівняно вузький діапазон зміни параметрів, що не дозволяє в достатньо необхідній мірі описати складний гідродинамічний процес, який відбувається в природних руслах.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [1-3] запропоновані методи розрахунку загальних деформацій підмостових русел гідромеханічного напрямку, що ґрунтуються на спільному рішенні рівнянь планової задачі й одномірного рівняння балансу наносів, які застосовується послідовно до виділених елементарних струмків плану течій руслової частини потоку. Хоча такий підхід є суттєвим кроком у розвиток і удосконалювання методів розрахунку загальних деформацій, однак він не враховує поперечного переносу наносів на швидкісну структуру потоку і, як наслідок, на розміри загальних деформацій русла, тому що не враховує істотних факторів, що впливають на ці процеси.

Авторами [2, 4] представлений ряд методів, пов'язаних із введенням у вихідні рівняння сукупність спрощених припущень і різних емпіричних співвідношень для обліку додаткових факторів (розширення русла, неоднорідність ґрунтів, їхньої шаруватості та ін.), а також з використанням різних способів рішення прийнятої системи рівнянь – аналітичних і чисельних. При цьому методи [2, 4] дозволяють уникнути ряд обмежень – таких, як нестационарність течії, рівномірність зміни відміток дна на розрахунковій

ділянці та ін. Дослідження транспорту наносів на ділянках річкових вигинів, ґрунтуючись на рівняннях швидкісного поля, поля мутності у комплексі з нестационарним рівнянням балансу наносів, наведено у роботі [2].

У роботі [5] представлені результати розрахунку за тривимірною математичною моделлю розподілу мутності у Східному каналі, у Нідерландах, у комплексі з двовимірним рівнянням балансу наносів. Обчислення показують достатню узгодженість швидкісного поля, концентрації наносів та конфігурації дна в період повені потоку. Визначення динамічних характеристик несного середовища, водного потоку, у роботах [1-5] проводиться як для однорідного, без врахування особливості його турбулентної структури, яка має анізотропні властивості, оскільки неоднорідність потоку суттєво ускладнює процеси дослідження. Існуючі схеми для заплавних ділянок або потоків з рослинністю дають можливість визначити тільки розподіл середньої швидкості в плані, над шаром рослин, з урахуванням коефіцієнта гідравлічної шорсткості заплави [6]. Таким чином, **мета роботи** полягає в дослідженні гідродинамічних процесів, що відбуваються в зависеному середовищі, ґрунтуючись на теорії неоднорідних потоків, яка дозволяє враховувати особливості розвитку деформацій в руслі та на заплавних ділянках в зоні впливу мостових переходів.

Отримані наукові результати. Відрив турбулентних утворень від дна та заміщення їх низхідними течіями із основної зони потоку утворюють обмін рідких мас, які в деформованому руслі обов'язково супроводжуються обміном твердої речовини. Під впливом основних турбулентних збурень дрібні зерна наносів втягуються в товщу потоку. Більш дрібні частки, з малою гідравлічною крупністю, зазвичай не досягають дна і домінують в основному русловому потоці. Спираючись на припущення про мализну часток та мализну прискорень потоку в порівнянні з прискоренням сили тяжіння [7], компоненти швидкостей часток W_i можна виразити через компоненти швидкостей рідини V_i : $W_i = V_i - W_z \delta_{i3}$. Представимо модельну форму рівнянь для основної товщі відкритого зависеного потоку в системі координат OX_1X_3

$$\frac{\partial \overline{\rho_{LS}}}{\partial t} + \frac{\partial \overline{\rho_{LS} V_1}}{\partial x_1} + \frac{\partial \overline{\rho_{LS} V_3}}{\partial x_3} - \frac{\partial}{\partial x_3} (\overline{\rho_s W_z}) = 0, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \overline{\rho_{LS}} \frac{\partial V_1}{\partial t} + \overline{\rho_{LS} V_1} \frac{\partial V_1}{\partial x_1} + \overline{\rho_{LS} V_3} \frac{\partial V_1}{\partial x_3} - \overline{\rho_s W_z} \frac{\partial V_1}{\partial x_3} = & - \frac{\partial \overline{\rho_{LS} V_1^2}}{\partial x_1} - \frac{\partial \overline{\rho_{LS} V_1 V_3}}{\partial x_3} - \frac{\partial \overline{\rho_{LS} \Pi}}{\partial x_1} + \\ & + g \frac{\partial \overline{\rho_{LS} h}}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_1} [\overline{\rho_{LS}} (\tilde{k}_L - \tilde{V}_3 \tilde{W}_z A + \tilde{W}_z^2 A^*)] + \frac{\partial}{\partial x_1} [\overline{\rho_{LS}} (\tilde{k}_{tL} + W_z^2 B^*)], \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \overline{\rho_{LS}} \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial t} + \overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_1 \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_1} + \overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_3 \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_3} - \overline{\rho_S} \tilde{W}_z \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_3} = & - \frac{\partial \overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_3 \tilde{V}_1''}{\partial x_1} - \frac{\partial \overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_3 \tilde{V}_3''}{\partial x_3} - \frac{\partial \overline{\rho_{LS}} \tilde{H}}{\partial x_3} + \\ & + gh \frac{\partial \overline{\rho_{LS}}}{\partial x_3} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left[\overline{\rho_{LS}} (\tilde{k}_L - \tilde{V}_3 \tilde{W}_z A + \tilde{W}_z^2 A^*) \right] + \frac{\partial}{\partial x_3} \left[\overline{\rho_{LS}} (\tilde{k}_{tL} + W_z^2 B^*) \right] - \overline{\rho_{LS}} g, \end{aligned} \quad (3)$$

де t – час,

x_1, x_3 – координати, відповідно у поздовжньому та вертикальному напрямках;

\tilde{V}_1, \tilde{V}_3 – усереднені складові швидкостей несного середовища, м/с;

\tilde{W}_z – гідравлічна крупність часток наносів, м/с;

h – глибина потоку, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

$$\tilde{k}_{tSL} = \frac{\overline{V_1'^2} + \overline{V_3'^2}}{2}, \quad \tilde{k}_{SL} = \frac{\tilde{V}_1^2 + \tilde{V}_3^2}{2}, \quad A = \frac{\overline{\rho_S}}{\overline{\rho_{LS}}}, \quad A^* = \frac{\overline{\rho_S}^2}{2\overline{\rho_{LS}}^2}, \quad B^* = \frac{\overline{\rho_S}^2}{2\overline{\rho_{LS}}^2},$$

$\overline{\rho_{LS}}$ – загальна густина неоднорідного потоку,

$\overline{\rho_{LS}} = \overline{\rho_L} + \overline{\rho_S}$; $\overline{\rho_S} = \rho_S^o \bar{S}$ – густина зависі, визначається на основі мутності потоку \bar{S} ;

ρ_S^o – густина твердої частки, кг/м³;

$\overline{\rho_L} = \rho_L^o (1 - \bar{S})$ – густина несного середовища;

ρ_L^o – густина води, кг/м³;

$\overline{\rho_S}^2 = \rho_S^{o2} \bar{S}'^2$; \bar{S}'^2 – турбулентна пульсація мутності;

$\overline{V_1 V_1''}, \overline{V_3 V_3''}, \overline{V_1'^2}, \overline{V_3'^2}$ – турбулентні напруги несного середовища, дотичні та нормальні, м²/с².

Для узгодження швидкісного поля з розподілом гідродинамічного тиску в рівняннях переносу (2-3) введено змінну Бернуллі [8]

$$H = \frac{\left(V_j - \frac{\rho_S}{\rho_{LS}} W_z \delta_{j3} \right)^2}{2} + \frac{p}{\rho_{LS}} + gh, \text{ де } p \text{ – гідродинамічний тиск.}$$

Змінна Бернуллі \tilde{H} визначається, як і тиск p , шляхом розв'язування рівняння Пуассона. Якщо виконати диференціювання, наприклад, кожного з рівнянь (2), (3) відповідно по $\partial/\partial x_i$, а потім скласти отриману систему в одне рівняння і спростити, враховуючи (1), то можна вивести рівняння для змінної Бернуллі [9]

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \overline{\rho_{LS}} \tilde{H}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \overline{\rho_{LS}} \tilde{H}}{\partial x_3^2} = g \frac{\partial^2 \overline{\rho_{LS}} h}{\partial x_1^2} + gh \frac{\partial^2 \overline{\rho_{LS}}}{\partial x_3^2} - \frac{\partial \overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_1}{\partial x_1} \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_1} - \frac{\partial \overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_1}{\partial x_3} \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_1} - \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_3} \frac{\partial}{\partial x_1} [\overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_3 - \overline{\rho_S} \tilde{W}_z] - \overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_1 \frac{\partial D}{\partial x_1} - \\ - \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_3} \frac{\partial}{\partial x_3} [\overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_3 - \overline{\rho_S} \tilde{W}_z] - [\overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_3 - \overline{\rho_S} \tilde{W}_z] \frac{\partial D}{\partial x_3} + \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} [\overline{\rho_{LS}} (\tilde{k}_L - \tilde{V}_3 \tilde{W}_z A + \tilde{W}_z^2 A^*)] - \frac{\partial^2 \overline{\rho_{LS}} V_1^{\#}}{\partial x_1^2} - 2 \frac{\partial^2 \overline{\rho_{LS}} V_1 V_3^{\#}}{\partial x_1 \partial x_3} - \\ - \frac{\partial^2 \overline{\rho_{LS}} V_3^{\#}}{\partial x_3^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} [\overline{\rho_{LS}} (\tilde{k}_L - \tilde{V}_3 \tilde{W}_z A + \tilde{W}_z^2 A^*)] + \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} [\overline{\rho_{LS}} (\tilde{k}_{tL} + \tilde{W}_z^2 B^*)] + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} [\overline{\rho_{LS}} (\tilde{k}_{tL} + \tilde{W}_z^2 B^*)] - g \frac{\partial \overline{\rho_{LS}}}{\partial x_3}, \end{aligned} \quad (4)$$

де $D = \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_3}$.

Це надає наступні переваги: пряму залежність між тиском p і швидкістю V_i , наявність глибини потоку h в рівнянні переносу, можливість проводити розв'язування дискретного аналогу рівняння (4) для течій біля ізольованих тіл з віддаленою границею, яка розміщується набагато ближче до тіла ніж при рішенні рівняння для тиску, для безнапірних потоків це зони біля осередків та островів [8].

В якості замикаючих рівнянь переносу пульсаційних характеристик неоднорідного руслового потоку представимо в системі координат OX_1X_3

- рівняння переносу кінетичної енергії неоднорідного потоку $\overline{\rho_{LS} k_{tSL}}$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\overline{\rho_{LS} k_{tL}}) + \frac{\partial}{\partial x_1} (\tilde{V}_1 \overline{\rho_{LS} k_{tL}}) + \frac{\partial}{\partial x_3} (\tilde{V}_3 \overline{\rho_{LS} k_{tL}}) - \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{\overline{\rho_S}}{\overline{\rho_{LS}}} W_z \overline{\rho_{LS} k_{tL}} \right) = \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\overline{\mu_{SL}} \frac{\partial k_{tL}}{\partial x_1} + \frac{v_{SLt}}{\sigma_K} \frac{\partial \overline{\rho_{SL} k_{tL}}}{\partial x_1} \right] - \\ - \frac{\partial}{\partial x_3} \left[\overline{\mu_{SL}} \frac{\partial k_{tL}}{\partial x_3} + \frac{v_{SLt}}{\sigma_K} \frac{\partial \overline{\rho_{SL} k_{tL}}}{\partial x_3} \right] - \overline{\rho_{SL}} \varepsilon_{tL} - (\overline{\rho_{LS}} V_1^{\#}) \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_1} - (\overline{\rho_{LS}} V_1 V_3^{\#}) \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_1} - (\overline{\rho_{LS}} V_3 V_1^{\#}) \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_3} - (\overline{\rho_{LS}} V_3^{\#}) \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_3}, \end{aligned} \quad (5)$$

- рівняння переносу швидкості дисипації кінетичної енергії ε_{tSL}

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon_{tSL}}{\partial t} + \tilde{V}_1 \frac{\partial \varepsilon_{tSL}}{\partial x_1} + \tilde{V}_3 \frac{\partial \varepsilon_{tSL}}{\partial x_3} - \left(\overline{\rho_S} + \frac{\overline{\rho'_S \rho'_{SL}}}{\overline{\rho_{SL}}} \right) \frac{W_z}{\overline{\rho_{SL}}} \frac{\partial \varepsilon_{tSL}}{\partial x_3} = \left(- \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_1} V_1^{\#2} - \left[\frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_1} - \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\left(\overline{\rho_S} + \frac{\overline{\rho'_S \rho'_{SL}}}{\overline{\rho_{SL}}} \right) \frac{W_z}{\overline{\rho_{SL}}} \right) \right] V_3^{\#2} - \right. \\ \left. - \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_3} V_1^{\#2} - \left[\frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_3} - \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\left(\overline{\rho_S} + \frac{\overline{\rho'_S \rho'_{SL}}}{\overline{\rho_{SL}}} \right) \frac{W_z}{\overline{\rho_{SL}}} \right) \right] V_3^{\#2} \right) C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon_{tSL}}{k_{tSL}} + \frac{1}{3} \frac{\partial}{\partial x_1} \left[v_{LS} \frac{\partial \varepsilon_{tL}}{\partial x_1} \right] + \frac{1}{3} \frac{\partial}{\partial x_3} \left[v_{LS} \frac{\partial \varepsilon_{tL}}{\partial x_3} \right] + \\ + C_{\varepsilon 4} \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\frac{k_{tSL}}{\varepsilon_{tSL}} \left(\overline{V_1^{\#2}} \frac{\partial \varepsilon_{tSL}}{\partial x_1} + \overline{V_1 V_3^{\#}} \frac{\partial \varepsilon_{tSL}}{\partial x_3} \right) \right] + C_{\varepsilon 4} \frac{\partial}{\partial x_3} \left[\frac{k_{tSL}}{\varepsilon_{tL}} \left(\overline{V_3^{\#2}} \frac{\partial \varepsilon_{tSL}}{\partial x_3} + \overline{V_3 V_1^{\#}} \frac{\partial \varepsilon_{tSL}}{\partial x_1} \right) \right] + \\ + \left(C_{\varepsilon 2} + C_{\varepsilon 3} \left(\left(\frac{\overline{V_1^{\#2}}}{k_{tSL}} - \frac{2}{3} \right)^2 + 2 \frac{\overline{V_3 V_1^{\#}} \overline{V_1 V_3^{\#}}}{k_{tSL} k_{tSL}} + \left(\frac{\overline{V_3^{\#2}}}{k_{tSL}} - \frac{2}{3} \right)^2 \right) \right) \frac{\varepsilon_{tL}^2}{k_{tL}}, \end{aligned} \quad (6)$$

- рівняння переносу інтенсивності турбулентних пульсацій мутності

$$\begin{aligned} \frac{\partial \overline{S'^2}}{\partial t} \frac{1}{2} + \tilde{V}_1 \frac{\partial \overline{S'^2}}{\partial x_1} \frac{1}{2} + \tilde{V}_3 \frac{\partial \overline{S'^2}}{\partial x_3} \frac{1}{2} + C'_{s1} \frac{k_{tSL}}{\varepsilon_{tSL}} \left(\left(\overline{V_1'^2} + \overline{V_3'V_1''} \right) \frac{\partial \overline{S'^2}}{\partial x_1} \frac{1}{2} + \left(\overline{V_1V_3''} + \overline{V_3'^2} \right) \frac{\partial \overline{S'^2}}{\partial x_3} \frac{1}{2} \right) - \\ - \frac{\rho_s^o}{\rho_s^o - \rho_L^o} \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\tilde{W}_z \frac{\overline{S'^2}}{2} \right) = 0, \end{aligned} \quad (7)$$

де $\overline{\rho'_s \rho'_{sL}} = \overline{S'^2} (\rho_s^{o2} - \rho_s^o \rho_L^o)$, $\sigma_K, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, C_{\varepsilon 3}, C_{\varepsilon 4}, C'_{s1}$ – константи [10]; μ_{SL}, ν_{SL} – динамічна та кінематична в'язкість у неоднорідному потоці, $\mu_{SL} = \mu_L (1 + 1,5\overline{S}) / (1 - \overline{S})^2$ [11]; ν_{SLt} – коефіцієнт турбулентної в'язкості, для області основної товщі потоку з $Re \rightarrow \infty$ $\nu_{SLt} = C_\mu k_{SL}^2 / \varepsilon_{SL}$.

Вирази для турбулентних напружень також отримані на основі припущення про пропорційність їх переносу та енергії турбулентних пульсацій k_{tSL} , що мають місце в основній товщі руслових потоків [9, 10]. Представимо проекції алгебраїчних співвідношень для турбулентних напруг в системі координат OX_1X_3

- нормальні напруги

$$\frac{\overline{V_1'^2}}{k_{tSL}} = \frac{2}{3} + \frac{(1 - C'_{R2}) \left(P_{11} / \varepsilon_{tSL} - \frac{2}{3} P / \varepsilon_{tSL} \right)}{C_{R1} + P / \varepsilon_{tSL} - 1 + f_s}, \quad (8)$$

$$\frac{\overline{V_3'^2}}{k_{tSL}} = \frac{2}{3} + \frac{(1 - C'_{R2}) \left(P_{33} / \varepsilon_{tSL} - \frac{2}{3} P / \varepsilon_{tSL} \right)}{C_{R1} + P / \varepsilon_{tSL} - 1 + f_s}, \quad (9)$$

- дотичні напруги

$$\frac{\overline{V_1V_3''}}{k_{tSL}} = \frac{\overline{V_3V_1''}}{k_{tSL}} = \frac{(1 - C'_{R2}) P_{13} / \varepsilon_{tSL}}{C_{R1} + P / \varepsilon_{tSL} - 1 + f_s}, \quad (10)$$

де $P = -\overline{V_1'^2} \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_1} - \overline{V_1V_3''} \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_1} - \overline{V_3V_1''} \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_3} - \overline{V_3'^2} \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_3}$ – член генерації турбулентної енергії;
 $P_{11} = -2 \left(\overline{V_1'^2} \right) \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_1} - \left(\overline{V_1V_3''} + \overline{V_3V_1''} \right) \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_3}, \quad P_{33} = -2 \left(\overline{V_3'^2} \right) \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_3} - \left(\overline{V_1V_3''} + \overline{V_3V_1''} \right) \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_1},$
 $P_{13} = P_{31} = -\overline{V_1'^2} \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_1} - \overline{V_3'^2} \frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_3} - \overline{V_1V_3''} \left(\frac{\partial \tilde{V}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \tilde{V}_3}{\partial x_3} \right),$ C_{R1}, C'_{R2} – константа, f_s – функція зміни числа Рейнольдса [10].

При проектуванні споруд мостових переходів та відповідному територіальному перерозподілі водних ресурсів виникає проблема у регулюванні стоку, прогнозуванні перевідкладень наносів і пропускної здатності не тільки в руслі, а й на заплавних ділянках. Трав'янистий покрив добре захищає заплаву від розмиву, підвищує нерозмивні швидкості. Переважна маса донних наносів на поверхні заплав виявляється похованою під товщею намулку, дрібних фракцій, які були занесені на заплаву у паводок в зваженому стані. Цей намулок слід розглядати, як одну з форм акумуляції зважених наносів, які з часом знов прийдуть у рух в результаті підмиву заплавного уступу при планових переміщеннях русла. На період повені або паводку при глибині заплавного потоку, більшій за висоту рослинного покриву, в зоні над рослинами, в якості модельних рівнянь для основної товщі потоку можна використовувати рівняння (2–3). Якщо рослинність має певну висоту і проникає в товщу заплавного потоку, то до правої частини модельних рівнянь переносу (2-3) необхідно додати проекції сили опору рослинності, відповідно $-\tilde{F}_{P1}$, та $-\tilde{F}_{P3}$. Для усереднених складових сили опору отримані залежності, які ґрунтуються на підході з визначення розподіленої сили, що діє в шарі рослин, в системі координат OX_1X_3

$$\tilde{F}_{P1} = \frac{1}{2} \rho_{SL} C_X s_p \left(\bar{U} \bar{V}_1 + \bar{V}_1 \bar{V}_1^* \bar{U}^{-1} + \left(\bar{V}_3 - \frac{\rho_s}{\rho_{LS}} \bar{W}_z \right) \bar{V}_3 \bar{V}_1 \bar{U}^{-1} \right), \quad (11)$$

$$\tilde{F}_{P3} = \frac{1}{2} \rho_{SL} C_X s_p \left(\bar{U} \left(\bar{V}_3 - \frac{\rho_s}{\rho_{LS}} \bar{W}_z \right) + \bar{V}_1 \bar{V}_1^* \bar{V}_3 \bar{U}^{-1} + \left(\bar{V}_3 - \frac{\rho_s}{\rho_{LS}} \bar{W}_z \right) \bar{V}_3^* \bar{U}^{-1} \right), \quad (12)$$

де C_X – коефіцієнт опору рослинності, який визначається за експериментальними дослідженнями, згідно [12]; $s_p = \frac{D_{cm} \Delta z_{cm.}}{\Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3}$ – загальна міделева площа рослинності, яка розподілена в певному об'ємі потоку; $D_{cm.}$ – діаметр обтікаємого стебла рослини, м; $\Delta z_{cm.}$ – обтікаєма частина стебла рослини за висотою, м; $\bar{U} = \sqrt{\bar{V}_1^2 + \left(\bar{V}_3 - \frac{\rho_s}{\rho_{LS}} \bar{W}_z \right)^2}$ – повна швидкість потоку, .

Для змінної Бернуллі на заплавній ділянці можна використати рівняння (4), при цьому до правої частини необхідно додати складову, що враховує наявність рослинності

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{F}_{P1}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tilde{F}_{P3}}{\partial x_3} = \frac{1}{2} C_X S \left[\frac{\partial}{\partial x_1} (\overline{\rho_{SL}} \tilde{U} \tilde{V}_1) + \frac{\partial}{\partial x_1} \frac{\overline{\rho_{SL}} \tilde{V}_1 \tilde{V}_1''}{\tilde{U}} + \frac{\partial}{\partial x_1} \frac{\overline{\rho_{SL}} \tilde{V}_3 \tilde{V}_3''}{\tilde{U}} - \frac{\partial}{\partial x_1} \frac{\overline{\rho_S} \tilde{W}_z \tilde{V}_3''}{\tilde{U}} + \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial x_3} (\overline{\rho_{SL}} \tilde{U} \tilde{V}_3) - \frac{\partial}{\partial x_3} (\overline{\rho_S} \tilde{U} \tilde{W}_z) + \frac{\partial}{\partial x_3} \frac{\overline{\rho_{SL}} \tilde{V}_1 \tilde{V}_3''}{\tilde{U}} + \frac{\partial}{\partial x_3} \frac{\overline{\rho_{SL}} \tilde{V}_3 \tilde{V}_3''}{\tilde{U}} - \frac{\partial}{\partial x_3} \frac{\overline{\rho_S} \tilde{W}_z \tilde{V}_3''}{\tilde{U}} \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Замикаючі модельні рівняння переносу (5) – (6) в зоні впливу рослин повинні містити в собі додаткові дисипативні члени, обумовлені силою опору рослинності, у к- рівнянні ці члени визначається за залежністю

$$\overline{V_1'' F_{P1}} + \overline{V_3'' F_{P3}} = \frac{1}{2} \frac{\rho_{SL} C_X S}{\tilde{U}} \left[\tilde{U}^2 \frac{2 \tilde{K}_{SLt}}{\rho_{SL}} + \tilde{V}_1^2 \tilde{V}_1'' + \left(\tilde{V}_3 - \frac{\rho_S}{\rho_{LS}} \tilde{W}_z \right)^2 \tilde{V}_3'' + \tilde{V}_1 \left(\tilde{V}_3 - \frac{\rho_S}{\rho_{LS}} \tilde{W}_z \right) (\overline{V_3'' V_1''} + \overline{V_1'' V_3''}) \right], \quad (14)$$

у ε- рівнянні – за залежністю

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{F}_{P1}}{\partial x_1} \frac{\partial \tilde{V}_1''}{\partial x_1} + \frac{\partial \tilde{F}_{P1}}{\partial x_3} \frac{\partial \tilde{V}_1''}{\partial x_3} + \frac{\partial \tilde{F}_{P3}}{\partial x_1} \frac{\partial \tilde{V}_3''}{\partial x_1} + \frac{\partial \tilde{F}_{P3}}{\partial x_3} \frac{\partial \tilde{V}_3''}{\partial x_3} = \frac{1}{2} C_X S \left\{ \frac{1}{2} \frac{\partial \tilde{V}_1^2}{\partial x_1} \left(\frac{\partial \tilde{U}}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_1} \frac{\tilde{V}_1^2}{\tilde{U}} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \frac{\partial \tilde{V}_3^2}{\partial x_3} \left(\frac{\partial \tilde{U}}{\partial x_3} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left[\frac{1}{\tilde{U}} \left(\tilde{V}_3 - \frac{\rho_S}{\rho_{LS}} \tilde{W}_z \right)^2 \right] \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \tilde{U}}{\partial x_3} \frac{\partial \tilde{V}_1''}{\partial x_3} + \frac{\partial \tilde{U}}{\partial x_1} \frac{\partial \tilde{V}_3''}{\partial x_1} \right) + \frac{\tilde{U} \varepsilon_{SLt}}{v_{SL}} + \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial x_3} \left[\frac{\tilde{V}_1}{\tilde{U}} \left(\tilde{V}_3 - \frac{\rho_S}{\rho_{LS}} \tilde{W}_z \right) \right] \frac{\partial \tilde{V}_1''}{\partial x_3} + \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\frac{\tilde{V}_1}{\tilde{U}} \left(\tilde{V}_3 - \frac{\rho_S}{\rho_{LS}} \tilde{W}_z \right) \right] \frac{\partial \tilde{V}_3''}{\partial x_1} + \left(\tilde{V}_1^2 \left[1 - f_s + \frac{3}{2} \frac{\tilde{V}_1^2}{k_{SLt}} f_s \right] + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{3}{2} \frac{\tilde{V}_1}{k_{SLt}} \left(\tilde{V}_3 - \frac{\rho_S}{\rho_{LS}} \tilde{W}_z \right) f_s (\overline{V_3'' V_1''} + \overline{V_1'' V_3''}) + \left(\tilde{V}_3 - \frac{\rho_S}{\rho_{LS}} \tilde{W}_z \right)^2 \left[1 - f_s + \frac{3}{2} \frac{\tilde{V}_3^2}{k_{SLt}} f_s \right] \right) \frac{\tilde{\varepsilon}_{SLt}}{3 v_{SL} \tilde{U}} \right\}. \end{aligned} \quad (15)$$

Алгебраїчні співвідношення для турбулентних напруг (8-10) з урахуванням додаткових дисипативних членів приймають вид

$$\frac{\overline{V_1''}}{k_{tSL}} = \frac{2}{3} + \frac{(1 - C'_{R2}) \left(P_{11} / \varepsilon_{tSL} - \frac{2}{3} P / \varepsilon_{tSL} \right) - \frac{\varepsilon_{P11}^*}{\varepsilon_{tSL}}}{C_{R1} + P / \varepsilon_{tSL} - 1 - \varepsilon_{P11} / \varepsilon_{tSL} + f_s}, \quad (16)$$

$$\frac{\overline{V_3''}}{k_{tSL}} = \frac{2}{3} + \frac{(1 - C'_{R2}) \left(P_{33} / \varepsilon_{tSL} - \frac{2}{3} P / \varepsilon_{tSL} \right) - \frac{\varepsilon_{P33}^*}{\varepsilon_{tSL}}}{C_{R1} + P / \varepsilon_{tSL} - 1 - \varepsilon_{P33} / \varepsilon_{tSL} + f_s}, \quad (17)$$

$$\frac{\overline{V_1 V_3''}}{k_{tSL}} = \frac{(1 - C'_{R2}) P_{13} / \varepsilon_{tSL} - \varepsilon_{Pt13}^* / \varepsilon_{tSL}}{C_{R1} + P / \varepsilon_{tSL} - 1 - \varepsilon_{Pt13} / \varepsilon_{tSL} + f_s}, \quad (18)$$

$$\frac{\overline{V_3 V_1''}}{k_{tSL}} = \frac{(1 - C'_{R2}) P_{31} / \varepsilon_{tSL} - \varepsilon_{Pt31}^* / \varepsilon_{tSL}}{C_{R1} + P / \varepsilon_{tSL} - 1 - \varepsilon_{Pt31} / \varepsilon_{tSL} + f_s}, \quad (19)$$

де $\varepsilon_{Pt11}^* = 2\overline{V_1 f_{P1}''}$, $\varepsilon_{Pt33}^* = 2\overline{V_3 f_{P3}''}$, $\varepsilon_{P13}^* = (\overline{V_1 f_{P3}''} + \overline{V_3 f_{P1}''})$, $\varepsilon_{Pt31}^* = (\overline{V_3 f_{P1}''} + \overline{V_1 f_{P3}''})$,

$$\overline{V_1 f_{P1}''} = \frac{1}{2} \frac{C_X S_p}{\bar{U}} \left[\bar{U}^2 \overline{V_1^{\#}} + \bar{V}_1^2 \overline{V_1^{\#}} + \bar{V}_1 \left(\bar{V}_3 - \frac{\bar{\rho}_S}{\bar{\rho}_{LS}} W_z \right) \overline{V_1 V_3''} \right], \quad (20)$$

$$\overline{V_3 f_{P3}''} = \frac{1}{2} \frac{C_X S_p}{\bar{U}} \left[\bar{U}^2 \overline{V_3^{\#}} + \bar{V}_3^2 \overline{V_3^{\#}} + \bar{V}_3 \left(\bar{V}_1 - \frac{\bar{\rho}_S}{\bar{\rho}_{LS}} W_z \right) \overline{V_3 V_1''} + \left(\bar{V}_3 - \frac{\bar{\rho}_S}{\bar{\rho}_{LS}} W_z \right)^2 \overline{V_3^{\#}} \right], \quad (21)$$

$$\overline{V_3 f_{P1}''} = \frac{1}{2} \frac{C_X S_p}{\bar{U}} \left[(\bar{U}^2 + \bar{V}_1^2) \overline{V_3 V_1''} + \left(\bar{V}_3 - \frac{\bar{\rho}_S}{\bar{\rho}_{LS}} W_z \right) \bar{V}_1 \overline{V_3^{\#}} \right], \quad (22)$$

$$\overline{V_1 f_{P3}''} = \frac{1}{2} \frac{C_X S_p}{\bar{U}} \left[\bar{V}_1 \left(\bar{V}_3 - \frac{\bar{\rho}_S}{\bar{\rho}_{LS}} W_z \right) \overline{V_1^{\#}} + \left(\bar{U}^2 + \left(\bar{V}_3 - \frac{\bar{\rho}_S}{\bar{\rho}_{LS}} W_z \right)^2 \right) \overline{V_1 V_3''} \right]. \quad (23)$$

Для розглянутих у даній роботі процесів розвитку загальних деформацій в зоні впливу мостових переходів, що представлені у виді систем рівнянь параболо-гіперболічного й еліптичного типу розроблено методи реалізації запропонованих математичних моделей, представлених у декартових координатах. Дискретний аналог і алгоритм рішення нестационарних рівнянь моделей зависеного руслового та заплавного потоків (1-3), $k-\varepsilon$ моделі турбулентності (5-7), побудовано на кінцево-різницевому методі предиктор-коректор за явною схемою Мак-Кормака [8, 9].

Рішення стаціонарних рівнянь аналогічно одержанню асимптотично стаціонарного рішення нестационарної задачі. Тому чисельна реалізація співвідношень (8-10), (16-19) та рівняння еліптичного типу (4) проводиться за явним ітераційним методом Гаусса - Зейделя. Для прискорення збіжності будь-якого ітераційного процесу використовується метод послідовної верхньої релаксації (п.в.р.) [8].

Як відомо, розмиви на двох характерних частинах отвору моста, в руслі і на заплаві, відбуваються з різних причин. На рівнинних річках, що несуть значну кількість наносів, глибини у руслі після розмиву

визначаються по рівнянню балансу приносу – виносу наносів, а на заплавній ділянці отвору моста за нерозмивною швидкості для ґрунтів, що складають цю ділянку. В якості граничної умови, що встановлює зв'язок між змінами русла і транспортуванням наносів прийняте двовимірне рівняння балансу наносів, яке може бути записане у виді

$$\frac{\partial z_0}{\partial t} + \frac{1}{1-\varepsilon} \frac{\partial q_{S1}}{\partial x_1} + \frac{1}{1-\varepsilon} \frac{\partial q_{S2}}{\partial x_2} = 0, \quad (24)$$

де z_0 – відмітки поверхні дна річкового русла; q_{Si} – питома витрата руслових наносів; ε – коефіцієнт пористості донних відкладень; x_1, x_2 – поздовжня та поперечні координати. Розв'язування представленого рівняння (24) за явною схемою Мак-Кормака запропоновано в роботах [4, 9]. Глибина розмиву заплавної ділянки $h_{зан.п.}$ визначається на основі співвідношення дійсної та нерозмивної швидкостей

$$h_{зан.п.} = \frac{h_{зан.} \beta_{\Pi} \langle U_{SL} \rangle_{i,j}}{(1-\lambda) U_{нерозм}}, \quad (25)$$

де $\langle U_{SL} \rangle_{i,j}$ – середні за глибиною (на вертикалі) значення швидкості потоку,

$$\langle U_{SL} \rangle_{i,j} = \frac{1}{h_{зан.} z_0} \int_{z_0}^H \tilde{U} dx_3; \quad h_{зан.} - \text{глибина заплави}; \quad \beta_{\Pi} - \text{ступінь стиснення}$$

заплавного потоку; λ – відносна ширина опори, $\lambda = B_{pier}/l_{np}$, B_{pier} – ширина опори; l_{np} – довжина прольоту мосту, $U_{нерозм}$ – нерозмивна швидкість, м [4].

В якості межових умов на поверхні потоку запропоновано рівняння для відмітки поверхні $H_{\Pi B}$, яке отримано шляхом інтегрування складових рівняння збереження маси (1) по вертикалі від відмітки дна до відмітки поверхні (в ламаних дужках – середні за глибиною значення змінних характеристик потоку)

$$\frac{\partial H_{\Pi B}}{\partial t} + \frac{h}{\langle \rho_{LS} \rangle} \frac{\partial \langle \overline{\rho_{LS}} \rangle}{\partial t} + \frac{h}{\langle \rho_{LS} \rangle} \frac{\partial \langle \overline{\rho_{LS}} \tilde{V}_1 \rangle}{\partial x_1} + \langle \tilde{V}_1 \rangle_i \frac{\partial h}{\partial x_1} - \frac{(\overline{\rho_S W_z})_{i,H_{\Pi B}}}{\langle \rho_{LS} \rangle} = 0, \quad (26)$$

де величина добутку $(\overline{\rho_S W_z})_{i,H_{\Pi B}}$ визначаються на поверхні потоку.

На основі представлених у статті математичних моделей для основної товщі зависеного річного потоку в комплексі з математичними моделями для придонної області, які наведені у роботах [13, 14], та методів

їх реалізації було розроблено програмний комплекс “Virtual model river 2”. Програмний комплекс складається з семи блоків: розрахунок початкових та межових умов, реалізація дискретних аналогів рівнянь переносу в основній товщі зависеного потоку, як в руслі так і на заплавних ділянках, в придонній області в руслі, на заплаві, розрахунок форми вільної поверхні, загальних деформацій або загальних та місцевих деформацій в руслі та на заплаві.

За відомим ходом повені та закономірністю руслової витрати при певному горизонті води (графіки представлено у роботі [15]) було проведено розрахунок загального розмиву підмостового русла на р. Гірський Тікич за відповідно розробленої програмою “Virtual model river 2”. Найвищий рівень весняної виключно високої повені 0,5-2,5 м, спостерігається в другій декаді березня, через 2-3 тижні після його початку. Для розрахунку загального розмиву, що обумовлений зсувом руслових форм, була побудована модель ділянки річки в зоні впливу мостового переходу за відмітками на морфорстворах. Сходинки вихідного гідрографу паводку замінюються графіком зі сходинками, які відповідають розрахунковому кроку Δt програми, що дозволяє проводити розрахунок в умовах, близьких до реальних.

Ширина русла річки передбачається змінною, оскільки за рахунок процесу глибинної ерозії та утворенню осередків може виникати розширення русла. На рисунку 1 представлено результати розрахунку загального розмиву на чотирьох сходинках паводку, 615-а сходинка паводку розраховувалась за 1% - ю витратою.

Згідно представленим результатам розрахунку загальних деформацій підмостового русла р. Гірський Тікич, як і у більшій кількості випадків у зонах впливу реальних мостових переходів, розмив русла зупиняється лише на спаді повені (рисунок 1 г), оскільки транспортує здатність потоку знижується по мірі збільшення розмивних вирв перед та під мостовим переходом. Найглибша відмітка ями розмиву в руслі складає 178 м, осередку – 190 м. Заплави під мостом заросли очеретом та травою і паводковий потік майже не руйнує дерновий покрив. Відповідно руслові зміни на мостовому переході пов'язані з утрудненням водотоку підходами до мосту і тому виражаються, перш за все, в зростанні глибин в руслі.

В період повеней і паводків мостові переходи порушують природні форми річкового русла, суттєво звужують ширину розливу, утворюють своїми кутастими контурами додаткове вихроутворення, відповідні втрати енергії і таке поле швидкостей, при якому транспорт наносів розподіляється нерівномірно, утворюються ями розмиву, намиви. Це пояснюється тим, що впливи повеневого потоку на русло та русла на потік різняться один від одного величиною проміжку часу, який потрібно для

його реалізації. Виникає необхідність в дослідженні локальних характеристик та деталей структури потоку – розподілу швидкостей по перетину, пульсаційних рухів турбулентності з врахуванням її складного анізотропного характеру.

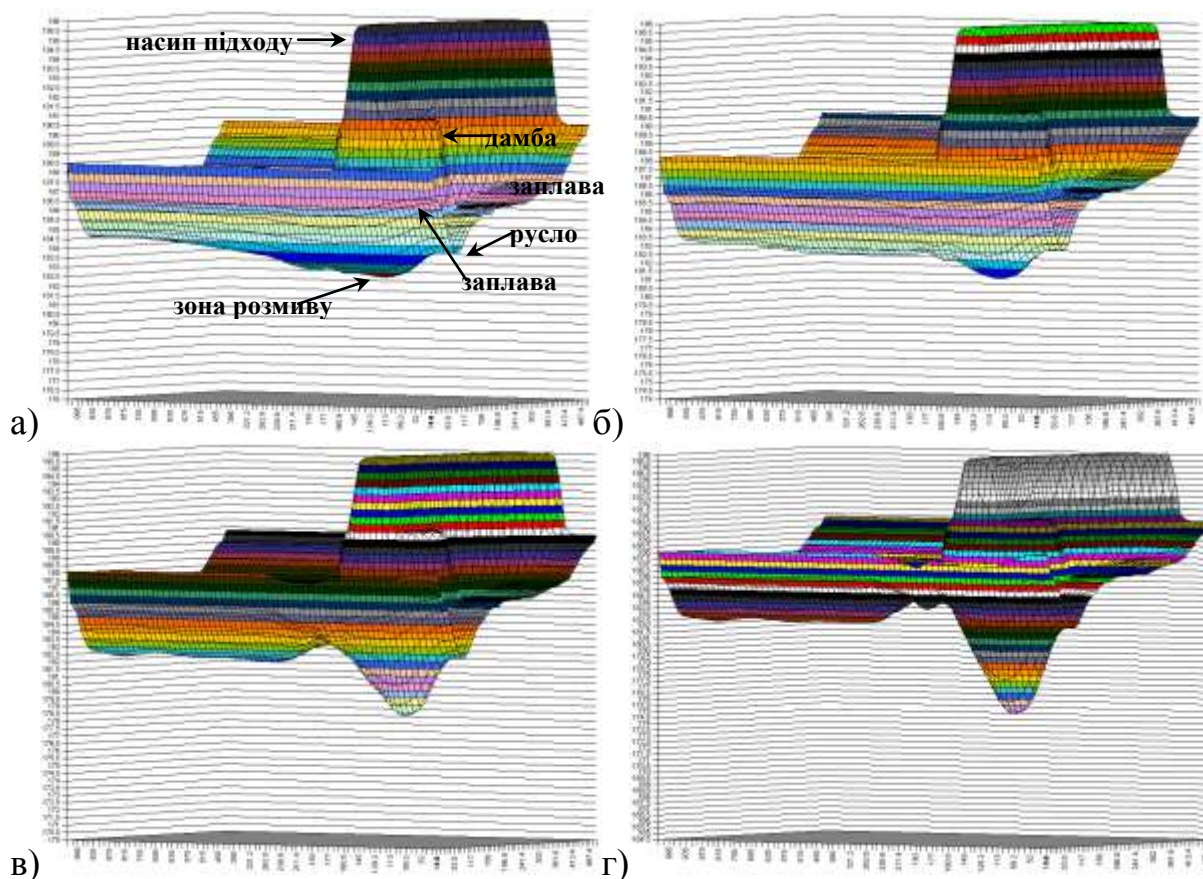


Рисунок 1 – Розрахунок загального розмиву підмостового русла р. Гірський Тікич: а) з витратою $Q=223,28 \text{ м}^3/\text{с}$ після 185-ї сходинки гідрографа повені; б) з витратою $Q=406,6 \text{ м}^3/\text{с}$ після другої (370-ї) сходинки гідрографа повені; в) з витратою $Q=578 \text{ м}^3/\text{с}$ після 615-ї сходинки гідрографа повені; г) з витратою $Q=223,28 \text{ м}^3/\text{с}$ після п'ятої (1225-ї) сходинки гідрографа повені.

На рисунку 2 представлено розподіл у основній товщі потоку поздовжньої швидкості \tilde{V}_1 в створі мостового переходу. Значення \tilde{V}_1 отримані шляхом реалізації дискретних аналогів рівнянь (1-3). Наявність мостового переходу у річковому потоці обумовлює досить складну швидкісну структуру. Відбувається перерозподіл течії, як у руслі, так і на заплаві. У зоні розвитку розмивної вирви максимальні значення поздовжньої складової швидкості \tilde{V}_1 (рисунок 2, г - е) знаходяться у межах

русового потоку. Максимальні значення швидкості \tilde{V}_1 по вертикалі мають місце як на поверхні потоку, так і на 1/3 глибини в основній товщі (рисунк 2 а-є). У зоні впливу струмененапрямної дамби, на заплаві максимум швидкості чітко зосереджений під поверхнею потоку (рисунк 2 ж-з). Такий складний розподіл поздовжньої швидкості \tilde{V}_1 пояснюється наявністю вторинних течій поперечної циркуляції, природа яких обумовлена анізотропним характером турбулентного річкового потоку в зонах штучного стиснення, аналіз цього явища розглядається в роботах [4,9]. Це пояснюється і наявністю шару рослинності (рисунк 2 а-в), зміною шорсткості при переході руслового потоку на заплаву та навпаки, і впливом криволінійної конфігурації струмененапрямної дамби на заплаві (рисунк 2 ж-з), а також розвитком ями розмиву та утворенням осередку безпосередньо в руслі річки (рисунк 2 г-є).

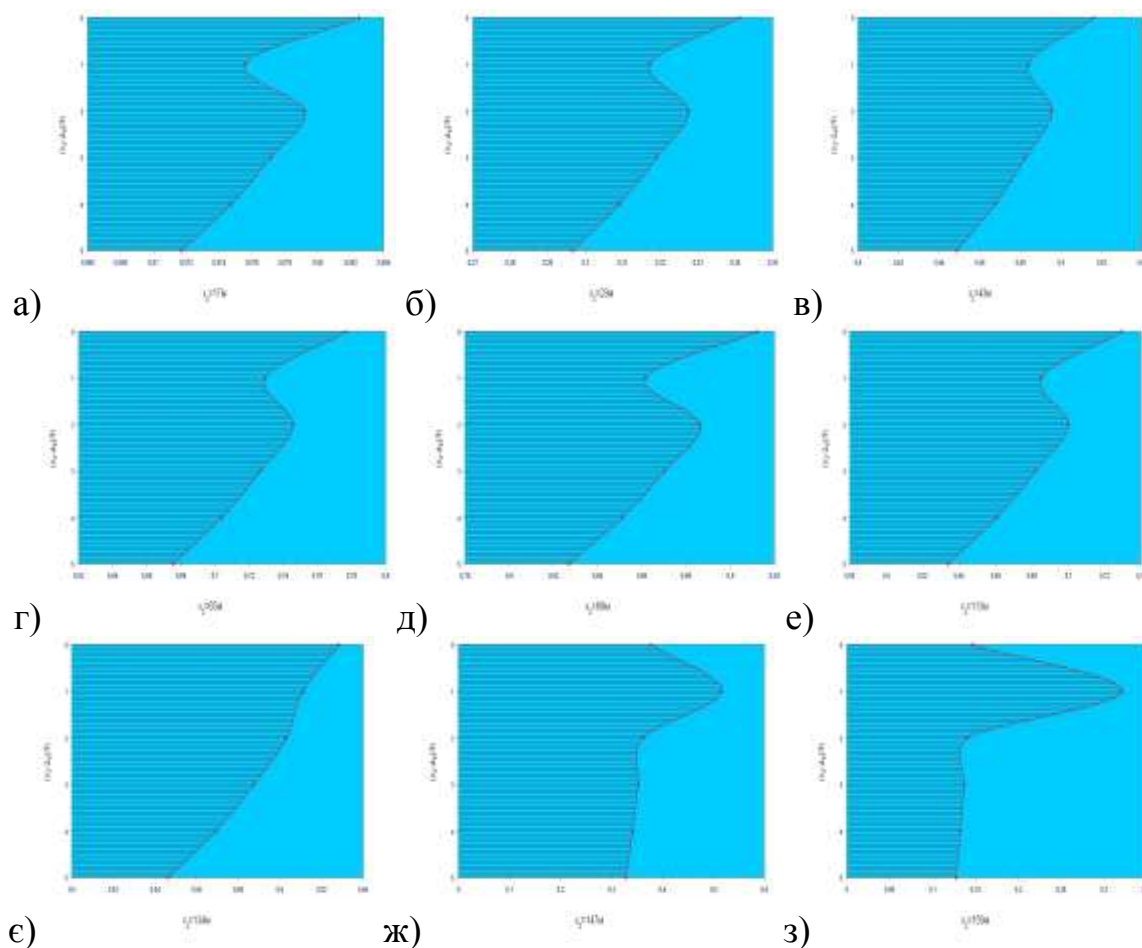


Рисунок 2 – Епюри розподілу поздовжньої швидкості \tilde{V}_1 (м/с) у основній товщі потоку після 615-ї сходинки гідрографа повені р. Гірський Тікич: а - в – на заплаві; г - є – в руслі; ж, з – на заплаві з насипом підходу.

На основі розв'язку рівнянь (5-6) отримано розподіл у придонному шарі кінетичної енергії турбулентності $\overline{\rho_{LS}k_{tSL}}$ та швидкості її дисипації $\overline{\varepsilon_{SLt}}$. Розподіл мутності \overline{S} у річковому потоці отримано з розв'язку рівнянь (1). Величини $\overline{\rho_{LS}k_{tSL}}$, $\overline{\varepsilon_{SLt}}$ та \overline{S} приймають максимальні значення в зоні розвитку розмиву під мостовим переходом (рисунок 3 а, б, в).

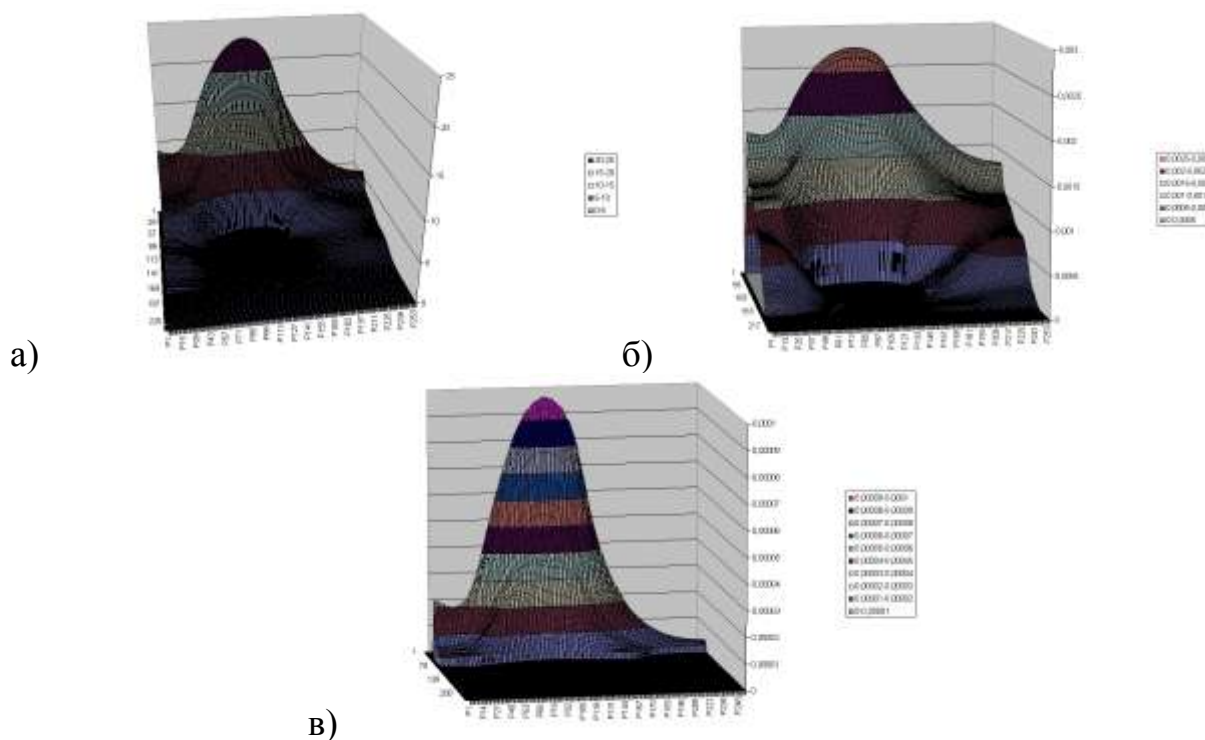


Рисунок 3 – Графіки розподілу гідродинамічних характеристик р. Гірський Тікич у основній товщі потоку після 615-ї сходинки гідрографа повені:

- а) кінетичної енергії турбулентності $\overline{\rho_{LS}k_{tSL}}$ ($\text{кг/м}^3 \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$); б) швидкості дисипації кінетичної енергії турбулентних пульсацій $\overline{\varepsilon_{SLt}}$ ($\text{м}^2/\text{с}^3$);
- в) придонної мутності \overline{S} ($\text{м}^3/\text{м}^3$);.

Висновки. Запропонована автором нова методологія ґрунтується на математичних моделях, які описують одночасно і рух рідини, і вплив твердих часток на розподіл швидкостей у основній товщі потоку, а також суттєвий вплив опору від елементів рослинності на динаміку заплавного потоку. На підставі запропонованого комплексу математичних моделей розроблено якісно нові методи прогнозування загальних деформацій на характерних ділянках мостових переходів.

Список літератури:

1. Morse B., Townsend R.D. Modeling channel bed transients using explicit F-D schemes // Journal of Hydraulic engineering. – Vol. 116. – NO. 11. – 1990. - P. 1345 – 1356.
2. Van Rijn L. C., van Rossum H., Termes P. Field verification of 2-D and 3-D suspended-sediment models // Journal of Hydraulic engineering. – Vol. 116. – NO. 10. – 1990. - P. 1270 – 1288.
3. Shimizu B.Y., Yamaguchi H., Itamura T. Three-dimensional computation of flow and bed deformation // Journal of Hydraulic engineering. – Vol. 116. – NO. 4. – 1990. - P. 563 – 1288.
4. Савенко В.Я. Математические модели и методы расчета квазитрехмерных безнапорных потоков. - К.: Техніка, 1995. 184 с.
5. Yen C., Shin-ya H. Bed evolution in channel bends // Journal of Hydraulic engineering. – Vol. 116. – NO. 11. – 1990. - P. 544 – 562.
6. Лятхер В.М., Гури́н И.Н. Гидравлические характеристики потоков над поверхностью, покрытой травянистой растительностью // Водные ресурсы, 1978, №3. С. 159 – 168.
7. Михайлова Н.А. Перенос твердых частиц турбулентными потоками. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. - 235 с.
8. Андерсон Д. Таннехилл Дж. Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. - М.: "Мир", 1990. - Т. 1,2. - 725с.
9. Савенко В.Я., Славинская Е.С. Моделирование процессов развития внутренних течений с учетом анизотропии открытых турбулентных потоков. – К.:НТУ, 2004. – 176 с.
10. Белов И.А. Модели турбулентности.: Учебное пособие. 2-е. изд., перераб. и доп. - Л.: ЛМИ, 1986. - 100 с.
11. Крі́ль С.І. До питання про реологічне моделювання суспензій. – Прикладна гідромеханіка, 2003, том 5 (77), №2. С. 20-26.
12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. - М.: Наука, 1969. - 742с.
13. Славінська О.С. Гідродинамічний опис структури придонної області турбулентного потоку з урахуванням кореляцій руху часток наносів/ Олена Славінська // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – Рівне НУВГП, 2006. – Вип. 31. – С. 278–286.
14. Славінська О.С. Метод прогнозування загальних руслових деформацій в двофазних потоках з пасмовим дном / Олена Славінська // Дороги і мости: Збірник наукових праць: Т.П.–К.:ДерждорНДІ, 2007. – Вип.7. – С. 189–198.
15. Славінська О.С. Дослідження розвитку загальних руслових деформацій в зоні впливу мостового переходу / Олена Славінська // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К.: НТУ, 2008. – Вип. 75. – С. 286 – 295.

УДК 625.03

Лисіков Є. Н., Астахов В. М., Воронін С. В., Тулей Ю. Л. Шляхи вдосконалення стрілочних переводів залізниць України при використанні систем дозованого введення мастильних матеріалів. // Зб. наук. праць. - Донецьк: ДонІЗТ, 2010. - Вип. № 24. – С.5-10.

Розглянуто основні шляхи вдосконалення стрілочних переводів, оснащених системами дозованого введення мастильних матеріалів. Серед перспективних напрямків найбільш актуальними є застосування регенованих масел в системах дозованого введення, а також вплив на рідкі мастильні матеріали електричними полями.

Іл. 3, список літ. - 13 найм.

УДК 656.222.6:656.212

Лаврухін О.В. Формування наукових підходів щодо пріоритетного формування поїздів при застосуванні інтелектуальних методів. // Зб. наук. праць. - Донецьк: ДонІЗТ, 2010. - Вип. № 24. – С.11-18.

В статті розглянуті питання формування наукових підходів щодо пріоритетного формування поїздів при застосуванні інтелектуальних методів на основі нечіткої логіки.

Іл. - 5, літ. – 3 назв

УДК 519.246:656.2.08

Мойсеєнко В.І., Бородай Г.П., Лазарєв О.В. Дослідження потоку кількості транспортних подій на залізницях України // Зб. наук. праць. - Донецьк: ДонІЗТ, 2010. - Вип. № 24. – С.18-32.

Досліджено потік кількості транспортних подій на залізницях України. За допомогою критерію серій, що заснований на медіані виборки, критерію квадратів послідовних різниць (критерій Аббе) та критерію Крускала-Уолліса зроблений висновок, що досліджуваний потік володіє стаціонарністю та відсутністю післядії протягом 2005-2009рр. Окрім цього, цей потік розподілений за нормальним законом. Отримані результати дозволили спрогнозувати кількість транспортних подій на майбутнє.

Іл. - 6, табл. - 6, літ. - 9 назв

УДК 656.078

Пасічник А.М., Андрущенко В.О., Кравчук С.С. Імітаційне моделювання роботи вантажного митного комплексу.// Зб. наук. праць. - Донецьк: ДонІЗТ, 2010. - Вип. № 24. – С.32-37.

У продажах розглянуто завдання Підвищення ефективності роботи вантажного митного комплексу. Запропоновано імітаційну модель, в якій враховано виконання операцій з зовнішньоторговельнім вантажопотоками, Який прибуває (відправляється) залізничним та автомобільним магістральним транспортом. Отриманні Дані дозволяти дослідити систему та проаналізувати Основні якісні характеристики її діяльності, знайти шляхи удосконалення роботи окремих ланок системи, раціоналізувати логістичні процеси. Модель більш повно урахує сукупність технологічних операцій на вантажних станція, а також взаємозв'язок з іншими системами (Митниця та іншими контролюючими органами), Що суттєво впливає на годину обслуговування. Імітаційна модель дає змогу оцінити синергетичний ефект для вантажного митного комплексу при обслуговуванні залізничних і автомобільних перевізників.

Літ. – 8 назв.

УДК 629.017

Подригало М.А., Клец Д.М., Файст В.Л. Експериментальна оцінка розподілу прискорень при русі автомобілів в транспортному потоці.// Зб. наук. праць. - Донецьк: ДонІЗТ, 2010. - Вип. № 24. – С.38-46.

Виконана оцінка розподілу прискорень легкових автомобілів при русі в транспортному потоці з використанням мобільного вимірювально-реєстраційного комплексу, розробленого в ХНАДУ. Проведено підбір величин розподілу прискорень легкових автомобілів.

Іл. - 9, табл. - 1, літ. - 4 назв.

УДК 656.222.6:656.212

Скалозуб В.В., Бардась О.О. Удосконалення методів вибору черговості розпуску составів на сортувальній станції. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 46-52.

Удосконалено метод вибору черговості розпуску залізничних составів на сортувальній станції. Виконано аналіз критеріїв задачі, встановлено їх лексикографічний порядок. Сформульовано поняття ідеальної послідовності розпуску составів, з використанням якого виконується ефективна декомпозиція n-етапної задачі розформуванні на

послідовність 2-етапних, а також можливе скорочення числа варіантів черговостей розформування составів.

Іл. 2, список літ. - 4 назв.

УДК 656.211:626.212

Чеклов В.Ф., Чеклова В.М., Лях Л.О., Даценко Д.П., Науменко О.М. Удосконалення технології роботи під'їзної колії ВАТ «Павлоградвугілля» в умовах посилення технічних засобів. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 53-61.

Проведено аналіз відповідності переробної спроможності технічних засобів вантажних фронтів під'їзної колії ВАТ «Павлоградвугілля» на перспективу. Розроблені варіанти посилення технічних засобів для збільшення пропускної та переробної спроможності під'їзної колії ВАТ «Павлоградвугілля».

Іл. - 3, табл. - 3, літ. - 7 назв.

УДК 656.223.2

Шеховцов О. І. Автоматизоване робоче місце диспетчера залізничних перевезень порту // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24 – С. 62-68.

Запропоновано систему підтримки прийняття рішень клієнтів залізничного транспорту при перевезенні специфічних вантажів. Визначено сферу застосування системи та побудовано схему обміну оперативною інформацією при її експлуатації.

Іл. – 5, список літ. – 9 назв.

УДК 629.463.65: 629.4.015

Корнейчук С.Г., Ломотько Д.В., Романович Є.В., Повороженко Є.В. Вибір критерію якості вібраційного очищення піввагонів від залишків сипучих вантажів. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 69-76.

Для перевезення сипучих вантажів по залізниці найбільше часто використовують піввагони. Для успішного удосконалення процесу вібраційного очищення піввагонів за допомогою накладного вібратора досліджено питання, що пов'язані з наявністю залишків вантажу після відкривання кришок люків і з поводженням вантажу в процесі вібрації. Встановлено, що кількість залишків вантажу в кузові піввагона при

обробці накладним вібратором прямо залежить від величини прискорення, що надається вібратором кузову піввагона.

Іл. 6, табл.-1, список літ. -12 назв.

УДК 53.697.5

Бондар О.А. Поєднані техніко-екологічні реостатні випробування тепловозів. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 77-80.

Розглянуто поєднання технологічних і екологічних реостатних випробувань тепловозів на прикладі 2ТЕ116. Порівняльний аналіз поєднаних і роздільних випробувань показав, що час простою зменшується на 16 хв, витрата палива при поєднаних випробуваннях скорочується на 86 кг за один цикл випробувань.

Табл.-3, список літ. -3 назв.

УДК 621.332.3

Мямлін С.В., Барановський Д.М. Дослідження довговічності дизелів спеціального самохідного рухомого складу в умовах експлуатації залізниць. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 81-87.

У роботі приведені результати досліджень довговічності дизелів спеціального самохідного рухомого складу в умовах експлуатації залізниць. Показано, що міжремонтний ресурс дизелів в умовах підвищеного навантажувально-швидкісного режиму складає більшу невідповідність вимогам експлуатаційної системи технічного обслуговування та ремонту. Крім того, значно підвищується швидкість зносу основних сполучених елементів трибосистем дизелів, а кількість видів зносу істотно впливає на їх довговічність.

Іл. 4, табл.-2, список літ. -10 назв.

УДК 629.423: 621.313

Рябов Е.С, Любарський Б.Г. Імітаційна модель тягового безредукторного приводу на основі індукторного двигуна з аксіальним магнітним потоком.// Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 88-98.

В роботі розглядається імітаційна модель тягового безредукторного приводу на основі індукторного двигуна з аксіальним магнітним потоком

реалізована в середовищі візуального програмування Simulink. При створенні моделі АІД використаний метод структурних схем.

Іл. 10, список літ. - 7 назв.

УДК 629.4.016.1

Матвієнко С.А. Визначення параметрів математичної моделі руху поїзда для виконання оптимізаційних розрахунків. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 98-107.

В роботі визначено основні параметри чисельної реалізації математичної моделі руху поїзда для виконання розрахунків енергетично оптимальних режимів водіння поїздів. Обрано скінченнорізницеву схему інтегрування рівняння руху поїзда, в якості методу оптимізації обрано дискретний варіант динамічного програмування. Запропоновано єдиний крок інтегрування рівняння руху поїзда, а також виконано оцінку величини цього кроку та параметрів розподіленої маси складу поїзда на точність модельних розрахунків.

Іл. – 1, табл. – 1, список літ. – 12 назв.

УДК 629.4.014

Крашенінін О.С., Шапатіна О.О. Резерви підвищення ефективності використання маневрових локомотивів. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 107-112.

У статті розглянуто питання доцільності знаходження резервів підвищення ефективності використання рухомого складу з метою покращення роботи залізничного транспорту в цілому. Проаналізовано вплив невикористаних простой поїздів на суму експлуатаційних витрат, а також резервних пробігів локомотивів на продуктивність праці локомотивних бригад та енергетичні витрати на тягу поїздів. Запропоновано використання диспетчерського керівництва маневровою роботою для покращення використання маневрових локомотивів на станції

Список літ. – 3 назв.

УДК 656.086

Горобченко О.М. Розробка методу оцінки факторів, що впливають на дії локомотивних бригад в нештатних ситуаціях. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 113-121.

Представлено результати експериментальних і теоретичних досліджень спрямованих на оцінку впливу широкого кола факторів на дії локомотивних бригад в нештатних ситуаціях.

Список літ. - 6 назв.

УДК 629.424.1

Фалендиш А.П., Володарець М.В. Розробка моделі для вибору потужнісних характеристик маневрового тепловозу із гібридною передачею. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 122-130.

В статті розглянуті питання щодо модернізації маневрового тепловозу гібридною передачею і розробки моделі визначення необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки, які встановлено на ньому.

Іл. – 6, табл. – 2, список літ. – 7 назв.

УДК 662.76

Гричук І.В., Гушчін А.М., Прилепський Ю.В., Краснокутська З.І., Адров Д.С. Особливості визначення часу прогріву охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання, оснащеного системою регулювання температури. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 131-143.

Постійні зміни теплового стану двигуна значною мірою впливають на різні параметри його роботи. Запропонована та описана математично система дає економію палива за рахунок підвищеної і сталої робочої температури охолоджуючої рідини; можливе зменшення розмірів теплообмінників, завдяки підвищенню робочої температури; використання запропонованої системи дозволяє шляхом електронного керування двигуном та системою регулювання температури охолоджувальної рідини двигуна підвищити ефективність використання палива.

Іл. – 3, список літ. – 17 назв.

УДК 629.463.65.015.001.5

Мямлін С.В., Недужа Л.О., Тен О.О. Теоретичні дослідження динаміки напіввагонів. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 143-151.

В даній роботі виконано аналіз впливу різних конструкцій візків вантажних вагонів на їх основні динамічні показники безпеки руху.

Наводяться результати порівняння теоретичних досліджень динамічних якостей на піввагонів на різних візках.

Іл. – 5, список літ. – 7 назв.

УДК 621.333:621.3.017.72

Гущин А.М., Дорошко В.І., Сацюк О.В., Володарець М.В., Лихошва О.В. Обґрунтування необхідності та можливості регулювання продуктивності вентиляторів тягових двигунів локомотивів. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 152-155.

Для зниження електроенергії вентиляторів обдування тягових електродвигунів локомотивів запропонована схема зниження їх продуктивності, при зниженні навантаження на ці електродвигуни й роботі локомотивів з навантаженням нижче номінальної.

Іл. – 1, список літ. – 3 назв.

УДК 629.463.125

Іщенко В.М., Дуганов О.Г., Віслогузов В.Т. Термодинамічні особливості діагностування холодильного обладнання при використанні альтернативних холодоагентів // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 155-160.

У статі викладені основні положення удосконалення процедури діагностування та регулювання холодильного обладнання рухомого складу залізниць з урахуванням термодинамічних особливостей альтернативних холодоагентів.

Іл. – 1, список літ. – 7 назв.

УДК 629.45

Обуховський В.В. Діагностування електрообладнання пасажирського вагона з кондиціонуванням повітря типу 47К/К // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 160-163.

Стаття посвячена діагностуванню несправностей електрообладнання пасажирських вагонів, яке засноване на протіканні електричного струму через певні клеми електричного обладнання.

Іл. – 1, список літ. – 3 назв.

УДК 621.791.05

Савенков В. М., Тимохін Ю. В. Вплив форми перехідних ділянок на концентрацію напружень у валах. // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 164-171.

Досліджується напружений стан ділянок валів з різними діаметрами в зоні їхнього сполучення. Розрахунок напружень ведеться чисельно методом кінцевих елементів у середовищі обчислювального комплексу ANSYS.

Створені твердотілі моделі перехідних ділянок валів з галтелями різної форми й з іншими конструктивними елементами, що знижують концентрацію напружень. Результати чисельного розрахунку порівнюються з аналітичними результатами, наведеними в довідковій літературі.

Розрахунок напружено-деформованого стану валів проводився при згині й крученні. Досліджувалися різні компоненти напруженого стану в поверхні перехідних ділянок: нормальні й дотичні напруження, еквівалентні напруження, інтенсивності напружень.

Отримано нові відомості про вплив форми галтелей на концентрацію напружень. Найбільш ефективним є застосування галтелей з перемінним радіусом кривизни. Більший радіус кривизни необхідно приймати з боку більш тонкої ділянки. Не підтверджується позитивний вплив отворів на зниження концентрації напружень у ділянках валів з отворами. Використання внутрішнього отвору на ділянці з більшим діаметром лише збільшує концентрацію напружень у галтельному переході між ділянками з різними діаметрами й тому використання цього конструктивного прийому для зниження максимальних напружень помилково.

Іл. – 7, табл. – 1, список літ. – 3 найм.

УДК 621.89

Ткач В.В. Вплив мастильної плівки на втомну міцність деталей підшипників ковзання.// Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 172-177.

У статті розглядається питання зменшення нормальних контактних напружень з збільшенням товщини мастильної плівки за рахунок електростатичної обробки, що призводить до підвищення втомної міцності деталей підшипників ковзання.

Іл. – 3, список літ. – 3 найм.

УДК 625.143.482

Даренський О.М. Результати досліджень чисельними методами вертикальних впливів на шлях спеціальних і спеціалізованих вагонів промислового транспорту// Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 178-189.

На підставі результатів розрахунків впливів на колію рухомого складу з використанням розробленого програмного комплексу виконаний аналіз вертикальних сил, що діють на рейки при русі найбільш застосовуваних на промисловому транспорті спеціальних та спеціалізованих вагонів. Досліджено вплив швидкостей руху, нерівно пружності рейкових опор, вертикальних нерівностей колії.

Іл. 11, список літ. -10 назв.

УДК 621.9

Татьянченко О.Г. Про нелінійність роботи гнучких елементів // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 190-197.

Розглянута робота гнучких елементів комбінованих і вантових систем при різних варіантах зовнішнього впливу. Досліджені особливості прояву їх нелінійності. Одержані аналітичні залежності, що дозволяють враховувати нелінійність роботи гнучких елементів при розрахунку комбінованих і вантових систем.

Ключові слова : гнучкі елементи, гнучкі ниті, вантові системи, геометрична нелінійність, фізична нелінійність.

. Іл. 2, список літ. -4 назв.

УДК 627.13:519.711.3

Славінська О.С. Дослідження гідродинамічних процесів у відкритих зависених потоках у зоні впливу мостових переходів // Зб. наук. праць – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 24. – С. 198-211.

В статті представлено метод розрахунку гідродинамічних характеристик руслових та заплавних потоків у зоні впливу мостових переходів, ґрунтуючись на положеннях механіки неоднорідних середовищ. На підставі загального рівняння переносу неоднорідного потоку запропоновано систему рівнянь, яка описує динаміку основної зависеної товщі відкритого потоку. Для замикання цієї системи пристосовано модель турбулентності. Для заплавних ділянок запропоновано систему рівнянь, яка враховує наявність зависі та вплив опору від рослинності на динаміку потоку.

Іл. 3, список літ. – 15 назв.

УДК 625.03

Лысиков Е. Н., Астахов В. Н., Воронин С. В., Тулей Ю. Л. Пути совершенствования стрелочных переводов железных дорог Украины при использовании систем дозированного ввода смазочных материалов. // Сб. науч. работ. Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С.5-10.

Рассмотрены основные пути совершенствования стрелочных переводов, оснащенных системами дозированного ввода смазочных материалов. Среди перспективных направлений наиболее актуальными являются применение регенерированных масел в системах дозированного ввода, а также воздействие на жидкие смазочные материалы электрическими полями.

Ил. 3, список лит. – 13 наим.

УДК 656.222.6:656.212

Лаврухин А.В. Формирование научных подходов по приоритетному формированию поездов при применении интеллектуальных методов.// Сб. науч. работ. Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С.11-18.

В статье рассмотрены вопросы формирования научных подходов приоритетного формирования поездов при использовании интеллектуальных методов на основе нечеткой логики.

Ил. - 5, список лит. - 3 наим.

УДК 519.246:656.2.08

Мойсеенко В.И., Бородай Г.П., Лазарев А.В. Исследование потока количества транспортных событий на железных дорогах Украины // Сб. науч. работ. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. - Вып. №24. - С. 18-32.

Исследован поток количества транспортных событий на железных дорогах Украины. С помощью критерия серий, который основан на медиане выборки, критерия квадратов последовательных разностей (критерий Аббе) и критерия Крускала-Уоллиса сделан вывод, что исследуемый поток владеет стационарностью и отсутствием последействия на протяжении 2005-2009гг. Кроме этого, этот поток распределен по нормальному закону. Полученные результаты дали возможность спрогнозировать количество транспортных событий на будущее.

Ил. - 6, табл. - 6, список лит. - 9 наим.

УДК 656.078

Пасичник А.Н., Андриющенко В.А., Кравчук С.С. Имитационное моделирование работы грузового таможенного комплекса. // Сб. науч. работ. Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С.32-37.

В работе рассмотрена задача повышения эффективности работы грузового таможенного комплекса. Предложена имитационная модель, учитывающая выполнения операций по внешнеторговым грузопотоком, который прибывает (отправляется) железнодорожным и автомобильным магистральным транспортом. Полученные данные позволят исследовать систему и проанализировать основные качественные характеристики ее деятельности, найти пути усовершенствования работы отдельных звеньев системы, рационализировать логистические процессы. Модель более полно учитывает совокупность технологических операций на грузовых станциях, а также взаимосвязь с другими системами (таможней и другими контролирующими органами), что существенно влияет на время обслуживания. Имитационная модель позволяет оценить синергетический эффект для грузового таможенного комплекса при обслуживании железнодорожных и автомобильных перевозчиков/

Список лит. – 8 наим.

УДК 629.017

Подригало М.А., Клец Д.М., Файст В.Л. Экспериментальная оценка распределения ускорений при движении автомобилей в транспортном потоке.// Сб. науч. работ. Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С.38-46.

Выполнена оценка распределения ускорений легковых автомобилей при движении в транспортном потоке с использованием мобильного измерительно-регистрационного комплекса, разработанного в ХНАДУ. Проведен подбор величин распределения ускорений легковых автомобилей.

Ил. - 9, табл. - 1, список лит. - 4 наим.

УДК 656.222.6:656.212

Скалозуб В.В., Бардас А.А. Совершенствование методов выбора очередности роспуска составов на сортировочной станции. // Сб. науч. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 46-52.

Усовершенствован метод выбора очередности роспуска железнодорожных составов на сортировочной станции. Выполнен анализ критериев задачи, установлен их лексикографический порядок.

Сформулировано понятие идеальной последовательности роспуска составов, с использованием которого выполняется эффективная декомпозиция n-этапной задачи расформирования на последовательность 2-этапных и возможное сокращение числа вариантов очередности расформирования составов.

Ил. 2, список лит.-4 наим.

УДК 656.211:626.212

Чеклов В.Ф., Чеклова В.М., Лях Л.А., Даценко Д.П., Науменко О.М. Усовершенствование технологии работы подъездного пути ОАО «Павлоградуголь» в условиях усиления технических средств// Сб. наук. работ. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 53-61.

Выполнен анализ соответствия перерабатывающей способности технических средств грузовых фронтов подъездного пути ОАО «Павлоградуголь» на перспективу. Разработаны варианты усиления технических средств для увеличения пропускной и перерабатывающей способности подъездного пути ОАО «Павлоградуголь».

Ил. - 3, табл. - 3, список лит. - 7 наим.

УДК 656.223.2

Шеховцов А. И. Автоматизированное рабочее место диспетчера железнодорожных перевозок порта // Сб. науч. работ. – Донецк: ДонИЖТ, 2010. – Вып. № 24. – С. 62-68.

Предложена система поддержки принятия решений клиентов железнодорожного транспорта при перевозке специфических грузов. Определена сфера использования системы и построена схема обмена оперативной информацией при ее эксплуатации.

Ил. – 5, список лит. – 9 наим.

УДК 629.463.65: 629.4.015

Корнейчук С.Г., Ломотько Д.В., Романович Е.В., Повороженко Е.В. Выбор критерия качества вибрационной очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 69-76.

Для перевозки сыпучих грузов по железной дороге наиболее часто используют полувагоны. Для успешного усовершенствования процесса вибрационной очистки полувагонов с помощью накладного вибратора исследованы вопросы, связанные с наличием остатков груза после

открывания крышек люков и поведением груза в процессе вибрации. Установлено, что количество остатков груза в кузове полувагона при обработке накладным вибратором напрямую зависит от величины ускорения, сообщаемого вибратором кузову полувагона.

Ил. 6, табл.-1, список лит.-12 наим.

УДК 53.697.5

Бондарь Е.А. Совмещенные технико-экологические реостатные испытания тепловозов. // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 77-80.

Рассмотрено совмещение технологических и экологических реостатных испытаний тепловозов на примере 2ТЭ116. Сравнительный анализ совмещенных и отдельных испытаний показал, что время простоя уменьшается на 16 мин, расход топлива при совмещенных испытаниях сокращается на 86 кг за один цикл испытаний.

Табл.-3, список лит.-3 наим.

УДК 621.332.3

Мямлин С.В., Барановский Д.Н. Исследование долговечности дизелей специального самоходного подвижного состава в условиях эксплуатации железных дорог. // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 81-87.

В работе приведены результаты исследований долговечности дизелей специального самоходного подвижного состава в условиях эксплуатации железных дорог. Показано, что межремонтный ресурс дизелей в условиях повышенного нагрузочно-скоростного режима составляет большее несоответствие требованиям эксплуатационной системы технического обслуживания и ремонта. Кроме того, значительно повышается скорость износа основных сопряженных элементов трибосистем дизелей, а количество видов износа существенно влияет на их долговечность.

Ил. 4, табл.-2, список лит.-10 наим.

УДК 629.423: 621.313

Рябов Е.С, Любарский Б.Г. Имитационная модель тягового безредукторного привода на основе индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком. // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 88-98.

В работе рассматривается имитационная модель тягового безредукторного привода на основе индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком, реализованная в среде визуального программирования Simulink. При создании модели АИД использован метод структурных схем.

Ил. 10, список лит.-7 наим.

УДК 629.4.016.1

Матвиенко С.А. Определение параметров математической модели движения поезда для проведения оптимизационных расчетов. // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 98-107.

В работе определены основные параметры численной реализации математической модели движения поезда для выполнения расчетов энергетически оптимальных режимов вождения поездов. Выбрана конечноразностная схема интегрирования уравнения движения поезда, в качестве метода оптимизации выбран дискретный вариант динамического программирования. Предложен единый шаг интегрирования уравнения движения поезда, а также выполнена оценка величины этого шага и параметров распределенной массы состава на точность модельных расчетов.

Ил. – 1, табл. – 1, список лит.— 12 наим.

УДК 629.4.014

Крашенинин А.С., Шапатина О.А. Резервы повышения эффективности использования маневровых локомотивов. // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 107-112.

В статье рассмотрены вопросы целесообразности нахождения резервов повышения эффективности, использования подвижного состава с целью улучшения работы железнодорожного транспорта в целом. Проанализировано влияние непроизводительных простоев поездов на сумму эксплуатационных расходов, а также резервных пробегов локомотивов на продуктивность труда локомотивных бригад и энергетические расходы на тягу поездов. Предложено использование диспетчерского руководства маневровой работой для улучшения использования маневровых локомотивов на станции.

Список лит – 3 наим.

УДК 656.086

Горобченко А. Н. Разработка метода оценки факторов, влияющих на действия локомотивных бригад в нештатных ситуациях // Сб. науч. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 113-121.

Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований, направленных на оценку влияния широкого круга факторов на действия локомотивных бригад в нештатных ситуациях.

Список лит. - 6 наим.

УДК 629.424.1

Фалендыш А.П., Володарец М.В. Разработка модели для выбора мощных характеристик маневрового тепловоза с гибридной передачей.// Сб. науч. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 122-130.

В статье рассмотрены вопросы модернизации маневрового тепловоза гибридной передачей и разработки модели определения необходимой энергоемкости накопителя энергии и мощности силовой установки, которые установлены на нем.

Ил. – 6, табл. – 2, список лит.— 7 наим.

УДК 662.76

Грицук И.В., Гущин А.Н., Прилепский Ю.В., Краснокутская З.И., Адров Д.С. Особенности определения времени прогрева охлаждающей жидкости двигателя внутреннего сгорания, оснащенного системой регулировки температуры. // Сб. науч. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 131-143.

Постоянные изменения теплового состояния двигателя в значительной степени влияют на различные параметры его работы. Предложенная и описанная математическая система дает экономию топлива за счет повышенной и постоянной рабочей температуры охлаждающей жидкости; возможно уменьшение размеров теплообменников, благодаря повышению рабочей температуры; использования предложенной системы позволяет путем электронного управления двигателем и системой регулирования температуры охлаждающей жидкости двигателя повысить эффективность использования топлива.

Ил. – 3, список лит.— 17 наим.

УДК 629.463.65.015.001.5

Мямлин С.В., Недужая Л.А., Тен А.А. Теоретические исследования динамики полувагонов // Сб. науч. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 143-151.

В данной работе выполнен анализ влияния различных конструкций тележек грузовых вагонов на их основные динамические показатели безопасности движения. Приводятся результаты сравнения теоретических исследований динамических качеств полувагонов на различных тележках.

Ил. – 5, список лит. – 7 наим.

УДК 621.333:621.3.017.72

Гущин А.Н., Дорошко В.И., Сацюк О.В., Володарец М.В., Лихошва О.В. Обоснование необходимости и возможности регулирования производительности вентиляторов тяговых двигателей локомотивов. // Сб. науч. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 152-155.

Для снижения электроэнергии вентиляторами обдува тяговых электродвигателей локомотивов предложена схема снижения их производительности, при снижении нагрузки на эти электродвигатели и работе локомотивов с нагрузкой ниже номинальной.

Ил. – 1, список лит. – 3 наим.

УДК 629.463.125

Ищенко В.Н., Дуганов А.Г., Вислогузов В.Т. Термодинамические особенности диагностирования холодильного оборудования при использовании альтернативных хладагентов // Сб. науч. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 155-160.

В статье изложены основные положения усовершенствования процедуры диагностирования и регулирования холодильного оборудования подвижного состава железных дорог с учетом термодинамических особенностей альтернативных хладагентов.

Ил. – 1, список лит. – 7 наим.

УДК 629.45

Обуховский В.В. Диагностирования электрооборудования пассажирского вагона с кондиционированием воздуха типа 47К/К // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 160-163.

Статья посвящена диагностированию неисправностей электрооборудования пассажирских вагонов, которое основано на протекании электрического тока через определенные клеммы электрического оборудования.

Ил – 1, список лит. – 3 наим.

УДК 621.791.05

Савенков В. Н., Тимохин Ю. В. Влияние формы переходных участков на концентрацию напряжений в валах // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 164-171.

Исследуется напряженное состояние участков валов с различными диаметрами в зоне их сопряжения. Расчет напряжений ведется численно методом конечных элементов в среде вычислительного комплекса ANSYS.

Созданы твердотельные модели переходных участков валов с галтелями различной формы и с другими конструктивными элементами, снижающими концентрацию напряжений. Результаты численного расчета сравниваются с аналитическими результатами, приведенными в справочной литературе.

Расчет напряженно-деформированного состояния валов проводился при изгибе и кручении. Исследовались различные компоненты напряженного состояния у поверхности переходных участков: нормальные и касательные напряжения, эквивалентные напряжения, интенсивности напряжений.

Получены новые сведения о влиянии формы галтелей на концентрацию напряжений. Наиболее эффективным является применение галтелей с переменным радиусом кривизны. Большой радиус кривизны необходимо принимать со стороны более тонкого участка. Не подтверждается положительное влияние отверстий на снижение концентрации напряжений в полых участках валов. Использование внутреннего отверстия на участке с большим диаметром лишь увеличивает концентрацию напряжений в галтельном переходе между участками с разными диаметрами и поэтому использование этого конструктивного приема для снижения максимальных напряжений ошибочно.

Ил. – 7, табл. – 1, список лит. – 3 наим.

УДК 621.89

Ткач В.В. Влияние смазочной пленки на усталостную прочность деталей подшипников скольжения. // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 172-177.

В статье рассматривается вопрос уменьшения нормальных контактных напряжений с увеличением толщины смазочной пленки за счет электростатической обработки, что приводит к повышению усталостной прочности деталей подшипников скольжения.

Ил. – 3, список лит. – 3 наим.

УДК 625.143.482

Даренский А.Н. Результаты исследований численными методами вертикальных воздействий на путь специальных и специализированных вагонов промышленного транспорта. // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 178-189.

На основании результатов расчетов воздействий на путь подвижного состава с использованием разработанного программного комплекса выполнен анализ вертикальных сил, действующих на рельсы при движении наиболее применяемых на промышленном транспорте специальных и специализированных вагонов. Исследовано влияние скоростей движения, неравноупругости рельсовых опор, вертикальных неровностей пути.

Ил. 11, список лит.-10 наим.

УДК 621.9

Татьянченко А.Г. О нелинейности работы гибких элементов. // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 190-197.

Рассмотрена работа гибких элементов комбинированных и вантовых систем при различных вариантах внешних воздействий. Исследованы особенности проявления их нелинейности. Получены аналитические зависимости, позволяющие учитывать нелинейность работы гибких элементов при расчете комбинированных и вантовых систем.

Ключевые слова : гибкие элементы, вантовые системы, геометрическая нелинейность, физическая нелинейность.

Ил. 2, список лит.-4 наим.

УДК 627.13:519.711.3

Славинская Е. С. Исследования гидродинамических процессов в открытых взвесенесущих потоках в зоне влияния мостовых переходов // Сб. наук. трудов. - Донецк: ДонИЖТ, 2010. Вып. № 24. - С. 198-211.

В статье представлено метод расчета гидродинамических характеристик русловых и пойменных потоков в зоне влияния мостовых переходов, основываясь на положениях механики неоднородных сред. На основе общего уравнения переноса неоднородного потока предложено систему уравнений, которая описывает динамику основной взвесенесущей толщи открытого потока. Для замыкания этой системы приспособлено модель турбулентности. Для пойменных потоков предложено систему уравнений, учитывающих наличие взвеси и влияние сопротивления от растительности на динамику потока.

Ил. 3, список лит. - 15наим.

UDC 625.03

Lisykov E. N., Astakhov V. N., Voronin S. V., Tuley U. L. Ways of perfection of pointer translations of railways of Ukraine at the use of the systems of the dosed input of lubricating materials // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. - Digest №.24. - P.5-10.

The basic ways of perfection of pointer translations, equipped the systems of the dosed input of lubricating materials are considered. Among perspective directions most actual it is been application of the regenerated butters in the systems of the dosed input, and also affecting liquid lubricating materials the electric fields.

Ill. 3, the list lit. – 13 name.

UDC 656.222.6:656.212

Lavrukhin A.V. Formation of scientific approaches to the priority of trains in the application of intelligent methods.// Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. - Digest №.24. - P.11-18.

In article questions of formation of scientific approaches of priority formation of trains are considered at use of intellectual methods on the basis of fuzzy logic.

Ill. - 5, the list of lit. - 3 names

UDC 519.246:656.2.08

Mojseenko V.I., Borodaj G.P., Lazarev A.V. Investigation of the flow of traffic events on the railways of Ukraine // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. - Digest №.24. - P.18-32.

Investigated the flow of traffic events on the railways of Ukraine. With the help of the runs test, which is based on the median of the sample, the criterion of the squares of successive differences (Abbe criterion) and the Kruskal-Wallis test was concluded that the investigated flow is stationary and has no after-effect during 2005 to 2009. In addition, this flow are normally distributed. The results obtained made it possible to predict the number of transport events in the future.

Ill. - 6, the table - 6, the list of lit. - 9 names

UDC 656.078

Pasichnik A.M., Andryushchenko V.O., Kravchuk, S.S. Imitatsiynе modelyuvannya robot vantazhnogo Mitnija complex.// Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 32-37.

In roboti rozglyanuto problem pidvischennya effektivnosti robot vantazhnogo Mitnija complex. Zaproponovano imitatsiynu model in yakiy vrahovano vikonannya operatsiy is zovnishnotorgovelnim vantazhopotokom, yaky pribuvae (vidpravlyaetsya) zaliznichnim that avtomobilnim magistralnim transport. Otrimanni dani dosliditi permit system that proanalizuvati osnovni yakisni characteristics ii diyalnosti, Know Way udoskonalennya robot okremih lanok system ratsionalizuvati logistichni process. Model bilsh Povny urahovue sukupnist tehnologichnih operatsiy on vantazhnih stantsiya and takozh vzaemozv'yazok is inshimi systems (mitnitseyu that inshimi kontrolyuyuchimi bodies), scho suttevo vplivae an hour obslugovuvannya. Imitatsiyna model dae zmogu otsiniti Cooperate Efektim for vantazhnogo Mitnija complex at obslugovuvanni zaliznichnih i avtomobilnih pereviznikiv.

The list of lit. - 8 names.

UDC 629.017

Podrigalo M.A., Klec D.M., Fajst V.L. Experimental estimation of distributing of accelerations at motion of cars in transporting stream. // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 38-46.

Estimation of distributing of accelerations of passenger cars at motion in a transporting stream with the use of the mobile measuring-registration complex developed in KHNADU is executed. The selection of sizes of distributing of accelerations of passenger cars is conducted.

[I] - 9, the table - 1, the list of lit. - 4 names.

UDC 656.222.6:656.212

Skalazub V.V., Bardas AA Improving methods for choosing the next dissolution of the compositions on the yard. // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 46-52.

The method of choosing the order of dissolution of trains on railway marshalling station. The analysis of the problem criteria, set their lexicographical order. The notion of perfect consistency dissolution compositions, performed with the use of efficient decomposition n-disbandment-stage problem of continuity in two-stage, as well as reducing the number of possible options for the order disbanding convoys.

[I]-2, the list of lit.-4 names.

UDC 656.211:626.212

Cheklov V.F., Cheklova V.M., Lyah L.O., Datsenko D.P., Naumenko O.M. Improvement technology of work on access road of Open Society "Pavlogradugol" in the conditions of strengthening means// Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 53-61.

The analysis of conformity processing ability of means cargo fronts on access road of Open Society "Pavlogradugol" on prospect is carried out. Variants of strengthening means are developed for increase throughput and processing ability on access road of Open Society "Pavlogradugol".

[I] - 3, the table - 3, the list of lit. - 7 names.

UDC 656.223.2

Shekhovtsov A. I. The automated workplace of the port's rail transportation dispatcher // Collection of scientific works. – Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №.24 – P. 62-68.

The system of decision-making support of a railway transport's clients at transportation of specific cargoes has been offered. The use's sphere of the system has been defined. The scheme of an exchange by the information at its functioning has been constructed.

Ill. – 5, the list of lit. – 9 names.

UDC 629.463.65: 629.4.015

Korneichuk S.G., Lomotko D.V., Romanovich E. V., Povorozhenko E.V. Choice of quality vibration cleaning gondolas from the remnants of dry bulk // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 69-76.

For transportation of bulk goods by rail is most frequently used gondola. For a successful process improvement vibratory cleaning gondolas with superimposed dipole investigated issues related to the presence of residual cargo after opening the manhole cover and the behavior of the cargo during vibration. Found that the number of cargo residues in the body gondola processing overhead vibrator is directly dependent on the magnitude of the acceleration reported by the vibrator body gondola.

[I]-6, the table-1, the list of lit.-12 names.

UDC 53.697.5

Bondar E.A. Joint technological and environmental rheostatic test of locomotive// Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 77-80.

The considered joining technological and environmental rheostatic test of locomotive on example 2TE116. Comparative analysis of combined and separate tests that timeout values decreases on 16 mines, the fuel consumption in joint test is reduced on 86 kg for one cycle of the test.

The table-1, the list of lit.-3 names.

UDC 621.332.3

Myamlin S.V., Baranovskiy D.N. Research of longevity of diesels of the special self-propelled mobile composition in the conditions of exploitation of railways. // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 81-87.

In work the results of researches of longevity of diesels of the special self-propelled mobile composition in the conditions of exploitation of railways are resulted. It is shown, that the motoresource of diesels in the conditions of the promoted loading-speed mode makes greater disparity to the requirements of the operating system of technical service and repair. In addition, speed of wear of the basic attended elements of tribosystem diesels rises considerably, and the quantity of types of wear substantially affects their longevity.

[I]-4, the table-2, the list of lit.-10 names.

UDC 629.423: 621.313

Ryabov E.S., Lyubarsky, B.G. Simulation model of traction gearless drive through the inductor motor with an axial magnetic flux. // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 88-98.

In work a simulation model is considered of hauling direct drive on the basis of inductor motor with the axial magnetic thread realized in the visual programming Simulink environment. At creation of the model AIM a method is used of flow diagrams.

[I]-10, the list of lit.-7 names.

UDK 629.4.016.1

Matvienko S.A. Parameters definition of mathematical model for train's movement optimization. // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 98-107.

In work key numerical realization parameters of mathematical train's movement model are certain for performance of energetically optimum modes of train's driving calculations. The integration-scheme of the train's movement equation is chosen, as an optimization-method the discrete variant of dynamic programming is chosen. The uniform integration step of the train's movement

equation is offered, and also the estimation of this step size and parameters of the allocated train-weight on modeling accuracy is executed.

[I]-1, the tables – 1, the list of lit.-12 names.

UDK 629.4.014

Krashenin A.S., Shapatina O.A. Increase reserves of use of shunt-locomotives. // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 107-112.

In a article questions of a increase efficiency reserves finding of rolling stock use with the purpose of work improvement of a railway transportation as a whole are considered. Influence of non-productive idle times of trains on the sum of working costs is analyzed, and also influence of reserve locomotives run on effective work of locomotive brigades and power charges on draft of trains is analysed. Use of a dispatching management by shunting work for improvement of shunting locomotives use at station is offered.

The list of lit – 3 names.

UDC 656.086

Gorobchenko A.N. Research of a method of an estimation of the factors influencing actions of locomotive brigades in supernumerary situations // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 113-121.

Results of the experimental and theoretical researches directed on an estimation of influence of a wide range of factors on actions of locomotive brigades in supernumerary situations are presented.

The list of lits. - 6 names.

UDC 629.424.1

Falendysh A.P., Volodarets M.V. Develop model for selecting power characteristics of the shunting locomotive with a hybrid transmission. // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 122-130.

The questions of modernization of mobile diesel engine with a hybrid transmission and workings out of model of definition necessary for power consumption of the store of energy and power of a power-plant which are established on it are considered in the article

[I]-6, the tables – 2, the list of lit.-7 names.

UDC 662.76

Gritsuk I.V., Guschin A.M., Prilepsy J.V., Krasnokutskaya Z.I., Adrov D.S. Features define the coolant warm-up time internal combustion engine equipped with temperature control. // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 131-143.

Constant changes in the thermal state of the engine significantly affect different parameters of its work. Proposed and described mathematically system gives fuel savings due to increased and sustained operating temperature of coolant, possible reduction in the size of heat exchangers, due to higher operating temperature, the use of the proposed system allows the electronic engine control system and temperature control of cooling fluid to increase engine fuel efficiency.

[1]-3, the list of lit.-17 names.

UDC 629.463.65.015.001.5

Myamlin S.V., Neduzha L.O., Ten A.A.. Theoretical research of gondola car dynamics . // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 143-151.

An analysis of different types of bogies influence on their basic dynamic parameters of road safety is done in the paper. The results of comparison of the theoretical research of dynamic qualities of gondola cars on different bogies are presented.

[1] – 5, the list of lit. – 7 names.

UDC 621.333:621.3.017.72

Gushin A.N., Doroshko V.I., Satsyuk O.V., Volodarets M.V., Lihoshva O.V. Justification of the necessity and feasibility of dealing with fan performance traction motors of locomotives. // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 152-155.

For decrease in the electric power by fans of blowing of traction electric motors of locomotives the scheme of decrease in their productivity is offered, at loading decrease on these electric motors and work of locomotives with loading below nominal

[1] – 1, the list of lit. – 3 names.

UDC 629.463.125

Ishchenko V.N., Duganov A.G., Visloguzov V.T. Thermodynamics features of diagnosticating of refrigeration equipment at the use of alternative

refrigerants // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 155-160.

In the article the substantive provisions of improvement of procedure of diagnosticating and adjusting of refrigeration equipment of rolling stock of railways are expounded taking into account the thermodynamics features of alternative refrigerants.

[1]. - 1, the list of lit. - 7 names.

UDC 629.45

Obukhovskiy V.V. Diagnosis of electric passenger car with air conditioning type 47K/K // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 160-163.

The article is devoted to diagnosing electrical faults passenger cars, which is based on the flow of electric current through certain terminals of electrical equipment.

Ill. – 1, the list of lit. – 3 names.

UDC 621.791.05

Savenkov V. N., Timohin J. V. Influence of form of transitional areas on the concentration of tensions in shafts // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 164-171.

The tense state of areas of shafts with different diameters in the zone of their interface is studied. The calculation of tensions is conducted numeral by means of method of finite elements in the environment of calculable complex ANSYS. The solid models of transitional areas of shafts created with fillets of different form and with other structural elements, reducing the concentration of tensions. The results of numeral calculation compared to the analytical results, placed in certificate literature.

The calculation of the tense-deformed state of shafts conducted at a bend and torsion. Different constituents of the tense state probed at the surface of transitional areas: normal and tangent tensions, equivalent tensions, intensities of tensions.

New information got about influence of form of fillets on the concentration of tensions. Most effective is application of fillets with the variable radius of curvature. The greater radius of curvature must be accepted nearby more thin section. Positive influence of openings not confirmed on the decline of concentration of tensions in the hollow sections of shafts.

The use of the internal opening on an area with a large diameter only increases the concentration of tensions in a fillet transition between parts with

different diameters and the use of this structural mode for the decline of maximal tensions is erroneous.

Ill. – 7, the table – 1, the list of lit. – 3 names.

UDC 621.89

Tkach V.V. Vlijanie of a lubricant film on fatigue strength of details of plain bearers. // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 172-177.

In article the question of reduction normal contact pressure with increase in a thickness of a lubricant film at the expense of electrostatic processing that leads to increase of fatigue strength of details of plain bearers is considered.

[I]. – 3, the list of lit. – 3 names.

UDC 625.143.482

Darenskiy A.N. The results of investigations by numerical methods of vertical impacts on the way of special and specialized wagons industrial vehicles // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 178-189.

Based on the results of calculations of impacts on the path of the rolling stock using the developed software the analysis of vertical forces acting on the rails when moving the most used for industrial transport of special and specialized cars. Investigated the influence of velocities uneven elasticity rail supports, vertical irregularities way.

[I]-11, the list of lit.-10 names.

UDC 621.9

Tatyancenko A.G. Nonlinearity of the flexible elements // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 190-197.

The work of the flexible elements of combined and guy systems with different variants of external influences are considered. The manifestations of flexible elements nonlinearity are researched. Analytical dependences, allowing the nonlinearity of flexible threads in the calculation of combined and guy systems, are developed.

The keywords: flexible elements, combined systems, guy systems, geometric nonlinearity, physical nonlinearity.

[I]-2, the list of lit.-4 names.

UDK 627.13:519.711.3

Slavinska O.S. The researches of hydrodynamical processes in suspensions bearing open flows in the zone of bridges influence // Collection of scientific works. - Donetsk: DonIRT, 2010. – Digest №. 24. - P. 198-211.

The method of hydrodynamical characteristics calculation of channel and floodplain flow in the zone of bridges influence, based on the provisions of the mechanics of inhomogeneous medium is presented in article. Proposed a system of equations describing the dynamics of the main suspensions bearing thickness open flow, that based on the general equation of inhomogeneous flow. For the closure of the system the model of turbulence adapted. For rivers floodplain areas proposed system of equations, which depends on the suspension presence and resistance depend from of vegetation on the flow dynamics.

[I]-3, the list of lit.-15 names.

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

Випуск 24

Редактор Г.О.Зайцева

Подано на укладання 28.12.10 р . Підписано до друку 30.12.10 р.
Формат 70x108/16.

Папір офс. Гарн. Times New Roman. Друк на ризографі.
Ум.друк.арк. 12,11. Обл. – вид.арк. 14,05. Наклад 105 прим. Зам. № ____.

Надруковано в редакційно-видавничому відділі ДонІЗТ
Свідоцтво про внесення до державного реєстру від 22.06.2004 р.,
Серія ДК № 1851

83018, м.Донецьк, вул. Горна, 6
