

УДК 629.4.02.001.76

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОПЕРЕДНЬО-СТИСКАЮЧОГО КОНСТРУКТИВУ В РАМИ НЕ ТЯГОВИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВРАХУВАННЯМ ДІЇ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ

Фомін О.В., Стецько А.А.

COMPUTER MODELING OF IMPLEMENTATION OF THE PRE-CONTAINING CONSTRUCTION IN AREA OF NON-TYPICAL RAILWAY VEHICLES WITH ACCOUNT OF VERTICAL LOADING

Fomin O., Stetsko A.

В статті запропоновані теоретичні положення щодо комп'ютерного моделювання впровадження попередньо-стискаючого конструктиву в рами не тягових залізничних транспортних засобів з врахуванням дії вертикальної навантаженості. Також в роботі наведено методичку визначення оптимальних параметрів попереднього натягу (стиску). Більш поглиблено проведено аналіз ефективності впровадження попередньо напружено-деформованого стану для вагона-цистерни, зокрема до рами. Проведено комплексні дослідження напружено-деформованого стану рами вагона-цистерни в сучасному програмному комплексі КОМПАС-3D V16.

Ключові слова: вантажні вагони, попередній напружений і/або деформований стан, комп'ютерне моделювання.

Вступ. Для економіки України вантажний вагон відіграє ключову роль як засіб транспортування вантажів, а також як кінцевий продукт машинобудування [1, 4-6]. Сьогодні в Україні функціонує більше 15 підприємств, які займаються будівництвом вантажних вагонів та понад 20 підприємств, які спеціалізуються на виготовленні окремих складових для них, на яких у сукупності працює близько 100 тис. працездатного населення.

Проте сьогодні питання оновлення вантажного рухомого складу залишається вкрай важким [2, 3, 8]. Потенціал України з продажу вантажних вагонів не реалізується, що перешкоджає надходженню коштів в бюджет країни. Причинами, які заважають отримувати позитивний економічний результат є наступні [1, 7, 9]: не реалізовані можливості із зниження тари вантажних вагонів та з підвищення вантажопідйомності; необґрунтовано дорогі матеріали та комплектуючі у конструкціях вантажних вагонів, що використовуються;

недостатньо ефективні схеми використання вантажного парку.

Наразі після тривалої експлуатації значна частина залізничних вагонів має ознаки фізичного зносу. Виникає необхідність підсилення конструкцій з причини фізичного старіння і під час технічного обслуговування та ремонту.

Проаналізувавши джерела [1, 3, 4, 10, 11] перспективними напрямками конструктивного вирішення цих проблем можуть бути:

- розроблення та впровадження в конструкції вантажних вагонів перспективних технічних рішень;
- розроблення методів пошуку та реалізації ресурсозберігаючих виконань конструкцій вантажних вагонів;
- пошук в конструкціях вантажних вагонів місць з недостатніми та надлишковими запасами міцності.

Істотний потенціал з впровадження може мати метод створення попередньо напруженого та/або деформованого стану конструкцій. Є результати успішного вирішення схожих проблем в інших галузях промисловості.

Постановка проблеми. Головним несучим елементом вантажних вагонів є рама [1, 3, 4, 7] в якості основних складових елементів якої можна виділити: хребтову, проміжні та поздовжні, шворневі, лобові (кінцеві) балки. Результати аналізу перспективних для вагонобудування профілів [1, 7] та також досвіду інших галузей машинобудування [7, 12, 13] вказали на доцільність розгляду питання впровадження труб круглого перерізу в якості несучих складових вагонів.

У роботі [12] представлені результати та особливості проведених досліджень з впровадження

труб круглого перерізу в якості складових елементів кузовів вантажних вагонів, які підтвердили правильність та перспективність такого напрямку.

Разом з тим одним з ефективних методів вдосконалення конструкції вантажних вагонів вважається створення попередніх напружень, що досягаються впровадженням попередньо-стискаючого конструктиву в рами не тягових залізничних транспортних засобів з врахуванням дії вертикальної навантаженості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Теоретико-експериментальним дослідженням міцності, стійкості та жорсткості попередньо-напружених сталевих конструкцій, присвячені роботи Р.В. Алдушкіна, Є.І. Белені, Д.Ф. Белого, В.В. Бірюлева, А.А. Васильєва, Ю.В. Гайдарова, І.Г. Клінова, В.Ф. Мареніна, Б.М. Второва, А.М. Петрова, М.М. Стрелецького, О.Л. Шагіна, М.Ю. Ізбаша їх учнів та інших учених. Проблема поліпшення несучих конструкцій рухомого складу займалася багатьох наукових шкіл та вчених, а саме В.А. Лазарян, В.М. Бубнов, Л.А. Манашкін, Є.П. Блохін, В.Д. Данович, О.М. Савчук, Г.І. Богомаз, Н.Ю. Науменко, В.М. Філіпов, В.Л. Горобець, О.М. Пшінько, Й.Г. Барбас, М.Б. Кельріх, М.І. Горбунов, В.П. Ткаченко, С.Ю. Сапронова, Ю.В. Дьомін, О.Л. Голубенко, С.В. Панченко, І.Е. Мартинов, С.В. Мямлін та інші.

Проте розгляд сучасного науково-технічного матеріалу з даного питання засвідчив відсутність змістовної інформації з розгляду такого завдання для залізничного транспорту в цілому, та нетягових залізничних транспортних засобів зокрема. Тому доцільно та актуально провести дослідження, які будуть спрямовані на розроблення методів створення керованого напруженого та/або деформованого стану конструкцій вантажних вагонів та їх елементів.

Мета статті. Представлення особливостей теоретичного обґрунтування щодо впровадження попередньо-стискаючого конструктиву в рами не тягових залізничних транспортних засобів з врахуванням дії вертикальної навантаженості.

Також в роботі наведено методика визначення оптимальних параметрів попереднього натягу (стиску). Більш поглиблено авторами було проведено аналіз ефективності впровадження попередньо напружено-деформованого стану для вагона-цистерни, зокрема до рами. Так були проведені комплексні дослідження напружено-деформованого стану рами вагона-цистерни в сучасному програмному комплексі КОМПАС-3D V16.

Результати досліджень. Сучасний парк вантажних вагонів характеризується різноманіттям їх типів і конструкцій, що викликано необхідністю задоволення різних вимог перевезення вантажів. Парк вантажних вагонів складається з напіввагонів, вагонів-платформ, вагонів-цистерн, вагонів-хоперів, критих, ізотермічних та вагонів спеціального призначення.

Кузова вантажних вагонів можна класифікувати за наступними ознаками в залежності від:

- роду перевезених вантажів;
- конструкції рами;
- матеріалу обшивки;
- конструкції елементів для завантаження і вивантаження вантажів.

Конструкція кузова того чи іншого типу вагона визначається його призначенням, тому кузова різних типів вагонів по своїй конструкції різні, але у всіх них багато спільного.

Рама є однією з частин вагона і слугує основою кузова. На рамі кріпиться автотягач і гальмівне обладнання вагона. Сама вона через п'ятники опирається на ходові частини і сприймає всі види навантажень, що діють на кузов. Рама повинна володіти достатньою міцністю і жорсткістю, бути простою за конструкцією, надійною в експлуатації, доступною для технічного огляду, саме тому вона виконується з найбільш міцних і матеріаломістких прокатних профілів. Для зазначених конструкцій вантажних вагонів (рис. 1), попередньо пророблені можливості впровадження ПНДС та запатентовані відповідні технічні рішення.

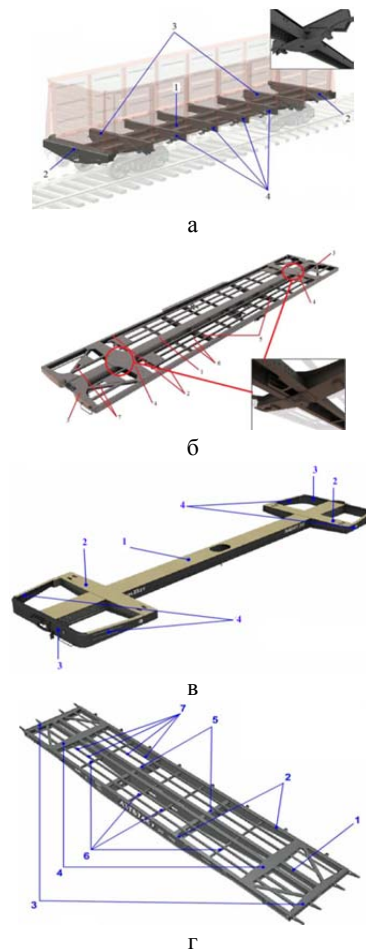


Рис. 1. Рами вагонів: а – напіввагон, б – критий вагон, в – вагон-цистерна, г – вагон-платформа

У всіх типів вагонів рама складається з трьох основних несучих балок:

1. хребтової;
2. бічних поздовжніх;
3. набору поперечних: кінцевих, шворневих та проміжних.

Хребтова балка слугує для кріплення на ній автотягачного та гальмівного обладнання. Через автотягачний пристрій вона передає поздовжні сили на інші вагони. Але оскільки вона жорстко пов'язана і з іншими елементами кузова, то поряд з поздовжніми сприймає також і вертикальні сили. Її виготовляють з міцних прокатних Z-подібних, швелерних і двотаврових профілів.

В даній статті наведено методику визначення оптимальних параметрів попереднього натягу (стиску). Більш поглиблено авторами було проведено аналіз ефективності впровадження попередньо напружено-деформованого стану для вагона-цистерни, зокрема до рами. Так були проведені комплексні дослідження напружено-деформованого стану рами вагона-цистерни в сучасному програмному комплексі КОМПАС-3D V16.

Застосування міцнісного аналізу методом скінчених елементів найбільш ефективно в разі аналізу складних конструкцій і схем навантажень, вирішення яких класичним методом може виявитися досить трудомістким.

Метод скінчених елементів (МСЕ, або FEM - Finite Element Method) в даний час широко використовується для вирішення різних завдань механіки деформованого твердого тіла, зокрема, для виконання експрес-розрахунків на міцність на етапі 3D - проектування конструкцій.

Суть методу полягає в розбитті твердотільної моделі на кінцеве число підобластей (елементів), складанні і подальшому вирішенні системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Більшість сучасних САД-систем має спеціальні інструменти, призначені для автоматизації подібних розрахунків.

Прикладна бібліотека APM FEM призначена для виконання експрес розрахунків твердотільних об'єктів в системі КОМПАС-3D і візуалізації результатів цих розрахунків.

До складу APM FEM входять інструменти підготовки деталей і збірок до розрахунку, завдання граничних умов і навантажень, а також вбудовані генератори кінцево-елементної (KE) сітки (як з постійним, так і зі змінним кроком) і постпроцесор. Цей функціональний набір дозволяє змоделювати твердотільний об'єкт і комплексно проаналізувати поведінку розрахункової моделі при різних впливах з точки зору статички, власних частот, стійкості і теплового навантаження.

Для створення кінцево-елементного представлення об'єкту в APM FEM передбачена функція генерації KE-сітки, при виклику якої відбувається відповідне розбиття об'єкта із заданим кроком. Якщо створена розрахункова модель має

складні нерівномірні геометричні переходи, то може бути проведено так зване адаптивне розбиття. Для того, щоб результат процесу був більш якісним, генератор KE-сітки автоматично (з врахуванням заданого користувачем максимального коефіцієнта згущення) варіює величину кроку розбиття.

Для виконання розрахунку побудовано в КОМПАС-3D V16 модель дослідного макету рами вагона-цистерни (масштаб 1:10) рис. 2.

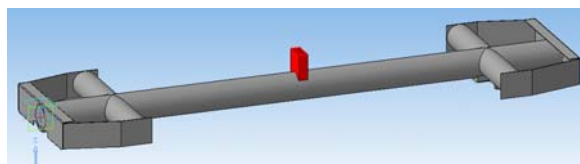


Рис. 2. Комп'ютерна модель дослідного макету рами вагона-цистерни

Розглядалося декілька варіантів прикладення вертикальних сил: одно-, дво- та триточково. Для прикладення сили стиску по торцям рами: 1/2 внутрішнього діаметра (по середині), 1/3, 1/5 та 1/7. Як показали результати комп'ютерного розрахунку найбільш вигідним є варіант, коли стиск хребтової рами (труби) відбувається по нижній кромці (рис. 3). Це можна пояснити тим, що рама (труба) буде найбільше вигинатися, ти самим волокна будуть мати максимальний розтяг, чим спричиняють найбільше сприйняття (погашення) дії вертикального зусилля.

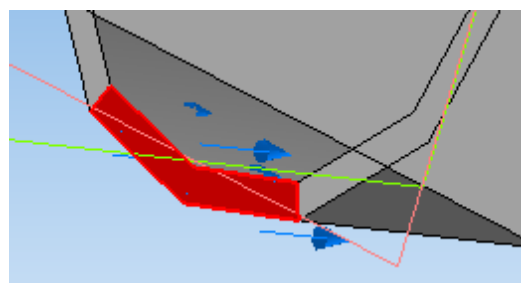


Рис. 3. Стиснення торців хребтової рами (труби) по нижній кромці

Саме для даного варіанта і проводилися розрахунки з визначення оптимальних параметрів попереднього натягу (стиску).

Запускалася прикладна бібліотека APM FEM, яка знаходиться в розділі «Расчет и построение» Менеджера бібліотек. На наступному етапі було встановлено закріплення рами (жорстке та рухоме закріплення).

Прикладено розподілене навантаження через адаптер до середини рами (рис. 2) (як найбільш небезпечного перерізу) хребтової балки (виконаної з труби зовнішнім діаметром 57 мм з товщиною стінки 3 мм). Для створення попередньо-напруженого стану рами, по її торцях до нижньої частини труби прикладалося розподілене навантаження. У випадку розрахунку рами без

попереднього напруження – величини сил прийняти рівними 0.

Для розбивки моделі на елементи виконувалася команда бібліотеки «Генерація КЭ сетки». Модель містить 115861 скінчений елемент та 38805 вузлів. Після побудови сітки виконувалась команда бібліотеки «Расчёт». В меню «Тип расчёта» вибирали «Статически расчёт». Для візуалізації та аналізу результатів розрахунку виконувалась команда бібліотеки «Карта результатов».

На першому етапі був проведений розрахунок рами без попереднього напруження, тобто величини сил прийняті рівними 0. Модель рами виконана зі сталі 20, для якої межа текучості 235 МПа (задається програмою самостійно). Необхідно було встановити при якій граничній величині сили, що діє вертикально вниз на модель буде забезпечена її міцність. Проведено розрахунки для величин сил: 13000, 13500, 14000 та 14500 Н. Результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків першого етапу

№	Величина попереднього стиснення, Н	Величина вертикального навантаження, Н	Величина напружень, МПа
1	0	13000	207,6
2	0	13500	215,6
3	0	14000	223,5
4	0	14500	231,6
5	0	15000	239,8

Дана вимога виконується при силі рівній 14000 Н (~1,4 т), в цьому випадку найбільша величина напружень рівна 223,5 МПа. Результати статичного розрахунку для оптимального варіанта наведено на рис. 4.

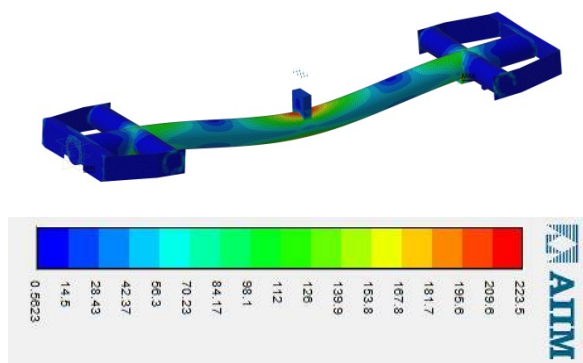


Рис. 4. Оптимальний розрахунковий режим/варіант 1 етапу

На другому етапі необхідно було встановити величину попереднього стиснення моделі рами, при якій спостерігаються найменші напруження в конструкції, за умови дії вертикальної сили величиною визначеною вище. Проведено розрахунки для величин сил: 500, 1000, 1500, 2000 та 2500 Н. Результати наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків другого етапу

№	Величина попереднього стиснення, Н	Величина вертикального навантаження, Н	Величина напружень, МПа
1	500	14000	221,8
2	1000	14000	219,6
3	1500	14000	217,7
4	2000	14000	218,2
5	2500	14000	219,2

Як видно з таблиці 2 оптимальною величиною стиснення є величина 1500 Н при якій напруження в конструкції є мінімальними, а саме 217,7 МПа. Результати статичного розрахунку для оптимального варіанта наведено на рис. 5.

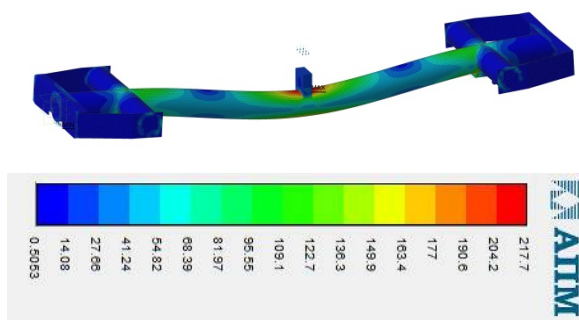


Рис. 5. Оптимальний розрахунковий режим/варіант 2 етапу

Додатково було встановлено, що при дії тільки сил стиснення без вертикального навантаження рівень напружень в конструкції буде рівним 18,2 МПа. Результати статичного розрахунку для даного варіанта наведено на рис. 6.

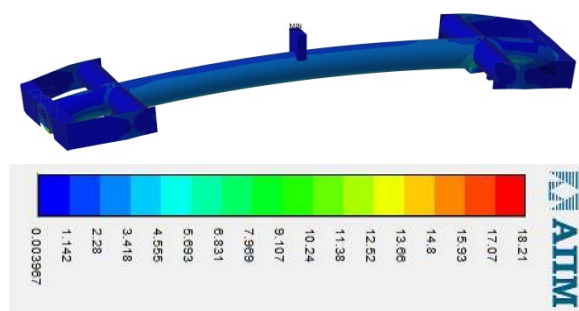


Рис. 6. Оптимальний розрахунковий режим/варіант 2 етапу

На третьому етапі необхідно було встановити величину вертикальної сили, що діє на модель рами сумісно з попереднім стисненням величиною 1500 Н, за умови забезпечення міцності конструкції. Проведено розрахунки для величин сил: 14000, 14200, 14400, 14500, 14600, 14700 та 14800 Н. Результати наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків третього етапу

№	Величина попереднього стиснення, Н	Величина вертикального навантаження, Н	Величина напружень, МПа
1	1500	14000	217,7
2	1500	14200	221,5
3	1500	14400	224,2
4	1500	14500	225,8
5	1500	14600	227,9
6	1500	14700	229,4
7	1500	14800	231

Як видно з таблиці 3 оптимальною величиною вертикальної сили є величина 14500 Н при якій напруження в конструкції є максимально наближеними до тих, що виникають в моделі рами до застосування попереднього напруження (225,8 МПа). Результати статичного розрахунку для оптимального варіанта наведено на рис. 7.

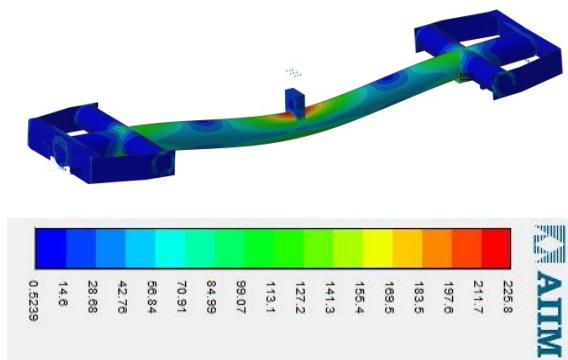


Рис. 7. Оптимальний розрахунковий режим/варіант 3 етапу

Проаналізувавши розглянуті вище розрахунки, можна зробити висновок про те, що застосування попереднього напруження позитивно впливає на несучу спроможність конструкції. Вантажопідйомність даної конструкції підвищується на 3,45 % або ж 5000 Н (~0,5 т), без використання будь-яких додаткових матеріалів. В межах реального вагона дасть достатньо вагомий приріст (~5 т), тим самим підвищуючи економічну ефективність його використання.

Точність розрахунків в АРМ FEM можна підвищити зменшенням розміру елементів сітки, проте, занадто дрібна сітка призводить до значного підвищення часу розрахунків.

Застосування міцнісного аналізу методом скінчених елементів найбільш ефективно в разі аналізу складних конструкцій і схем навантажень, вирішення яких класичним методом може виявитися досить трудомістким.

Наступним кроком в підтвердженні розрахованого вище є підготовка до експериментального випробування. Так вже розроблено методику випробування та створено

універсальний стенд для випробування рам вагон різного поперечного перерізу (рис. 8).

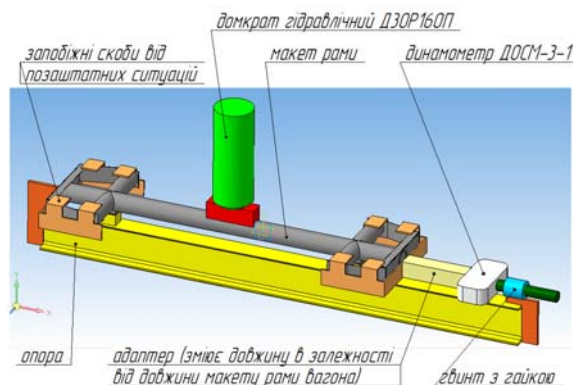


Рис. 8. 3D модель експериментального стенду

Висновки. Отримані та представлені у статті результати дозволяють стверджувати про ефективність впровадження запропонованого наукового підходу зі створення направлено поперечно напруженого і/або деформованого стану в рамках не тягових залізничних транспортних засобів з врахуванням дії вертикальної навантаженості.

Визначено оптимальні параметри попереднього натягу (стиску) для рами вагона-цистерни. Проведено комплексні дослідження напружено-деформованого стану рами вагона-цистерни в сучасному програмному комплексі КОМПАС-3D V16.

Л і т е р а т у р а

1. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
2. Panchenko, S.V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises / S.V. Panchenko, T.V. Butko, A.V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovi Visnyk. – 2016. – Vol. 2. – P. 93–99.
3. Fomin, O.V. Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. 2015, Issue 2, p.68-76.
4. Lovska, A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision / A. A. Lovska, A. Rybin. – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 3 – p. 4–8.
5. Фомін, О.В. Аналіз конструктивних складових вантажних вагонів для створення спрямованого напружено-деформованого стану [Текст] / О.В. Фомін, А.А. Стецько // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 31. – К.: ДЕТУТ, 2018. – С. 148-158.
6. Тартаковский, Э.Д. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: монография / Э.Д. Тартаковский, С.Г. Грищенко,

- Ю.Е. Калабухин, А.П. Фалендыш. – Луганск: Ноулідж, 2011. – 173 с.
7. Фомін, О.В. Розподілене зовнішнє поверхнєве зміцнення вагонних конструкцій методом навивання [Текст] / О.В. Фомін, А.А. Стецько, В.Є. Осьмак // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2017. – № 2 (68). – С. 156-165.
 8. Mohyla, V. The use of biofuel on the railway transport / V. Mohyla, I. Vasyliiev, E. Nozhenko // Int. Sci. J. "Transport Problems". – Gliwice, Volume 7, Issue 1, 2012. – P. 21 – 26.
 9. Фомін, О.В. Можливості застосування попередньо напружених конструкцій в залізничному машинобудуванні / О.В. Фомін, М.І. Горбунов, А.А. Стецько, В.В. Коваленко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2016. – Вип. 29. – С. 37-53.
 10. Gorbunov, N. Method of determining the parameters of improved railway brake equipment / N. Gorbunov, E. Kravchenko, O. Prosvirova, O. Nozgenko, M. Kovtanets, S. Mokrousov, S. Kara // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2015, Vol. 15, No.2, 33-38.
 11. Фомін, О.В. Систематизація конструктивно-технологічного впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових вантажних вагонів за критерієм діючих навантажень на етапах життєвого циклу [Текст] / О.В. Фомін, А.А. Стецько, В.В. Коваленко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. №4 (234) – Северодонецьк – 2017. – С. 219-226.
 12. Ткаченко, О.А. Основы проектирования металлических конструкций: курс лекций. В 3 ч. Ч. 1. / О.А. Ткаченко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. – 116 с.
 13. Айнабеков, А.И. Экспериментальный анализ колебаний предварительно напряженных магистральных трубопроводов / А.И. Айнабеков, У.С. Сулейменов, К.В. Аврамов, А.Б. Молдагалиев, М.А. Камбаров, Т.Т. Серикбаев, Х.А. Абшенов // Проблемы машиностроения. – 2016. – Т. 19, № 1. – С. 21-27.
 14. // Scientific Bulletin of National Mining University . 2015 (2). P. 68-76.
 4. Lovska A., Rybin A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016, no. 3, pp. 4–8.
 5. Fomin, O.V., Stetsko A.A. Analiz konstruktyvnykh skladovykh vantazhnykh vahoniv dlya stvorennya spryamovanoho napruzhenno-deformovanoho stanu. Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohiy Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiy». – Vyp. 31. – K.: DETUT, 2018. – P. 148-158.
 6. Tartakovskij E.D., Grishhenko S.G., Kalabuhin Yu.Ye., Falendysh A.P. Metody ocenki zhiznennogo cikla tjavogogo podvizhnogo sostava zheleznyh dorog: monografija [Methods for evaluation of traction rolling stock of the life cycle: a monograph]. Lugansk, Noulidzh Publ., 2006, 173 p.
 7. Fomin, O.V., Stetsko, A.A., Os'mak, V.Y. Rozpodilene zovnishnye poverkhneve zmitsnennya vahonnykh konstruksiy metodom navyvannya. Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu. – 2017. – № 2 (68). – P. 156-165.
 8. Mohyla V., Vasyliiev I., Nozhenko E. The use of biofuel on the railway transport. Int. Sci. J. "Transport Problems". – Gliwice, Volume 7, Issue 1, 2012. – P. 21 – 26.
 9. Fomin, O.V., Horbunov M.I., Stetsko A.A., Kovalenko V.V. Mozhlyvosti zastosuvannya poperedn'o napruzhenykh konstruksiy v zaliznychnomu mashynobuduvanni. Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho ekonomiko-tekhnolohichnoho universytetu transportu Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiy». – Kyviv: DETUT, 2016. – Vyp. 29. – P. 37-53.
 10. Gorbunov, N., Kravchenko E., Prosvirova O., Nozgenko O., Kovtanets M., Mokrousov S., Kara S. Method of determining the parameters of improved railway brake equipment. TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2015, Vol. 15, No.2, 33-38.
 11. Fomin, O.V., Stetsko, A.A., Kovalenko, V.V. Systematyzatsiya konstruktyvno-tekhnolohichnoho vprovadzheniya poperedn'o napruzhenykh i/abo deformovanykh skladovykh vantazhnykh vahoniv za kryteriyem diyuchykh navantazhen' na etapakh zhyttyevoho tsyклу. Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni V. Dalya. №4 (234) – Syeverodonets'k – 2017. – P. 219-226.
 12. Tkachenko, A.A. Osnovy proektirovanija metallicheskih konstruksij [Fundamentals of Designing metallis structures]: Lectures. At 3 hours. Part 1. / A.A. Tkachenko // – Khabarovsk: Publishing House DVHUPS, 2004. – 116 p.
 13. Aynabekov, A.I., Suleymenov, U.S., Avramov K.V., Moldagaliev A.B., Kambarov M.A., Serikbaev T.T., Abshenov, Kh.A. Experimental analysis of vibrations of prestressed main pipelines. Problemy mashinostroeniya, 2016, vol. 19, no. 1, pp. 21-27.

References

Фомин А.В., Стецко А.А. Компьютерное моделирование внедрения предварительного-сжимающего конструктива в рамы не тяговых железнодорожных транспортных средств с учетом действия вертикальной нагруженности

В статье предложены теоретические положения по компьютерному моделированию внедрения предварительно давящего конструктива в рамы не тяговых железнодорожных транспортных средств с учетом действия вертикальной нагруженности. Также в работе приведена методика определения оптимальных параметров предварительного натяжения (сжатия). Более углубленно проведен анализ эффективности внедрения предварительно напряженного деформированного состояния для вагона-цистерны, в частности к раме. Проведены комплексные исследования напряженно-деформированного состояния рамы вагона-цистерны в современном программном комплексе КОМПАС-3D V16.

Ключевые слова: грузовые вагоны, предварительный напряжений и/или деформированное состояние, компьютерное моделирование.

Fomin O., Stetsko A. Computer modeling of implementation of the pre-containing construction in area of non-typical railway vehicles with account of vertical loading.

The article proposes concerning the computer modeling of the introduction of pre-compression constructs in the frame of non-traction railway vehicles with the consideration of the effect of vertical loading are proposed. Also in work is given the method of determining the optimal parameters of the previous tension (compression). The analysis of the effectiveness of the introduction of a pre-stressed-deformed state for a tank-wagon, in particular a frame, was carried out more deeply. Complex researches of the stress-strain state of the tank-tank frame in the modern software complex KOMPAS-3D V16 are carried out.

Keywords: freight wagons, previous tense and / or deformed state, computer simulation.

Фомін О.В. – д.т.н., професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій Київський інститут залізничного транспорту, м. Київ, e-mail: fomin1985@list.ru.

Стецько А.А. – старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій Київський інститут залізничного транспорту, м. Київ, e-mail: stetsko.anton@mail.ru.

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 20.03.2018.