

УДК 629.463.001.63

### ВПРОВАДЖЕННЯ НАПІВТРУБ ЯК ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧИХ СИСТЕМ НАПІВВАГОНІВ З ГЛУХИМ КУЗОВОМ

Канд. техн. наук О.В. Фомін

### ВНЕДРЕНИЕ ПОЛУТРУБ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ СИСТЕМ ПОЛУВАГОНОВ С ГЛУХИМ КУЗОВОМ

Канд. техн. наук А.В. Фомин

### INTRODUCTION SEMIPIPES AS ELEMENTS OF BEARINGS SYSTEMS FREIGHT GONDOLAS WITH DEAF BASKET

Cand. of techn. sciences O. Fomin

*В статті подано особливості та результати проведених досліджень з впровадження напівтруб як несучих елементів залізничних напіввагонів з глухим кузовом. Наведені розроблені математичні моделі зміни основних показників напівтруб від варіювання їх геометричних параметрів. Визначені оптимальні геометричні параметри напівтруб як альтернативи до найбільш поширених існуючих виконань несучих елементів залізничних глуходонних напіввагонів.*

**Ключові слова:** напіввагони, несучі системи, впровадження напівтруб.

*В статье представлены особенности и результаты проведенных исследований по внедрению полутруб в качестве несущих элементов железнодорожных полувагонов с глухим кузовом. Приведены разработанные математические модели изменения основных показателей полутруб от варьирования их геометрических параметров. Определены оптимальные геометрические параметры полутруб как альтернативы к наиболее распространенным существующим исполнениям несущих элементов железнодорожных глуходонных полувагонов.*

**Ключевые слова:** полувагоны, несущие системы, внедрение полутруб.

*In the article features of the conducted researches are presented on introduction of semipipes as bearings elements freight gondolas with a deaf basket. The developed mathematical models of change basic indexes semipipes are resulted from varying of their geometrical parameters. The optimum geometrical*

*parameters of semipipes, as alternatives, are certain to the most widespread existent executions of bearings elements freight gondolas.*

*The results of the conducted researches confirm expedience of the use as elements the bearings systems of freight gondolas of semipipes. So introduction considered in the article as an example of technical decisions will allow to cut prime cost making and exploitation of railway freight gondolas, due to a decline them materialoemnosti, and the proper increase of carrying capacity, at the considerable improvement of descriptions durability and operating reliability.*

*The resulted materials are basis for the leadthrough subsequent research on realization of the important for the railway transport direction.*

**Keywords:** *freight gondolas, bearings the systems, introduction of semipipes.*

**Постановка проблеми і аналіз результатів останніх досліджень.** Важливу роль у розвитку економіки України відіграє ефективна робота залізничного транспорту, який виконує значний обсяг перевезень широкої номенклатури вантажів. При цьому ефективність роботи залізниць безпосередньо залежить від техніко-економічних та експлуатаційних показників рухомого складу, переважну більшість якого складає парк вантажних вагонів.

У нинішній час парк вантажних вагонів формується із різних їх типів, кожен з яких включає декілька десятків базових моделей. Багато років досліджень, збору даних з експлуатації та випробувань, які було виконано відповідними науково-дослідними та проектними організаціями, дали змогу створити значний науково-технічний заділ їх конструкцій та домогтися високого рівня техніко-економічних та експлуатаційних показників. Однак динамічність, багатоаспектність та суперечність вимог до вагонів з боку учасників їх життєвого циклу обумовлюють необхідність генерування нових їх конструкцій. Одним із напрямків вирішення такої проблеми є комплексне удосконалення несучих систем кузовів вантажних вагонів шляхом модернізації їх окремих складових. Необхідність та важливість розв'язання наведеної актуальної науково-прикладної проблеми зазначені і в основних положеннях таких Державних програм: Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, яку затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року №1259; Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року № 1555-р.;

Державної програми «Український вагон» (затверджена Міністерством інфраструктури України 04 лютого 2011 р.).

Перспективним напрямком досягнення поставленої мети є впровадження як несучих елементів кузовів вантажних вагонів профілів, які будуть забезпечувати зниження загальної матеріалоємності конструкції при виконанні умов міцності. Результати аналізу перспективних для вагонобудування профілів [1] та досвіду інших галузей машинобудування вказали на доцільність розгляду питань впровадження труб як несучих складових вагонів. При цьому у попередніх роботах [1-3] розглянуто можливість впровадження труб круглого (рис. 1, а) та прямокутного (рис. 1, б) перерізів. Результати цих робіт вказали на перспективність та доцільність розвитку такого напрямку. Наступним запланованим кроком вирішення питань впровадження труб як несучих складових вагонів є дослідження можливості впровадження напівтруб (рис. 1, в).

При розгляді можливості застосування напівтруб обрано для дослідження можливість їх впровадження замість поширених виконань несучих елементів напіввагонів з глухим кузовом. Такий вибір пояснюється тим, що на сьогодні є гостра необхідність в оновленні парків напіввагонів країн СНД, які сформовано із морально та фізично застарілих їх моделей. При цьому конструкційно більш доцільно застосовувати напівтруби у глухих кузовах вагонів. Вони є більш ефективними у порівнянні з універсальними вагонами. Вища ефективність пояснюється тим, що в спеціалізованих напіввагонах з глухим кузовом при перевезеннях скорочуються втрати сипкого вантажу (до 12%), знижуються капітальні витрати на виготовлення вагонів (до 15%), зменшуються собівартість перевезень (до 14%) при однаковій вісності і витратах на ремонт і технічне обслуговування кузовів в експлуатації.

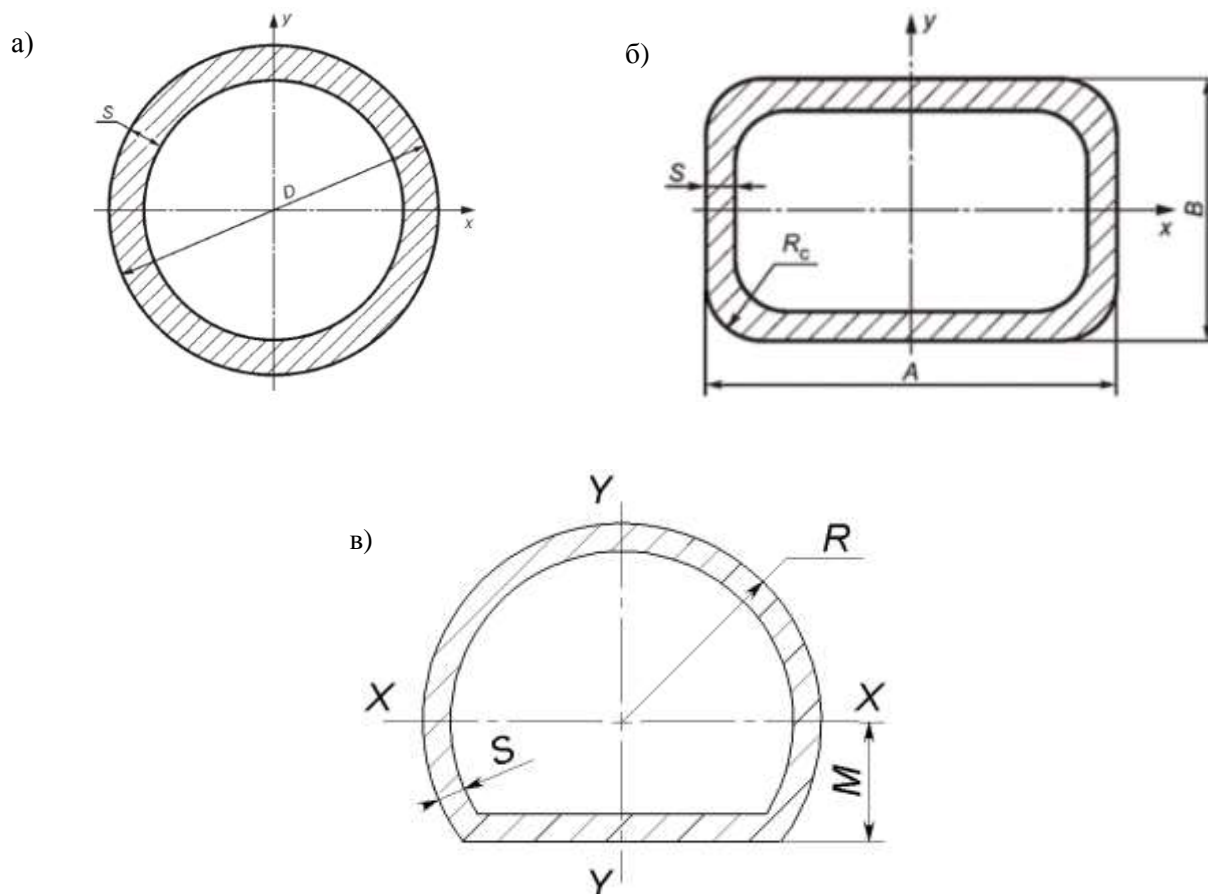


Рис. 1. Форми профілів труб: а – кругла труба; б – прямокутна труба; в – напівтруба

**Мета статті та викладення основного матеріалу.** В статті подано особливості та результати проведених досліджень з впровадження напівтруб як несучих елементів залізничних напіввагонів з глухим кузовом. Наведені розроблені математичні моделі зміни основних показників напівтруб від варіювання їх геометричних параметрів. Визначені оптимальні геометричні параметри напівтруб як альтернативи до найбільш поширених нинішніх виконань несучих елементів залізничних напіввагонів з глухим кузовом.

У загальному вигляді процедуру впровадження напівтруб можна представити такими етапами:

**1 етап** – визначення допустимих значень моментів опору перерізу впроваджуваної напівтруби, що проводиться одним із нижченаведених методів [1]. Метод перший включає визначення  $W_x$  та  $W_y$  існуючого виконання несучого елемента, на основі чого визначаються  $[W_x]$ ,  $[W_y]$ . Другий метод є більш

перспективним, тому що направлений на визначення та ефективне використання розрахункових резервів міцності з відповідним зниженням матеріалоемності досліджуваного елемента. Для реалізації другого напрямку необхідно комплексно досліджувати роботу елемента [4, 5], що розглядається у сприйнятті експлуатаційних навантажень (відповідно до I, II та III розрахункових режимів Норм [4]). Зазначене на сучасному рівні доцільно здійснювати шляхом дослідження відповідної адекватної розрахункової скінченно-елементної моделі кузова вагона. При виявленні розрахункових резервів міцності конструкції (визначаються як співвідношення отриманих максимальних експлуатаційних характеристик міцності з їх допустимими значеннями) розраховуються допустимі показники міцності  $[W_x]$ ,  $[W_y]$ .

**2 етап** – проведення робіт з визначення оптимальних (характеризуються мінімальною матеріалоемністю при виконанні умов

міцності) значень радіуса  $R^*$  (рис. 1, в), відстані  $M^*$  і товщини стінки  $S^*$  напівтруби в умовах конструкційних обмежень. На сьогодні для успішної реалізації таких робіт необхідно сумісно дослідити математичні моделі, які описують зміну моментів опору перерізу напівтруби  $W_x$ ,  $W_y$  та погонної її маси  $m_{\text{пог}}$  від варіювання  $R$ ,  $M$  та  $S$ . Для вирішення задач визначення математичних моделей та відшукання за їх допомогою оптимальних геометричних параметрів  $R^*$ ,  $M^*$  та  $S^*$

доцільно застосовувати розроблений програмно-обчислювальний комплекс визначення оптимальних характеристик складових елементів вантажних вагонів [6].

Так відповідно до вищезазначених етапів було визначено математичні моделі варіювання основних показників (моменти опору перерізу напівтруби  $W_x$ ,  $W_y$ , погонної її маси  $m_{\text{пог}}$ ) напівтруб від зміни їх геометричних параметрів (радіуса  $R$  (рис. 1, в), відстані  $M$  і товщини стінки  $S$ ):

$$m_{\text{пог}} = 0,2 + 0,1R - 0,1M + 0,1S - 0,1R^2 - 0,1M^2 - 2,9S^2 + 0,1RM + 4,1RS + 1,1MS; \quad (1)$$

$$W_x = 707,6 - 68,6R - 53,1M - 884,7S + 1,5R^2 + 0,1M^2 - 53,4S^2 + 2,3RM + 88,7RS + 53,2MS; \quad (2)$$

$$W_y = 552,6 - 66,9R - 18,6M - 722,7S + 1,6R^2 - 0,8M^2 - 80,8S^2 + 1,4RM + 92,1RS + 26,3MS. \quad (3)$$

Результати перевірки адекватності вищенаведених математичних моделей вказали на їх адекватність та можливість подальшого застосування.

Потім на основі розроблених математичних моделей (1 – 3) були визначені оптимальні значення геометричних параметрів для досліджуваних несучих елементів напіввагонів. Як такі елементи обрано:

- обв'язування верхнє, яке виконано із гнучого профілю прямокутного перерізу розміром  $140 \times 110 \times 7$  мм, звареного по перерізу у коробку;

- вертикальні стояки стін бокових і горизонтальні стояки стін торцевих, які виконано із профілю вагонного стояка (профіль ГОСТ 5257.6-90);

- хребтову балку, яку виконано з двох зварених між собою Z-подібних профілів № 31 (ГОСТ 5267.3);

- шворневу балку коробчастого перерізу;
- кінцеву балку коробчастого перерізу;
- проміжну балку із листового металу.

У таблиці наведені значення основних характеристик вищеперелічених елементів, які були визначені раніше [2, 3, 8]. Визначені оптимальні значення для аналогів із напівтруб існуючих виконань несучих елементів кузовів

глухонних напіввагонів також подані у таблиці. Для перевірки правильності оптимальних значень напівтруб були розроблені їх комп'ютерні моделі (приклад на рис. 2) та за їх допомогою визначені основні характеристики. Зіставлення отриманих характеристик з розрахунковими значеннями підтвердили правильність проведених розрахунків.

Для перевірки працездатності впроваджуваних технічних рішень була розроблена комп'ютерна геометрична просторова модель прототипу глухонного напіввагона (рис. 3). Результати аналізу розробленої моделі засвідчили доцільність проведених робіт та перспективність їх подальшого розгортання. Так, було з'ясовано, що впровадження розроблених рішень дозволить знизити тару напіввагона майже на 350 кг з відповідним підвищенням вантажопідйомності.

Запропоновані альтернативні виконання несучих елементів напіввагонів з глухим кузовом також можливо використовувати для відповідних несучих систем універсальних напіввагонів, звичайно, з урахуванням особливостей розвантаження.

## Рухомий склад залізниць

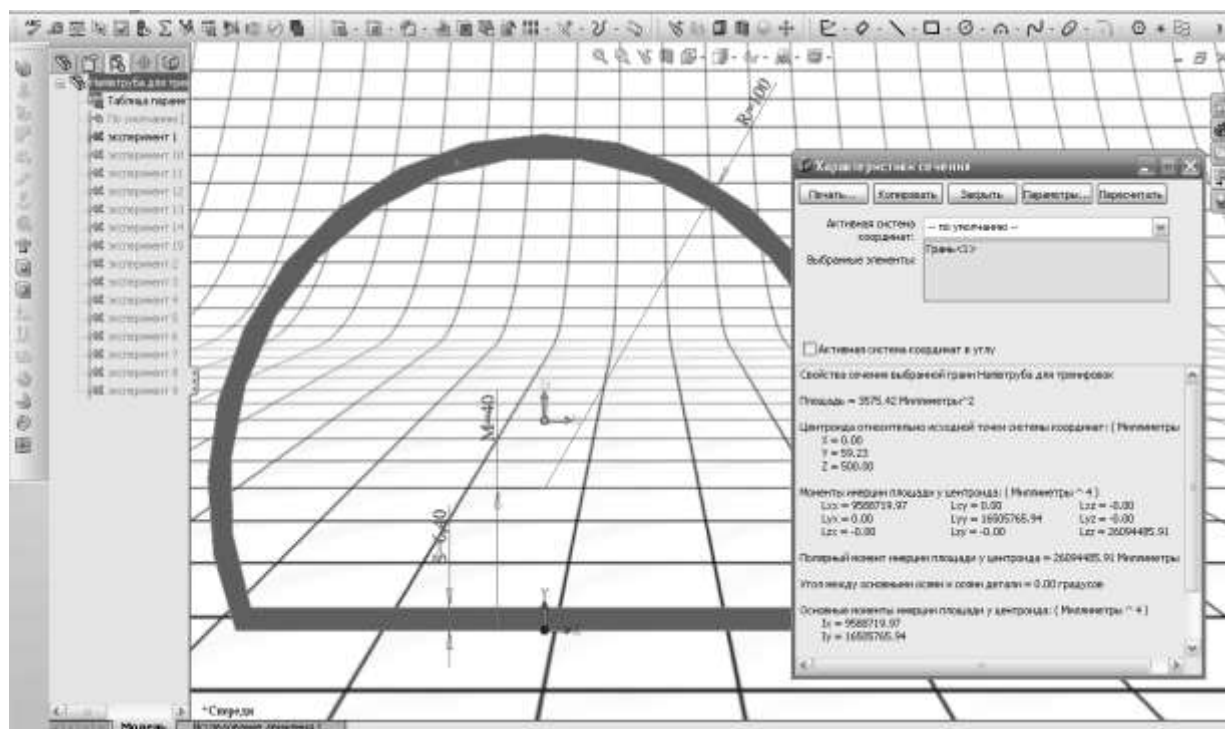


Рис. 2. Перевірка оптимального варіанта виконання вагонного стояка

Таблиця

№ п/п	Назва конструкційного елемента	Момент опору елемента, $см^3$	Момент опору елемента, $см^3$	Погонна маса, $кг/м\ пог.$	Загальна довжина на вагон, $м$
1	Існуюче виконання обв'язувань верхніх стін бокових і торцевих напіввагонів (профіль 140x110x7 мм)	$W_x = 104,6$	$W_y = 121,4$	24,7	31,3
2	Аналог із напівтруби (R=100 мм, M=4 мм, S=0,55 мм)	$W_x = 104,6$	$W_y = 143,9$	24,1	31,3
3	Вагонна стійка	$W_x = 116,4$	$W_y = 117,6$	28,7	45,5
4	Аналог із напівтруби (R=100 мм, M=40 мм, S=0,64 мм)	$W_x = 118,72$	$W_y = 165,06$	27,8	45,5
5	Два зварювальних між собою Z- подібні профілі № 31	$W_x = 1994,35$	$W_y = 1791,91$	133,04	12,67
6	Аналог із напівтруби (R=320 мм, M=300 мм, S=0,7 мм)	$W_x = 2144,52$	$W_y = 2178,29$	108,3	12,67
7	Кінцева балка (сер.)	$W_x = 619,74$	$W_y = 602,36$	64,39	6
8	Аналог із напівтруби (R=220 мм, M=200 мм, S=0,5 мм)	$W_x = 714,73$	$W_y = 734,07$	53,1	6
9	Шворнева балка (сер.)	$W_x = 1356,31$	$W_y = 445,44$	90,72	6
10	Аналог із напівтруби (R=260 мм, M=240 мм, S=0,7 мм)	$W_x = 1396,9$	$W_y = 1426,8$	87,7	6
11	Проміжна балка	$W_x = 332,89$	$W_y = 44,08$	36,89	24
12	Аналог із напівтруби (R=150 мм, M=145 мм, S=0,5 мм)	$W_x = 334$	$W_y = 336,1$	36,1	24

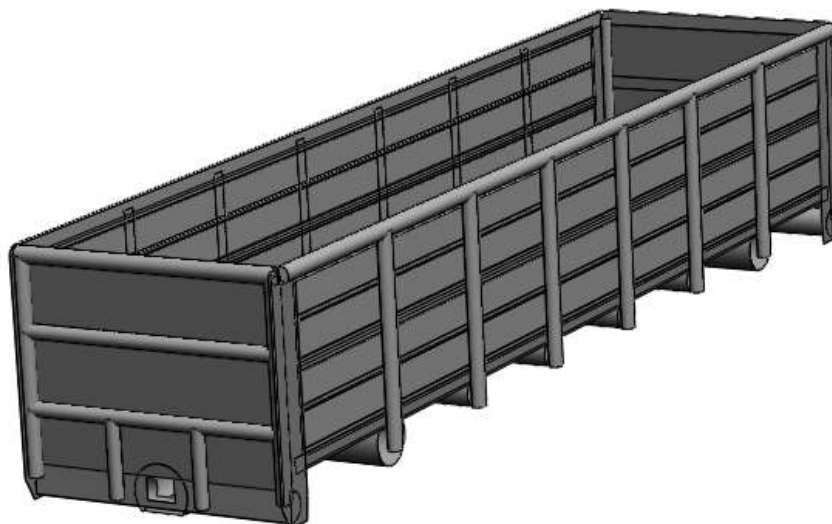


Рис. 3. Просторова геометрична комп'ютерна модель прототипу несучої системи залізничного напіввагона з глухим кузовом із напівтруб

**Висновки і рекомендації щодо подальшого використання.** Результати проведених та поданих у статті досліджень підтверджують доцільність використання напівтруб як елементів несучих систем залізничних спеціалізованих напіввагонів з глухим кузовом. Так, впровадження розглянутих у статті технічних рішень дозволить знизити собівартість виготовлення та експлуатації залізничного глухонного напіввагона за рахунок зниження їх

матеріалоємності і відповідного збільшення вантажопідйомності, при значному поліпшенні характеристик міцності та експлуатаційної надійності.

За результатами робіт подано заявку на винахід.

Наведені матеріали є основою для проведення подальших науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з реалізації розглянутого актуального та важливого для залізничного транспорту України напрямку.

### *Список використаних джерел*

1. Фомін, О.В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва [Текст]: монографія / О.В. Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 252 с.
2. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в якості несучих елементів кузовів вантажних вагонів [Текст] / О.В. Фомін, М.І. Горбунов, Р.Ю. Дьомін, В.В.Фомін, С.Д. Мокроусов // Международный информационный научно-технический журнал «Вагонный парк». – Харків, 2013. – № 8(77). – С. 4-7.
3. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в якості складових елементів рам вантажних вагонів [Текст] / О.В. Фомін // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків, 2013. – № 38. – С. 33-38.
4. Лукин, В.В. Конструирование и расчет вагонов [Текст]: учебник для вузов ж.-д. трансп. / В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов [и др.]; под общ. ред. В.В. Лукина. – М.: УМК МПС России, 2000. – 731 с.
5. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 354 с.
6. Котуранов, В.Н. Вагоны. Основы конструирования и экспертизы технических решений [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / А.П. Азовский, Е.В. Александров, В.В. Кобищанов [и др.]; под ред. В.Н. Котуранова. – М.: Маршрут, 2005. – 490 с.

## Рухомий склад залізниць

---

7. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 50875. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма для визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей» («КП ВОГП») [Текст] / Фомін О.В.; Зареєстр. 22.08.2013.

8. Фомін, О.В. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів [Текст] / О.В. Фомін [та ін.] // Залізничний транспорт України. – К., 2013. – Вип. № 8. – С. 52-54.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.Г. Пузир

---

Фомін Олексій Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри рухомого складу залізниць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту, E-mail: fomin1985@list.ru.

Oleksiy Fomin, cand. of techn. sciences, associate professor of department the "Rolling stock of railways" of the Donetsk institute of railway transport of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, E-mail: fomin1985@list.ru