

УДК 629.463.001.63

**О. В. ФОМИН**, канд. техн. наук, доц., ДонІЗТ, гол. констр. ПрАТ «ДМЗ», Донецьк

## ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ З ПРОБЛЕМ ПРОЕКТУВАННЯ НЕСУЧИХ СИСТЕМ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

В статті представлено результати проведеного огляду досліджень з проектування несучих систем вантажних вагонів.

**Ключові слова:** огляд, проектування несучих систем, вантажні вагони.

### Постановка проблеми і аналіз результатів останніх досліджень

Ефективність, функціонування і конкурентоспроможність залізниць у вирішальній мірі залежить від безпеки процесу перевезень, швидкості доставки вантажів і рівня експлуатаційних витрат, тому від рухомого складу вимагають: високої надійності, низької початкової вартості, значного зниження експлуатаційних витрат і т.д. У відповідності до основних положень Державної програми «Український вагон» (затверджена Міністерством інфраструктури України 04 лютого 2011р.) важливим напрямком вирішення зазначеної задачі є формування вантажного парку Укрзалізниці на основі моделей вагонів вітчизняного виробництва, які мають сучасний рівень техніко-економічних та експлуатаційних показників. Розв'язання цієї проблеми обґрунтовує необхідність використання сучасних підходів та методів проектування несучих систем [1, 2] вантажних вагонів. При цьому аналіз відповідних наукових та довідкових джерел засвідчив про відсутність публікацій узагальнюючого та аналізуючого характеру робіт з проблем проектування несучих систем вантажних вагонів.

### Мета статті та викладення основного матеріалу

В статті представлено результати проведеного аналізу вітчизняних та закордонних досліджень з проблем проектування несучих систем вантажних вагонів. Визначено ключові роботи та висвітлено їх особливості.

На сьогоднішній день проблемами проектування несучих систем вантажних вагонів займаються колективи нижчепредставлених організацій та підприємств: ПАТ «Азовмаш», Білоруського державного університету транспорту, Брянського державного університету транспорту, Всерадянського науково-дослідного інституту транспорту, Всерадянського науково-дослідного інституту вагонобудування, Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені акад. В.Лазаряна, ПАТ «Днепрвагонмаш», ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод», Московського державного університету шляхів сполучення, Ростовського державного університету шляхів сполучення, Санкт-Петербурзького державного університету шляхів сполучення, ПАТ «Стахановський вагонобудівний завод», Української державної академії залізничного транспорту, Українського науково-дослідного інституту вагонобудування, ВАТ «НПЦ» УралВагонЗавод», Уральського державного університету шляхів сполучення та інш.

Значний внесок у розвиток конструкцій вагонів і методів їх проектування внесли нижченаведені учені і інженери: О.Є. Афанасьєв, Б.В.Афоніна, Л.І. Бартенева, О.А. Бітюцький, Є.П. Блохін, А.Ю. Богачов, О.Г. Бойчевський, Ю.П. Бороненко, В.М. Бубнов, М.А. Буличев, Г.П. Бурчак, М.Ф. Веріго, С.В. Вершинський, М.В. Вінокуров, В.І. Варава, М.М.Воронін, В.Ф.Головко, А.П. Горбенко, В.М. Данілов, В.Д. Данович, Ю.В. Дьомін, А.В.Донченко, Р.І. Зайнетдінов, В.Г. Іноземцев, І.П. Ісаєв, М.Б. Кельріх, В.В.Кобіщанов, К.П. Королев, Н.А. Костенко, В.М. Котуранов, Ю.Л. Кофман, С.М. Куценко, М.Л. Коротенко, Л.Д. Кузьміч, В.А. Лазарян, В.П. Лозбінюв, Ф.Ю. Лозбінюв,

В.В. Лукін, Л.Б. Манашкін, М.М. Машнев, В.Б. Медель, О.П. Мисютін, В.І.Мороз, С.В.Мямлін, Л.Н. Нікольський, Е.М. Нікольський, М.М.Овечніков, М.М. Пахомов, И.П. Петров, В.С. Плоткін, М.І.Подлітов, О.О. Попов, А.О. Радзіховський, Ю.С. Ромен, А.Н. Савоськін, О.М.Савчук, В.В. Саричев, І.Н.Серпик, М.М. Соколов, СВ. Сорокіна, П.А. Устїч, В.Ф. Ушкалов, М.І. Харітонов, О.О. Хохлов, В.Д. Хусїдов, В.О. Царапкін, Ю.М. Черкашин, В.В. Чіркїн, Л.А. Шадур, А.В.Шаповал, П.В. Шевченко, В.Ф. Яковлев та ін.

Розвитку методів проектування вантажних вагонів на основі застосування системного проектування присвячені роботи А.О. Радзіховського [3] і К.О.Сергіїва, при цьому розглядаються специфічні конкретні випадки а не узагальнюючі підходи.

Е.М.Нікольським [4] був вперше запропонований алгоритм розрахунку несучих конструкцій вагонів МСЕ, і реалізований у вигляді програми.

Під керівництвом Л.А. Шадура і В.М. Котуранова у роботах (МІІТу) проведений значний комплекс досліджень по техніко-економічному обґрунтуванню і створенню несучих систем восьмивісних вагонів.

А.П. Горбенко [5] було проведено дослідження напруженого стану кришок люків напіввагонів, визначені їх оптимальні параметри.

Роботи В.О. Царапкіна [6] є одними з перших робіт, присвячених застосуванню теорії оптимізації для кузовів вагонів. Їм розглянуто завдання з визначення оптимальних параметрів стрижньових елементів по критерію мінімуму площ поперечних перерізів на основі методу покоординатного спуску. У різних варіантах запропонованих алгоритмів оптимізації застосовуються лінійне і динамічне програмування, ітераційні методи пошуку оптимуму. Дані алгоритми направлені на розробку рівнонапруженого варіанту конструкції, в якому максимальне напруження в усіх елементах рівне таким, що допускаються. Розрахункова схема кузова береться у вигляді стрижньової системи, причому її топологія передбачається заданою і незмінною.

Праці В.П.Лозбіньова [7] присвячені розвитку і дослідженню теорії оптимізації несучих конструкцій кузовів вагонів. Розроблені алгоритми і програми уточненого розрахунку на ЕОМ кузовів вантажних вагонів, обшивки, що дозволяють врахувати взаємний вплив підкріплюючих елементів, ексцентриситет підкріплюючих елементів по відношенню до серединної поверхні обшивки, змінність розмірів поперечних перерізів підкріплюючих елементів по довжині, жорстке з'єднання підкріплень у вузлах їх з'єднання з обшивкою. Запропонований метод оптимізації кузовів вагонів, заснований на базі градієнтного методу і методу штрафних функцій. Розроблена методика ОПК кузовів вантажних вагонів, яка ураховує специфіку конструкцій. Розроблені способи аналізу глобальності отриманого оптимуму і впливу конструктивних відхилень оптимальних параметрів на результати оптимізації. Ця методика знайшла застосування при оптимізації конструкцій кузовів вагонів і інших виробів машинобудування. Ідеї В.П. Лозбіньова розвивав Ф.Ю. Лозбіньов [8], у роботах, які спрямовані на удосконалення методики оптимізації кузовів вагонів, що дозволяє отримувати варіант конструкції, більш оптимальний по масі, порівняно з варіантами, що отримуються за допомогою методу проектування дискретно рівнонапруженої конструкції. Розроблені наукові основи і методика оптимального проектування несучих кузовів вагонів по критерію мінімуму витрат протягом життєвого циклу з урахуванням суперечливих вимог на стадіях проектування і виготовлення з одного боку, експлуатації і ремонту з іншого. Представлено опис розробленої автоматизованої системи міцнісного і оптимізаційного аналізу несучих конструкцій вагонів.

Під керівництвом В.В. Лукїна у роботах ОмДУШС (ОМІТ), виконаних, проведені дослідження по створенню алгоритму визначення оптимальних параметрів основних типів вантажних вагонів [9]. При виборі параметрів вантажних вагонів як основний критерій прийнятий мінімум приведених витрат, пов'язаних з перевезенням вантажів. Для

визначення параметрів перерізів використовується ітераційний метод перерахунку, який приводить до максимального напруження в елементах, близького до напружень в аналогічних перерізах елементів відпрацьованої конструкції серійного вагону.

В.Ф. Ушкалов у роботі [10] використовував методи покоординатного і градієнтного пошуку для вирішення завдання підвищення власної частоти вигинистих коливань багатомасової моделі кузова і оптимізації параметрів демпфування рухомого складу залізниць.

Робота [11] С.В. Сорокіної присвячена автоматизації визначення оптимальних параметрів перерізів несучих елементів кузовів вагонів, де запропонований алгоритм, побудований на використанні МСЕ і принципу дискретної рівномірності при подвійному ітераційному циклі оптимізації маси кузова.

У роботі Ю.П.Бороненко [12] розроблені методи розрахунку напруженості і міцності гнучких конструктивних елементів вагонів, дозволяють на стадії проектування робити вибір раціональних параметрів, зменшувати витрати на експериментальне доведення конструкцій і скорочувати терміни створення нових зразків рухомого складу з покращеними техніко-економічними характеристиками.

У роботі В.М.Макухіна досліджені питання параметричної оптимізації суцільнометалевих кузовів напіввагонів. Розглянуті результати, отримані при використанні різних підходів: прямого методу Монте-Карло, алгоритмів з адаптацією і самонавчанням, алгоритмів локальних методів пошуку і комбінованих.

М.К. Кукеєвим реалізована методика вибору оптимальних техніко-економічних параметрів, що враховує додаткові умови-обмеження по міцності і стійкості від вичавлювання подовжніми силами. При цьому передбачена обробка результатів розрахунку з використанням методу найменших квадратів.

Е.М.Нікольським [4] розроблені методи розрахунку, що значно піднімають рівень наукової обґрунтованості, точність, побудови алгоритмів і розрахункових схем, що відрізняються оригінальністю. У основі запропонованого підходу – вживання методу чергування основних систем (МЧОС) у поєднанні з МСЕ.

В.В. Саричевим у роботі [13] пропонується триступінчатий алгоритм визначення оптимальної номенклатури профілів для вагонних конструкцій. Завдання вирішувалося поетапно: перший етап включає вибір раціональних форм, другий етап – вибір раціональних розмірів профілів шляхом параметричної оптимізації по критерію мінімуму маси, третій етап – вибір раціонального числа типорозмірів профілів в конструкції методом динамічного програмування.

В роботі П.А.Устіча [14] розглянуте завдання обґрунтування оптимального рівня надійності вагону. В процесі рішення задачі визначаються вимоги до надійності основних комплектуючих елементів конструкції, щоб надійність вагону була не менша заданої при мінімальній його вартості.

М.М. Вороніним в роботі [15] була розвинена синергетична концепція пошкоджуваності металу при деформації пружнопластичності для оцінки напруженого стану в місцях концентрації напруження, розроблені методичні і програмні засоби для оцінки пошкоджуваності і прогнозування ресурсу зварювальних швів кузовів вагонів.

Робота [16] О.А.Бітюцького присвячена проблемі комплексного методу проектування, розрахунків і випробувань вантажних вагонів, в якій на основі блочно-модульного підходу і спеціальних прийомів геометричного моделювання автоматизований процес визначення основних параметрів кузовів вантажних вагонів до етапу створення технічного проекту.

Робота [17] А.Ю. Богачьова була направлена на удосконалення зварювальних вузлів напіввагону. У роботі були розроблені методичні і програмні засоби для реалізації

розрахунків по МСЕ зварювальних конструкцій напіввагонів з переходом від оцінки напруженого стану всієї конструкції до оцінки напруження в місцях її концентрацій.

В роботі [18] М.А.Буличев запропонував методику параметричної оптимізації кузовів вагонів з урахуванням обмежень по міцності і опорі втомі несучих елементів. Методика реалізована в програмному комплексі, з використанням якого виконаний аналіз впливу на оптимум окремих чинників.

Розроблений в роботі [19] Н.І. Коченковою варіант методики оптимізації кузовів вантажних вагонів по критерію мінімуму витрат у сфері виробництва, включає алгоритми структурної і параметричної оптимізації, а також написана програма (що входить в програмний комплекс Ф.Ю.Лозбіньова) для реалізації згаданих алгоритмів.

Б.В. Афоніною у роботі [20] розглядається питання оптимізації металоконструкції кузовів вантажних вагонів з урахуванням вимог міцності і живучості несучих елементів. Запропонована методика оптимізації конструкції кузова елементи якого містять початкові технологічні дефекти.

О.Е. Афанасьев в роботі [21] проаналізував результати дослідження міцності торцевої стіни універсального напіввагону і розглянув напрями її удосконалення. Була розроблена нова конструкція торцевої стіни, також в роботі приведені результати впровадження нової конструкції торцевої стіни в експлуатацію.

Д.Г.Бейн в роботі [22] розробив алгоритм спільної структурної і параметричної оптимізації бокових стін і рами напіввагонів з несучою підлогою. Запропоновано алгоритм моделювання підкріплених панелей обшивки з використанням модифікованих пластинчасто-стрижньових моделей і розроблені СЕМ. В Українській державній академії залізничного транспорту під керівництвом д.т.н., професора В.І. Мороза були виконані роботи [23] з розробки наукових підходів до визначення та використання конструкційних резервів кузовів вантажних вагонів.

### **Висновки і рекомендації щодо подальшого використання**

В результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що вітчизняними і закордонними ученими, інженерами створений значний науково-технічний заділ по проблемам проектування несучих конструкцій вантажних вагонів, розширення і підтримка якого на належному рівні є необхідною умовою нормального функціонування і інноваційною основою розвитку вагонобудівного комплексу.

**Список літератури:** 1. ГОСТ 26725-97 Полувагоны четырехосные универсальные магистральных железных дорог колеи 1520мм. Общие технические условия [Текст]/ Госстандарт Украины, Киев, 1999г. 2. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 354с. 3. Радзиховский, А. А. Теория и методы проектирования грузовых специализированных вагонов: Дисс. докт. техн. наук. Л. : ЛИИЖТ . 1985. 227с. 4. Никольский, Е. Н. Расчет несущих конструкций вагона по методу конечных элементов: Учебное пособие. - Брянск: БИТМ, 1982. - 99 с. 5. Горбенко, А. П. Исследование напряженного состояния крышек люков полувагонов и мероприятия, повышающие их прочность: Дисс. канд. техн. наук. - Харьков: ХИИТ, 1970. - 198с. 6. Царапкин, В. А. Некоторые вопросы оптимального проектирования каркасов рам и кузовов подвижного состава: Дисс. канд. техн. наук: - Утв. - Днепропетровск, 1979. - 140 с. 7. Лозбинец, В. П. Проектирование и оптимизация несущих систем кузовов вагонов / В. П. Лозбинец // Учеб. пособие. - Брянск: БГТУ, 1997. - 88 с. 8. Лозбинец, Ф. Ю. Разработка научных основ оптимального проектирования несущих систем кузовов вагонов по критерию минимума затрат на создание, эксплуатацию и ремонт// Дисс. докт. техн. наук.-Брянск, БГТУ, 2000 -401с. 9. Лукин В. В. Выбор рациональных параметров грузовых вагонов. Учебное пособие. - ОмИИТ, 1985. - 84 с. 10. Ушкалов, В. Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей/ В. Ф. Ушкалов, Л. М. Резников, С. Ф. Редько. - Киев: Наукова думка, 1982. - 360 с. 11 . Сорокина, С. В. Элементы автоматизации проектирования несущих конструкций кузовов вагонов с оптимизацией стержневых элементов (на примере крытого грузового вагона): Автореф. канд. техн. наук. - Брянск: БИТМ, 1984.-24 с. 12. Бороненко, Ю. П. Прогнозирование нагруженности и прочности вагонов с гибкими конструктивными элементами изменяемой формы. //Автореф. докт. техн. наук. -Л., ЛИИЖТ,

1986. **13.** Сарычев, В. В. Выбор рациональной номенклатуры профилей стержневых элементов вагонных конструкций на примере вагона-хоппера / В. В. Сарычев // Дисс. канд. техн. наук. - Кременчуг: ВНИИВ, 1988. - 148 с. **14.** Устич, П. А. Надежность вагонов. //Нагруженность элементов конструкции вагона. -М.: Транспорт, 1991. -С. 186-231. **15.** Воронин, Н. Н. Анализ повреждаемости и оценка работоспособности несущих сварных конструкций грузовых вагонов. //Автореф. докт. техн. наук. -М., МИИТ, 1994. **16.** Битюцкий А. А. Разработка комплексного метода проектирования, расчета и испытания грузовых вагонов. //Дисс. докт. техн. наук. - Санкт-Петербург, СПГУПС (ЛИИЖТ), 1995. -335с. **17.** Богачев, А. Ю. Совершенствование сварных узлов полувагона на основе поэтапных конечно-элементных расчетов их нагруженности: Автореф. канд. техн. наук / А. Ю. Богачев. - Москва: МИИТ, 1995. - 20 с. **18.** Булычев М. А. Методика оптимизации несущей системы кузова вагона с учетом ограничений по прочности и сопротивлению усталости. //Дисс. ... канд. техн. наук. -Брянск, БГТУ, 1999. -189с. **19.** Коченкова, Н. И. Оптимизация несущих конструкций кузовов вагонов по критерию минимума себестоимости / Н. И. Коченкова // Дисс. канд. техн. наук. - Брянск: БГТУ, 2001. — 113 с. **20.** Афонина, Е. В. Оптимизация металлоконструкций кузовов грузовых вагонов с учетом требований прочности и живучести несущих элементов/ Е. В. Афонина // Дисс. канд. техн. наук. - Брянск: БГТУ, 2001. – 168с. **21.** Афанасьев, А. Е. Совершенствование конструкции кузова универсального полувагона: Дис. канд. техн. наук. - Санкт-Петербург: Петерб. гос. ун-т путей сообщ., 2009. – 173с. **22.** Бейн, Д. Г. Оптимизация кузовов грузовых вагонов открытого типа с несущим полом / Е. В. Афонина // дисс. ... канд. техн. наук. - Брянск: БГТУ, 2011. – 138с. **23.** Фомін, О. В. Удосконалення конструкції залізничних піввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності / О. В. Фомін // Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2010.- Вип. 117.- С.28-34.

*Надійшла до редколегії 20.12.2012*

УДК 629.463.001.63

**Огляд досліджень з проблем проектування несучих систем вантажних вагонів/ Фомін О. В // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 68 (974). – С. 3-7. – Бібліогр.:23 назв.**

В статті представлені результати проведеного обзора досліджень із проектування несучих систем грузових вагонів.

**Ключевые слова:** обзор, проектирование несущих систем, грузовые вагоны.

In the article the results of the conducted review of researches are presented from planning of the bearings systems freight carriages.

**Keywords:** review, planning of the bearings systems, freight carriages.

УДК 621.86.032

**О. С. ПОДОЛЯК**, канд. техн. наук, доц., УПА, . Харків;

**О. А. НАЗАРКІН**, канд. техн. наук, доц., УПА, . Харків;

**І. І. ІСЬЄМІНІ**, асистент, УПА, . Харків

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАНОСТІ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ПРИ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ**

Проведені дослідження зношуваності деталей двигуна внутрішнього згорання при несталіх режимах роботи з застосуванням методу планування експерименту, реалізація якого здійснювалась на програмованому стенді.

**Ключові слова:** двигун, режим роботи, стенд, кривошипно-шатунний механізм, знос, математична модель.

### **Вступ**

В експлуатаційних умовах довговічність поршневих двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) головним чином визначається зносом гільз циліндрів, поршневих кілець, вкладишів вальниць колінчастого і газорозподільного валів, ці деталі працюють в складних напружених умовах, і в агресивних середовищах.

Напруженість поверхонь деталей зумовлена режимами роботи двигуна, які в експлуатаційних умовах мають динамічні характеристики, визначаються сталими і