



Кельріх М. Б.,
Фомін О. В.

ВПРОВАДЖЕННЯ КРУГЛИХ ТРУБ В НЕСУЧІ СИСТЕМИ КРИТИХ ВАГОНІВ З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ РАЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ

В роботі представлено особливості та результати дослідження з впровадження круглих труб у несучі системи критих вагонів на основі розробленої нової методології. Застосування такої методології дозволяє забезпечити мінімальну матеріалоемність впроваджуваних елементів при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності за рахунок забезпечення раціональних показників міцності.

Ключові слова: критий вагон, удосконалення несучої конструкції, впровадження круглих труб, раціональні показники міцності.

1. Вступ

Конкурентоздатність залізничного транспорту України безпосередньо залежить від технічного рівня його рухомого складу, який переважно сформовано вантажними вагонами. Одними із найпоширеніших та затребуваних вантажних вагонів є криті вагони, проте за даними Головного інформаційно-обчислювального центру Укрзалізниці їх сучасний парк більше ніж на 80 % укомплектовано морально та фізично застарілими зразками. Тому до пріоритетних напрямків розвитку залізничного транспорту віднесено необхідність оновлення вітчизняного парку критих вагонів їх зразками з конкурентоздатним рівнем техніко-економічних показників.

Розроблення та впровадження у виробництво конкурентоздатних моделей критих вагонів є складним науково-практичним завданням. Вирішення такого завдання обумовлює необхідність та актуальність розроблення різних варіантів технічних рішень для їх удосконалення, а також проведення аналізу їх працездатності і ефективності впровадження.

2. Аналіз останніх публікацій і постановка проблеми

У ході виконання робіт з пошуку альтернативних рішень з удосконалення конструкцій вантажних вагонів було проаналізовано накопичений досвід вирішення аналогічних питань у інших видах транспортного машинобудування [1–3]. Результати аналізу вказали на перспективність відшукування альтернативних виконань несучих систем вантажних вагонів із круглих труб [4].

Успішне розв'язання зазначеного завдання можливо лише на основі розроблення та застосування відповідної методології їх проектування, застосування якої дозволить розробити та впровадити до їх конструкцій перспективні технічні рішення з максимальною ефективністю, проте аналіз чисельної наукової та довідкової літератури з досліджуваних питань засвідчив відсутність

відповідних змістовних розробок. Тому було запропоновано нову методологію проектування несучих систем вантажних вагонів [5, 6] та комп'ютерні засоби для автоматизації включених процедур.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — несучі системи критих вагонів, методологія впровадження до їх складу перспективних профілів.

Метою дослідження є розгляд можливості та доцільності впровадження круглих труб у несучі системи критих вагонів на основі запропонованої методології, що дозволяє забезпечити мінімальну матеріалоемність впроваджуваних елементів, за рахунок відшукання раціональних геометричних параметрів профілю, при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні задачі:

- 1) розроблена просторова комп'ютерна модель [7] вагону-аналогу моделі 11-217 (матеріал несучих елементів — сталь 09Г2С 345 класу міцності) та на її основі скінчено-елементна модель;
- 2) проаналізована несуча конструкція вагону-аналогу на міцність у відповідності до [8] з метою виявлення надлишкових запасів міцності [1];
- 3) визначені допустимі показники міцності конструктивних несучих елементів, до яких доцільне впровадження круглих труб;
- 4) підібрані за критерієм мінімальної матеріалоемності із сортаменту [9] труби з показниками, які задовольняють умовам міцності;
- 5) розроблена просторова комп'ютерна модель критого вагону (матеріал несучих елементів — сталь 09Г2С 345 класу міцності) з несучою системою із круглих труб та на її основі скінчено-елементна модель;
- 6) проведено розрахункові комп'ютерні дослідження нової конструкції критого вагону на міцність, втомну міцність, розрахунковий строк служби [10, 11], а також перевірено міцність зварювальних з'єднань.

4. Особливості та результати проведеного дослідження з впровадження круглих труб до несучих систем критих вагонів

З метою дослідження напружено-деформованого стану несучої конструкції кузову критого вагону моделі 11-217 (ОАО «Алтайвагон») побудовано його просторову модель (рис. 1, а) в середовищі програмного забезпечення SolidWorks, а потім скінчено-елементну модель (рис. 1, б). При побудові моделі враховано елементи кузова, які жорстко взаємодіють між собою, тобто в моделі до уваги не приймалися пересувні самоущільнені двері. Правильність прийнятого рішення підтверджується позитивним досвідом проектування та випробувань ПАТ «КВБЗ».

Закріплення моделі здійснювалося за п'ятники та ковзуни шворневих балок несучої конструкції кузова.

При дослідженні міцності кузова критого вагону в умовах навантаження, яке відповідає режиму «ударстиснення» (рис. 1, в) повздожне зусилля прикладалося до заднього упору автозчепу, а з іншого боку кузова здійснювалося закріплення за цей же елемент автозчепного обладнання. При моделюванні міцності кузова в умовах режиму «розтягнення-ривок» повздожне зусилля прикладалося до передніх упорів з одного кінця вагону, а з іншого здійснювалося закріплення за передні упори.

Результати розрахунку на міцність несучої конструкції кузова критого вагону при I розрахунковому режимі (удар) наведені на рис. 1, г.

Результати дослідження напружено-деформованих станів несучої системи критого вагону, обраного як

прототип за I та III розрахунковими режимами, наведено у табл. 1.

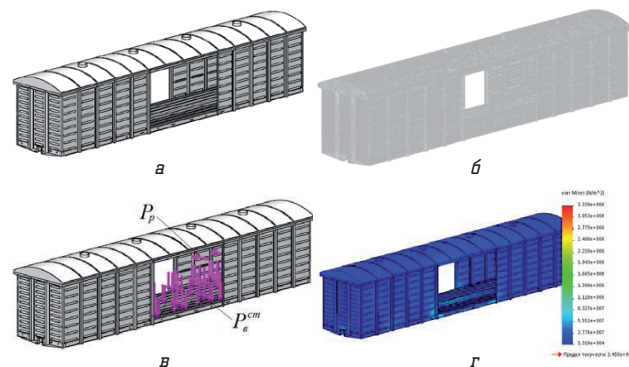


Рис. 1. Комп'ютерне моделювання конструкції критого вагону моделі 11-217: а — просторова модель; б — скінченно-елементна модель; в — прикладання зусиль; г — напружений стан при I розрахунковому режимі (удар)

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що в обраній для дослідження конструкції критих вагонів є надлишкові запаси міцності, за рахунок використання яких можливо досягти раціональних показників матеріалоемності. Основні матеріали проведення відповідних робіт із впровадженням круглих труб представлені у табл. 2.

З урахуванням даних, наведених у табл. 2 побудовано просторові моделі несучих конструкцій критих вагонів із круглих труб з раціональними параметрами елементів конструкції, особливості побудови яких та етапів розрахунків представлено на рис. 2.

Таблиця 1

Результати дослідження напружено-деформованих станів несучої системи критого вагону обраного як прототип та нової із труб

Конструкція вагону	Елементи несучої системи вагону	I розрахунковий режим				III розрахунковий режим			
		Отримані максимальні еквівалентні напруження, МПа	Допустимі напруження, МПа	Максимальні переміщення, мм	Максимальні відносні деформації, 10 ⁻³	Отримані максимальні еквівалентні напруження, МПа	Допустимі напруження, МПа	Максимальні переміщення, мм	Максимальні відносні деформації, 10 ⁻³
Прототип	Балки хребтова та шворневі	296	310,5	10	4,04	159	210	9	5
	Несучі елементи, окрім балок хребтової та шворневих	164	327,8	4	3	112	220	5	4
Конструкція з труб	Балки хребтова та шворневі	307	310,5	11	4,5	201	210	10	6
	Несучі елементи, окрім балок хребтової та шворневих	298	327,8	5	3,7	193	220	7	5

Таблиця 2

Визначення раціональних параметрів перерізів елементів несучої конструкції кузова критого вагону моделі 11-217 із круглих труб

Елемент рами	Маса 1 м, кг	Довжина, м	l	I _x , см ⁴	I _y , см ⁴	W _x , см ³	W _y , см ³	[W _x], см ³	[W _y], см ³	Оптимальні параметри труби			Маса 1 м круглої труби, кг
										W, см ³	D, мм	S, мм	
Хребтова балка	125,67	13,87	1,05	6144,75	57796,39	202,13	3634,99	192,5	3461,9	3494,94/3532,3	530/630	17,5/12	221,18/182,89
Бокова балка	18,4	13,87	6,8	89,98	1226,47	23,68	122,65	3,5	18,04	18,59	76,0	5,0	8,75
Проміжна поперечна балка	9,75	2,79	6,9	83,26	211,04	20,82	42,21	3,02	6,12	6,53	57,0	3,0	4,0
Повздожня балка	9,75	10,0	8,3	83,26	211,04	20,82	42,21	2,51	5,1	6,53	57,0	3,0	4,0
Основна поперечна балка	28,53	2,79	6,5	649,89	1248,88	56,025	249,8	8,62	38,43	39,83	108,0	5,0	12,7

Закінчення табл. 2

Елемент рами	Маса 1 м, кг	Довжина, м	l	I_x , см ⁴	I_y , см ⁴	W_x , см ³	W_y , см ³	$[W_x]$, см ³	$[W_y]$, см ³	Оптимальні параметри труби			Маса 1 м круглої труби, кг
										W , см ³	D , мм	S , мм	
Розкіс	12,3	1,82	7,8	52,45	486,66	18,09	69,52	2,32	8,91	9,38	63,5	3,5	5,18
Коротка балка консолі	9,75	1,265	12,1	83,26	211,04	20,82	42,1	1,72	3,5	3,53	57,0	3,0	4,0
Довга балка консолі	9,75	1,885	4,7	83,26	211,04	20,82	42,1	4,43	8,96	9,38	63,5	3,5	5,18
Кінцева балка	16,24	2,79	2,03	188,2	1003,43	27,28	100,34	13,44	49,43	51,23	127,0	4,5	13,59
Стойка кузова	19,52	2,737	6,86	783,14	1198,42	68,1	191,75	9,93	27,95	28,38	89,0	5,5	11,33
Стойка двері	17,91	2,737	7,03	46,19	395,34	9,24	52,7	1,31	7,5	7,7	60,0	3,2	4,48
Кутова стойка	7,21	2,737	29,2	23,17	91,45	5,8	22,86	0,2	0,8	6,53	57,0	3,0	4,0
Стойка торцевої стіни	19,52	2,737	4,6	783,14	1198,42	68,1	191,75	14,8	41,68	44,7	114,0	5,0	13,44
Дуга даху	3,6	19,8	86,2	12,7	28,3	5,08	9,43	0,06	0,1	6,53	57,0	3,0	4,0

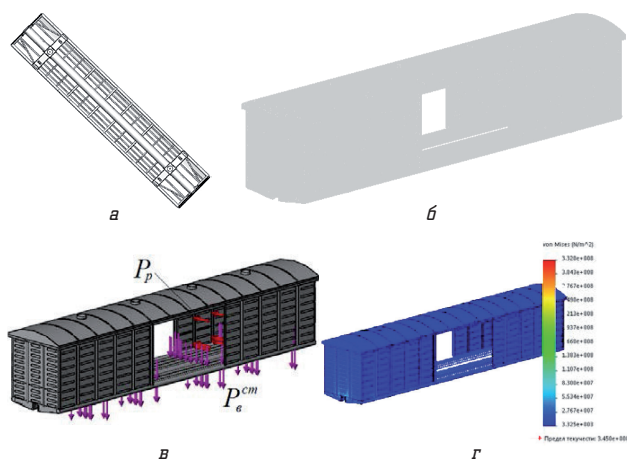


Рис. 2. Комп'ютерне моделювання конструкції критого вагону з несучою системою із круглих труб: *а* — моделі прототипів критих вагонів (700 кг та 1100 кг); *б* — скінченно-елементна модель; *в* — прикладання зусиль; *г* — напружений стан при I розрахунковому режимі (удар)

З метою дослідження на міцність несучої конструкції критого вагону хребтова балка якого складається з двох труб, проведені відповідні розрахунки методом скінченних елементів. Скінченно-елементна модель такого виконання має наступні характеристики: кількість елементів сітки складала 1650308, вузлів — 562599. Максимальний розмір елемента сітки дорівнює 80,0 мм, мінімальний — 16,0 мм, максимальне співвідношення боків елементів — 518,22, відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох — 35,8, більше десяти — 20,2. Мінімальна кількість елементів в колі — 22, співвідношення збільшення розміру елемента — 1,8, коефіцієнт спрощення моделі у зонах розміщення округлень та отворів складає 0,4.

Результати дослідження напружено-деформованих станів несучої системи критого вагону нової конструкції за I та III розрахунковими режимами також наведено у табл. 1.

5. Висновки

В результаті проведеного дослідження було з'ясовано, що впровадження круглих труб у несучі системи критих вагонів дозволить знизити їх матеріалоемність від 550

до 1200 кг в залежності від прийнятих конструкційно-параметричних особливостей при забезпеченні умов міцності та експлуатаційної надійності.

Результати комплексної теоретично-розрахункової перевірки комп'ютерним моделюванням міцності та експлуатаційної надійності удосконаленої конструкції критих вагонів вказали на її працездатність та ефективність впроваджених технічних рішень.

Література

1. Фомін, О. В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва [Текст]: монографія / О. В. Фомін. — Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. — 251 с.
2. Фомін, О. В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів [Текст] / О. В. Фомін // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. Наука та прогрес транспорту. — Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. — Вип. 6(54). — С. 146–153.
3. Fomin, O. V. Development and application of cataloging in structural design of freight car building [Text] / O. V. Fomin, O. V. Burlutsky, Yu. V. Fomina // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». — 2015. — № 2. — P. 250–256.
4. Fomin, O. V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars [Text] / O. V. Fomin // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». — 2014. — № 5. — P. 31–40.
5. Алямовский, А. А. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А. А. Алямовский // SolidWorks/COSMOSWorks 2006. Серия «Проектирование». — М.: ДМК, 2007. — 784 с.
6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) и изменения и дополнения [Текст]. — М.: ГосНИИВ — ВНИИЖТ, 1996. — 319 с.
7. ГОСТ Р54157-2010. Трубы стальные профильные для металлоконструкций. Технические условия [Текст]. — Действ. с 21.12.2010. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2010. — 92 с.
8. Устич, П. А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава [Текст] / П. А. Устич, В. А. Карпыч, М. Н. Овечников. — М.: ИГ «Вариант», 1999. — 415 с.
9. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества [Текст] / А. И. Половинкин. — М.: Машиностроение, 1988. — 368 с.
10. Кельріх, М. Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів [Текст] / М. Б. Кельріх, В. І. Мороз, О. В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. — Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2014. — № 2(210). — С. 94–103.

11. Макаренко, М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону [Текст] / М. В. Макаренко, М. Б. Кельріх, О. В. Фомін // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». — Київ: ДНДЦ УЗ, 2014. — № 5(107). — С. 47–59.

ВНЕДРЕНИЕ КРУГЛЫХ ТРУБ В НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ КРЫТЫХ ВАГОНОВ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ

В работе представлены особенности и результаты проведенного исследования по внедрению круглых труб в несущие системы крытых вагонов на основе разработанной новой методологии. Применение такой методологии позволяет обеспечить минимальную материалоемкость внедряемых элементов при выполнении условий прочности и эксплуатационной надежности за счет обеспечения рациональных показателей прочности.

Ключевые слова: крытый вагон, совершенствование несущей конструкции, внедрение круглых труб, рациональные показатели прочности.

Кельріх Михайло Борисович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри вагонів та вагонного господарства, Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, Україна.

Фомін Олексій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра вагонів та вагонного господарства, Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, Україна, e-mail: fomin1985@list.ru.

Кельрих Михаил Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой вагонов и вагонного хозяйства, Государственный экономико-технологический университет транспорта, Киев, Украина.

Фомин Алексей Викторович, кандидат технических наук, доцент, кафедра вагонов и вагонного хозяйства, Государственный экономико-технологический университет транспорта, Киев, Украина.

Kelrykh Michael, State Economy and Technology University of Transport, Kyiv, Ukraine.

Fomin Alexey, State Economy and Technology University of Transport, Kyiv, Ukraine, e-mail: fomin1985@list.ru

УДК 622.691.4

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51522

Джус А. П.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ РОЗВАНТАЖЕННЯ СУДЕН ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ СТИСНУТОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Розроблено рекомендації щодо облаштування розвантажувальних терміналів та режимів їх роботи при впровадженні початкових проектів морського транспортування стиснутого природного газу. Обґрунтовано доцільність спорудження двох віток з'єднувального газопроводу та використання їх як буферних ємностей. Створено умови для підвищення ефективності роботи обладнання для стиснення газу в процесі розвантаження транспортних засобів.

Ключові слова: стиснутий природний газ, розвантаження транспортних засобів, обладнання для стиснення газу, з'єднувальний газопровід.

1. Вступ

При освоєнні перспективних нафтогазоносних площ Чорного моря, потенційні ресурси яких знаходяться у значній кількості невеликих структур, можливим є застосування технології транспортування стиснутого природного газу для його збору з окремих свердловин, особливо на ранніх стадіях розробки родовищ за відсутності розгалуженої інфраструктури промислових газопроводів. З огляду на це актуальними є дослідження, що сприяють впровадженню технології в цілому та окремих процесів зокрема.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Щодо обсягів та віддалей транспортування стиснутого газу, з врахуванням наявності ряду перспективних нафтогазоносних площ у північно-західній частині Чорного моря (на прилеглому шельфі о. Зміїний), слід зауважити, що за результатами аналізу наявних на сьогодні досліджень економічної доцільності використання різних варіантів транспортування газу морськими

акваторіями транспортування газу на відстань 120 км в кількості 1 млрд. куб. м і менше знаходиться в області використання технології CNG (рис. 1) [1, 2].

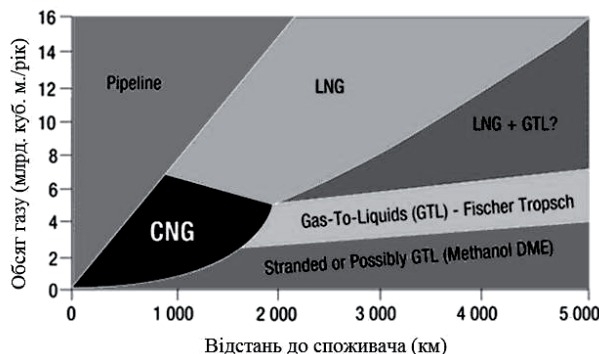


Рис. 1. Области використання технологій транспортування газу

Проектування морських транспортних засобів (суден CNG), покликаних обслуговувати офшорні родовища, здійснюється з урахуванням необхідності забезпечити