

УДК 629.4.02.001.76

№ держреєстрації 0119U100437

Міністерство освіти і науки України  
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля  
(СНУ ім. В.Даля)  
93406, м. Сєверодонецьк, пр.Центральний, 59а; тел (06452)27805,  
(06452)44097

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи

СНУ ім. В.Даля



Целіщев О.Б.

**ЗВІТ**

**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**за проектом «Фундаментальні основи створення адекватно-спрямованого напружено-деформованого стану мульти-функціональних модулів вагонконструкцій з можливостями перспективного широкого машинобудівного застосування»  
(тема ДН 02-19, заключний)**

Начальник НДЧ, к.т.н., доц.

Бойко Г.О.

Керівник проєкту

докт. техн. наук, проф.

Горбунов М.І.

08.01.2019 по 23.02.2021

Керівник проєкту

канд.техн.наук, доц.

Могила В.І.

01.03.2021 по 31.12.2021

2021

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник проекту

Зав. каф. ЗАТ та ПТМ,

докт.техн.наук, професор

Горбунов М.І.

(вступ, розд.1,2,3)

Професор каф. ЗАТ та ПТМ,

канд. техн. наук, доцент

Могила В.І.

(розд. 3, висновки)

### Виконавці:

Професор ДУІТ,

докт. техн. наук, професор  
висновки)

Фомін О.В.

(вступ, розд. 1,2,3,

Доцент УкрДУЗТ,

Докт. техн. наук, доцент

Ловська А.О.

(розд. 2,3)

Завідувач кафедри ЗАТ та ПТМ,

канд.техн. наук

Климаш А.О.

(розд.3)

Ст.викладач УкрДУЗТ

Рибін А.В.

(розд.3)

Доцент кафедри МПМ,

канд. техн. наук, доцент

Сергієнко О.В.

(розд. 2)

Н.с. кафедри ЗАТ та ПТМ,  
PhD



Фоміна А.М.  
(розд. 2 ,3)

Н.с. кафедри ЗАТ та ПТМ,  
канд.техн.наук



Коваленко В.В.  
(розд. 2 ,3)

Аспірант ДУІТ



Прокопенко П.М.  
(розд. 3)

Аспірант каф. ЗАТ та ПТМ



Ковтанець Т.М.  
(розд. 3)

Аспірант каф. ЗАТ та ПТМ



Сова С.С.  
(розд. 1, 2)

Аспірант каф. ЗАТ та ПТМ



Литвиненко А.С.  
(розд. 1)

Н.с. кафедри ЗАТ та ПТМ



Балковська Г. В.  
(розд. 3)

Підписи авторів затверджую,  
керівник проєкту



Могила В. І.

## РЕФЕРАТ

Науковий звіт заключний: 305 с., 11 табл., 234 рис., 1 дод., 148 джерел.

МЕХАНІКА, ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, МАШИНОБУДУВАННЯ,  
ВАГОН, ДИНАМІКА, МІЦНІСТЬ, МОДЕЛЮВАННЯ,  
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ, МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНІ СКЛАДОВІ

Об'єкт дослідження – процеси пов'язані з сприйняттям, протидією навантаженням і перерозподілом виникаючих напружень несучих, огорожувальних та екіпажних систем модулів транспортних засобів на різних етапах життєвого циклу, на прикладі залізничних вагонів, і відповідні теоретичні положення та методи.

Предмет дослідження – закономірності функціонування, сприйняття, перерозподілу та протидії виробничим, експлуатаційним та ремонтним навантаженням несучих, огорожувальних та екіпажних систем модулів транспортних засобів, на прикладі мульти-функціональних модулів вагоноконструкцій з реалізацією мульти-матеріальних інновацій, їх концепти та обліки.

Використані теорії та методи при проведенні дослідження: теорія розвитку технічних систем та вирішення винахідницьких задач; методи системного підходу, теорія оптимізації; методи визначення динаміки і міцності машин; теорія багаторівневих ієрархічних систем, методи морфологічного та функціонального аналізу; методи математичного та комп'ютерного моделювання; метод скінченних елементів; метод математичного планування експерименту; сучасні методи експериментальних досліджень рухомого складу.

По результатам проведених досліджень авторами виконано публікації які наведено в переліку джерел посилання.

## **ABSTRACT**

Scientific report on intermediate results: 305 pages, 11 tables, 234 figures, 1 appendic, 148 sources.

TRANSPORT MECHANICS, RAILWAY TRANSPORT, FREIGHT WAGON TAKING INTO ACCOUNT OPERATING RELATIONS, OPEN FREIGHT WAGONS, DYNAMICS, MINISTRY, MINISTRY OF ENGINEERING.

The object of research - the processes associated with the perception, resistance to load and redistribution of emerging stresses of load-bearing, enclosing and crew systems of vehicle modules at different stages of the life cycle, such as railway wagons, and relevant theoretical positions and methods.

The subject of research is the laws of functioning, perception, redistribution and counteraction to production, operational and repair loads of bearing, fencing and crew systems of vehicle modules, on the example of multi-functional modules of wagon structures with implementation of multi-material innovations, their concepts and concepts.

Theories and methods used in the study: the theory of technical systems and solutions to inventive problems; methods of systems approach, optimization theory; methods for determining the dynamics and strength of machines; theory of multilevel hierarchical systems, methods of morphological and functional analysis; methods of mathematical and computer modeling; finite element method; method of mathematical planning of the experiment; modern methods of experimental research of rolling stock.

According to the results of the research, the authors made publications that are listed in the list of reference sources.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ПРИЧИНИ ПОЯВИ ЗБИТКОВИХ СИЛ ТА ДЕФОРМАЦІЙ НА ЕЛЕМЕНТИ КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПРИКЛАДІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ В КРИТИЧНИХ ЗОНАХ ТА ЧАСТИНАХ ЇХ МОДУЛІВ. ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА СИСТЕМНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ.....	14
1.1 Основні фактори, що впливають на міцність та надійність кузовів напіввагонів.....	14
1.2 Класифікація пошкоджень напіввагонів.....	20
1.3 Природа руйнування елементів конструкцій напіввагонів.....	27
1.4 Огляд головних підходів у теорії руйнування вагонних конструкцій.....	33
1.5 Конструктивний облік сучасного розвантажувального пристрою напіввагонів.....	38
1.6 Міцністний аналіз базових конструкцій кришок люків напіввагонів та їх складових.....	44
1.7 Фактори впливу на системну ефективність транспортного засобу.....	59
2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ АДАПТИВНОСТІ НЕСУЧИХ, ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ ТА ЕКІПАЖНИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПРИКЛАДІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ДО ДІЮЧИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ВИНИКАЮЧИХ НАПРУЖЕНЬ.....	83
2.1 Теоретичні аспекти створення мультифункціональних складових вантажних вагонів.....	83
2.2 Узагальнюючий універсальний математичний запис процедури	90

реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій.....	
2.3 Теоретичні аспекти створення корисно попередньо напружених і/або деформованих мультифункціональних складових вантажних вагонів.....	95
2.4 Формалізоване описання потенційних місць впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції.....	101
2.5 «І-АБО» – дерево кришки люка напіввагона.....	111
2.6 Структурно-функціональне описання конструкції кришки люка напіввагона.....	123
2.7 Математичне описання для визначення деформованого стану базових та перспективних кришок люків напіввагонів.....	140
2.8 Математичні залежності для визначення довговічності базової та перспективних конструкцій кришок люків.....	142
2.9 Запропоновані до врахування додаткові експлуатаційні режими навантаження кришки люка.....	145
<b>3 КОНЦЕПТИ ТА ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ АДЕКВАТНО-СПРЯМОВАНОГО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ВАГОНОКОНСТРУКЦІЙ З МОЖЛИВОСТЯМИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ШИРОКОГО МАШИНОБУДІВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ.....</b>	<b>152</b>
3.1 Мультифункціональний корисно попередньо напружений і / або деформований концепт критого вагона-хопера для перевезення цементу.....	152
3.2 Мультифункціональний корисно попередньо напружений і/або деформований концепт окатишевозу.....	154
3.3 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-платформи з листових ресор.....	155
3.4 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор.....	157

3.5	Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив з листових ресор.....	158
3.6	Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт напіввагона глуходонного з листових ресор.....	160
3.7	Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального критого вагона зі стійками з демпфуючими властивостями.....	161
3.8	Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального вагона-хопера для перевезення зерна зі стійками з демпфуючими властивостями.....	163
3.9	Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді листових ресор.....	164
3.10	Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді тарілчастих пружин.....	165
3.11	Мультифункціональний шарнірний концепт 4-х вісного думпкара.....	166
3.12	Мультифункціональний шарнірний концепт вагона-хопера для перевезення зерна.....	167
3.13	Мультифункціональний шарнірний концепт вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив.....	169
3.14	Мультифункціональний шарнірний концепт універсального вагона-платформи.....	170
3.15	Мультифункціональний шарнірний концепт універсального критого вагона.....	171
3.16	Мультифункціональний шарнірний концепт напіввагону глуходонного.....	174
3.17	Мультифункціональний шарнірний концепт залізничної цистерни.....	176
3.18	Мультиматеріальний концепт критого вагона.....	178
3.19	Мультиматеріальний концепт залізничної цистерни.....	179

3.20	Залізнична цистерна з мультиматеріальним концептом опор..	181
3.21	Комплексний розрахунок запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону.....	182
3.22	Експериментальні дослідження конструкції напіввагонів.....	217
3.23	Узагальнений аналіз напружено-деформованого стану інноваційних кришок люків.....	222
3.24	Спосіб виготовлення кришки люка напіввагона з зчленованих листів.....	227
3.25	Спосіб виготовлення кришки люка напіввагона з обв'язкою з одного профілю сформованого шляхом згинання.....	231
3.26	Спосіб зниження механічного зношення кришки люка напіввагона.....	234
3.27	Дослідження міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням при основних та додаткових експлуатаційних режимах навантаження.....	236
3.28	Дослідження міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв'язуванням при основних та додаткових експлуатаційних режимах навантаження.....	247
3.29	Дослідження міцності попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона при основних та додаткових експлуатаційних режимах навантаження.....	259
	ВИСНОВКИ.....	273
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	277
	ДОДАТОК А ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ – МІЦІСТНІ ВИПРОБУВАННЯ КРИШКИ ЛЮКА НАПІВВАГОНА.....	296

## ВСТУП

В результаті виконання фундаментального дослідження розроблені фундаментальні методологічні основи, теоретичні положення, концепти та проекти практичних рішень створення та реалізації у мульти-функціональних модулях транспортних засобів на прикладі вагоноконструкцій принципів та механізмів: попередньо напруженого і/або деформованого стану; перенесення та виключення критичних зон; місцевого підвищення жорсткості; застосування пружно-демпфуючих конструктивів та несівних оболонкових концептів; конструктивів без надлишкових зв'язків; мульти-функціональних та мульти-матеріальних концептів.

Для досягнення мети дослідження були вирішені наступні завдання:

- 1) Аналітичний аналіз світового досвіду вивчення принципів, механізмів та інноваційних рішень адекватності сприйняття критичних динамічних експлуатаційних навантажень і деформацій несучими, огорожувальними та екіпажними системами транспортними засобами;
- 2) Аналіз існуючих теоретичних положень, принципів та методів зі створення адекватно-спрямованого напружено-деформованого стану в несучих, огорожувальних та екіпажних системах транспортних засобів;
- 3) Експертне оцінювання виявлення причини появи збиткових сил та деформацій у елементах конструкцій вантажних вагонів в критичних зонах та частинах їх модулів (оцінювання ризиків появи несправностей та пошкоджень, виявлення зон збільшеної уваги та концентрації пошкоджуваності);
- 4) Прогнозування факторів впливу на системну ефективність вантажних вагонів;
- 5) Створення цільової функції системної ефективності розроблення та експлуатації вантажних вагонів нового покоління. Прогнозування факторів впливу на системну ефективність вантажних вагонів. Визначення головного критерію цільової функції;
- 6) Уточнення визначально-розрахункових параметрів елементів несучих, огорожувальних та екіпажних систем транспортних засобів, які

забезпечують досягнення цільової функції перерозподілу напружень (цілеспрямовано до рівнонапружень), перенесення критичних зон за рахунок попереднього адекватно-спрямованого напруженого і/або деформованого стану та місцевого підвищення жорсткості, застосування пружно-демпфуючих механізмів, несівних оболонкових концептів, конструктивів без збиткових зв'язків, мульти-функціональних та мульти-матеріальних концептів;

7) Створення математичних та аналітичних моделей, принципів функціонування елементів несучих, огорожувальних та екіпажних систем модулів транспортних засобів;

8) Розрахунок та варіювання змінними факторами несучих, огорожувальних та екіпажних систем модулів транспортних засобів на основі залежностей отриманих за допомогою математичних та аналітичних моделей, принципів функціонування;

9) Визначення тенденцій та розроблення принципів та конструктивів з індикаторами критичних станів і можливістю автономної самодіагностики;

10) Проведення комп'ютерно-математичних та прикладних експериментів отриманих теоретичних положень принципів та методів зі створення адекватно-спрямованого напружено-деформованого стану в несучих, огорожувальних та екіпажних системах транспортних засобів;

11) Розроблення концептів мульти-функціональних та мульти-матеріальних модулів вантажних вагонів;

12) Створення рекомендацій застосування нових теоретичних розробок та концептів для сприйняття динамічних додаткових складових напружень транспортних засобів.

При проведенні досліджень отримані наступні наукові та прикладні результати:

- створена номенклатура збиткових сил та деформацій в складових вантажних вагонів в критичних зонах та частинах їх модулів, у вигляді результатів аналізів напружено-деформованих станів типових і перспективних конструкцій вантажних вагонів з визначенням відповідних запасів міцності;

- встановлені причини появи збиткових сил та деформацій в елементах конструкцій транспортних засобів на прикладі вантажних вагонів в критичних

зонах та частинах їх модулів, шляхом створення відповідних структурно-функціональних описань і їх досліджень;

- зроблена оцінка ризиків появи несправностей та пошкоджень вантажних вагонів, за рахунок експертного оцінювання та визначення надлишкових зв'язків. Визначені зони збільшеної уваги та концентрації пошкоджуваності вантажних вагонів, шляхом структурно-параметричного аналізу їх модулів та складових;

- розроблений прогноз факторів впливу на системну ефективність транспортного засобу, шляхом визначення ступеня і ваги впливу різних техніко-економічних та експлуатаційних показників та відповідних параметрів;

- запропоновані мультифункціональні та мультиматеріальні концепти несучих, огорожувальних та екіпажних систем транспортних засобів на прикладі вантажних вагонів. Зокрема створені рівноміцнісні концепти, концепти з: місцевим підсиленням жорсткості, попереднім корисним напруженим і/або деформованим станом (створених методами: вигину в сторону протидії експлуатаційним навантаженням, поверхневого навивання, впровадження додаткового натягування тросів, і т.д.), оболонкові (пустотілих, зповнених корисною речовиною та типу «сендвіч») огорожувальні та екіпажні системи транспортних засобів на прикладі вантажних вагонів;

- розроблені конструктиви несучих, огорожувальних та екіпажних систем транспортних засобів на прикладі вантажних вагонів з реалізованими принципами індикації критичних станів і можливістю автономної самодіагностики;

- отримані результати комплексної експериментальної перевірки теоретичних залежностей та адекватності запропонованих мультифункціональних та мультиматеріальних концептів несучих, огорожувальних та екіпажних систем транспортних засобів на прикладі вантажних вагонів;

- отримані практичні рішення з реалізації мультифункціональних концептів (корисно попередньо-напружені і/або деформовані, пружно-дисипативні, нежорсткі шарнірні, мультиматеріальні) вантажних вагонів;

- отримані результати аналізу міцності за розрахунковими режимами базових та перспективних вагоноконструкцій;
- запропоновані способи (корисно попередньо-напружений і / або деформований, пружно-дисипативний, нежорсткий шарнірний, мультиматеріальний) зменшення виникаючих напружень в конструкціях вантажних вагонів при їх експлуатації;
- розроблені адекватні скінчено-елементні моделі перспективних конструкцій вантажних вагонів, які можуть бути використанні при проведенні відповідних інших теоретично-експериментальних досліджень;
- розроблені та запатентовані інноваційні вагоноконструкції з можливостями перспективного широкого машинобудівного застосування (патенти України: № № : 118481, 131586, 131587, 118389, 132816, 134400, 134401, 134913, 134983, 134986, 119563, 135552, 135562, 138422, 138162, 139756, 142162, 142163, 122775, 145579, 146060, 145805, 145833, 145475, 149159, 149160, 149177, 149178, 149179, 149234, 149249, 149250, 149252, 149363);
- запропоновані доповнення нормативної бази врахуванням додаткових розрахункових режимів;
- отримані результати корисні для впровадження на підприємствах та організаціях, діяльність яких пов'язана з дослідженнями, виготовленням та використанням вагоноконструкцій, а також інших засобів транспортного машинобудування. До того ж використання результатів буде корисним при навчанні різного рівня здобувачів;
- започатковані та науково обґрунтовані пропозиції зі створення мультифункціональних та мультиматеріальних засобів транспортного машинобудування на прикладах вагоноконструкцій, як зручних прикладів для вирішення відповідних загальнотранспортних науково-технічних проблем (тому що вони взаємодіють з іншими видами транспорту за рахунок їх інтероперабельності та інтермодальності).

# 1 ПРИЧИНИ ПОЯВИ ЗБИТКОВИХ СИЛ ТА ДЕФОРМАЦІЙ НА ЕЛЕМЕНТИ КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПРИКЛАДІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ В КРИТИЧНИХ ЗОНАХ ТА ЧАСТИНАХ ЇХ МОДУЛІВ. ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА СИСТЕМНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

## 1.1. Основні фактори, що впливають на міцність та надійність кузовів напіввагонів

На конструкційну міцність впливають такі чинники [7-9, 58]: конструктивні особливості деталі (форма та розміри); механізми різних видів руйнування деталі; стан матеріалу в поверхневому шарі деталі; процеси, що відбуваються в поверхневому шарі деталі й призводять до відмов при роботі.

Проведення аналізу фізичних основ виникнення відмов сучасних напіввагонів потребувало розгляду особливостей процесів зміни властивостей матеріалів вагонних конструкцій.

Загальноприйняті показники надійності можуть бути представлені як функції фізичних характеристик і параметрів елементів та швидкості їх зміни в залежності від різних факторів, що діють в експлуатації, при ремонті та зберіганні. Так, імовірність виникнення відмов унаслідок порушення механічної, електричної або теплової міцності описується відомою формулою:

$$q = \int_0^t \frac{\partial q}{\partial t} dt = \int_0^t \frac{\partial q}{\partial (\Delta x)} \cdot \frac{\partial (\Delta x)}{\partial t} dt, \quad (1.1)$$

де  $\Delta x$  — запас міцності (механічної, електричної або теплової);

$\frac{\partial (\Delta x)}{\partial t}$  — швидкість зміни запасу міцності внаслідок хімічних процесів,

що протікають усередині або на поверхні речовин;

$\frac{\partial q}{\partial(\Delta x)}$  — імовірнісні характеристики міцності матеріалів.

В загальному випадку необхідно розглядати механічну, електричну або теплову міцність матеріалу та дію різних факторів, що викликають зміну запасу міцності:

$$q = q_m + q_e + q_T . \quad (1.2)$$

З урахуванням того, що ймовірність безвідмовної роботи  $p$  визначається як  $P = 1 - Q$ , інтенсивність відмов розраховується за формулою:

$$\lambda(t) = -\frac{dp}{dt} \cdot \frac{1}{p} = \frac{dq}{dt} \cdot \frac{1}{p} . \quad (1.3)$$

Враховуючи рівність (1.2) загальна інтенсивність відмов визначається як сума інтенсивностей відмов під дією механічних, електричних і теплових факторів:

$$\lambda(t) = \lambda_m(t) + \lambda_e(t) + \lambda_T(t) . \quad (1.4)$$

У зв'язку з цим основним напрямком подальшого розвитку теорії та практики надійності є поєднання статистичних, імовірнісних методів аналізу надійності з глибоким проникненням у фізичну (або фізико-хімічну) сутність процесів, що протікають у виробі. Для цього необхідне встановлення безпосередньої залежності основних показників надійності від фізичних властивостей і параметрів матеріалів елементів, від фізико-хімічних процесів їх зміни та від інтенсивності експлуатаційних впливів з урахуванням випадкового характеру величин і процесів. Вивчення фізичних закономірностей зміни властивостей та параметрів елементів, кінетики процесів, які викликають ці зміни, видається особливо важливим, якщо мати на увазі, що суть проблеми надійності полягає, в кінцевому рахунку, в мінливості матеріалів елементів

конструкцій технічної системи в часі при заданих умовах експлуатації. Зміни параметрів і характеристик елементів кузова напіввагон в часі, які обумовлені відповідними фізико-хімічними процесами, що в них протікають, є найбільш загальною причиною відмов.

Виникнення відмови [109-114] являє собою, як правило, певний часовий процес, внутрішній механізм і швидкість якого визначаються структурою та властивостями матеріалу, напруженнями, викликаними експлуатаційними навантаженнями. Внаслідок цього, відмови, за їх фізичною природою, являють собою насамперед особливості фізико-хімічних процесів, що безпосередньо чи опосередковано впливають на працездатність елементів конструкції.

Такі особливості процесів можуть розділятися за певними ознаками: за типом (класом) матеріалу елемента; за місцем протікання процесів; за видом енергії, що визначає характер процесу; за типом експлуатаційного впливу; за характером (внутрішнім механізмом) процесу.

В більшості випадків матеріали елементів кузова це кристалічні тверді тіла. За найбільш суттєвим критерієм (для процесів, пов'язаних зі зміною властивостей природи сил зв'язку між атомами або іонами матеріалів) розрізняють три основні класи кристалічної структури твердих тіл: метали, іонні кристали, ковалентні кристали.

З позицій аналізу причин відмов та врахування взаємного впливу елементів слід розрізняти процеси, що відбуваються: в об'ємі матеріалу елементів конструкції (об'ємні); на поверхнях елементів конструкції (поверхневі); у з'єднаннях деталей (нерухомих і рухомих); в електричних ланцюгах.

Поряд з фізико-хімічними процесами, що відбуваються в об'ємі твердих тіл, у багатьох випадках на працездатність кузовів напіввагонів та виникнення відмов суттєво впливають процеси на поверхнях елементів конструкції (безпосередній вплив навколишнього або робочого агресивного середовища, вологи, забруднення тощо).

Об'ємні й поверхневі процеси, які сприяють порушенню працездатності та появи відмов, зазвичай виникають і розвиваються як локальні. До процесів, що протікають у місцях рухомих та нерухомих з'єднань деталей кузова й сприяють появі відмов, відносяться різні види механічного та електроерозійного зношування, контактної корозії тощо.

Зміна стану, властивостей і характеристик елементів конструкції обумовлена впливом енергії й полягає в перетвореннях одного виду енергії в іншій. Класифікація відмов і проведення аналізу процесів, що сприяють їх виникненню, потребує врахування наступних видів енергії: механічної – енергії окремих мікрочасток, що вільно рухаються в макросистемі, і енергії пружної деформації системи (тіла); теплової – енергії невпорядкованого, хаотичного руху більшого числа атомів, молекул; електричної (електростатичної й електродинамічної) – енергії взаємодії та руху електричних зарядів, заряджених частинок; хімічної – енергії електронів в атомі, що частково звільняється в результаті перебудови електронних оболонок атомів і молекул під час їх взаємодії в процесі хімічних реакцій; електромагнітної – повної енергії системи, речовини (енергії спокою та руху), що звільняється в процесі анігіляції (перетворення часток речовини в кванти поля).

Кожному виду енергії відповідає певний характер взаємодії між частинками й тілами у відповідних полях. Слід відзначити деякі особливості механічної й теплової енергії та відповідно їх взаємодії. Механічна взаємодія являє собою безпосередню взаємодію (шляхом дотику) між механічними системами. Механічна енергія, тобто енергія вільно рухомої частки або системи, може підтримуватися не лише механічними, але й електричними, магнітними, гравітаційними та іншими взаємодіями.

Теплова взаємодія являє собою механічну взаємодію між хаотично рухомими частками (молекулами, атомами). Проте, як результат сукупної дії багатьох частинок, вона відноситься до якісно іншого виду взаємодії, що здійснюється як середня статистична взаємодія систем, що характеризуються власним тепловим станом. Серед розглянутих видів енергії (які можуть

порівнюватися за впорядкованістю, тобто спрямованістю руху, концентрацією, здатністю до перетворення й швидкістю перетворення в інші види енергії, здатністю до накопичення) теплова енергія займає особливе місце. Усі види енергії можуть перетворюватися безпосередньо чи опосередковано в теплову енергію. Закономірності перетворення одних видів енергії в інші в найбільш загальній формі описуються основними законами термодинаміки й статистичної фізики. Вони встановлюють зв'язок між найважливішими характеристиками енергії речовини – термодинамічними функціями його стану: внутрішньою енергією  $E$ , вільною енергією  $G$ , ентальпією  $H$ , термодинамічним потенціалом  $\Phi$ , ентропією  $S$  :

$$G = E - T \cdot S; \quad (1.5)$$

$$H = E + P \cdot V; \quad (1.6)$$

$$\Phi = G + P \cdot V = H - T \cdot S, \quad (1.7)$$

де  $P$ ,  $V$ ,  $T$  – відповідно тиск, об'єм і абсолютна температура системи.

Багато фізико-хімічних процесів, пов'язаних з виникненням відмов, є термічно активними і можуть протікати лише за певного рівня теплової енергії. Причому інтенсивність процесів збільшується при нагріванні системи. Теплові процеси відіграють значну, а іноді й вирішальну роль у зміні властивостей і характеристик матеріалів елементів конструкції, їх руйнуванні та старінні.

В експлуатації напіввагонів виникають фактори, які призводять до поступових трансформаційних змін характеристик і параметрів їх елементів конструкції. При досягненні критичного рівня значень таких характеристик і параметрів може відбутися відмова елемента.

Експлуатаційний вплив можна класифікувати за декількома ознаками.

За умовами виникнення відрізняють впливи навколишнього середовища (впливає на елементи незалежно від того, працюють вони чи ні) і впливи, що виникають тільки в умовах активної роботи елемента. До перших відносяться вологість, атмосферний тиск і його зміни, температуру навколишнього

середовища, його хімічний склад і ступінь забруднення, радіаційний фон, електромагнітне поле, гравітаційне поле, мікроорганізми, а також можливі механічні навантаження (вплив вібраційних полів, випадкових ударних навантажень). До других належать напруження й струм сталих і перехідних режимів, при яких виділяється тепло, механічні навантаження, що виникають у самому робочому елементі конструкції при експлуатації (тертя, тиск). Навколишнє або робоче середовище значно впливає на процес руйнування матеріалів елементів, їх міцність, довговічність і стабільність.

За характером (механізмом) впливу на матеріали навколишнього або робочого середовища розрізняють адсорбційний, дифузійний, хімічний, корозійний, радіаційний, кавітаційний, ерозійний впливи. У випадку кавітації та ерозії додатковий вплив середовища на руйнування поверхні матеріалу пов'язаний з рухом середовища.

За видом змін, що викликаються в матеріалі, розрізняють незворотні зміни (наприклад, при хімічному розчині або корозії, при утворенні нових твердих розчинів або хімічних з'єднань тощо) і зворотні (наприклад, при фізичній адсорбції газів, коли усунення адсорбованих шарів речовини або десорбція відновлюють властивості матеріалів).

За характером зміни в часі розрізняють два типи експлуатаційних впливів. До першого відносять збурення, які після їх виникнення залишаються постійними або закономірно змінюються (наприклад, за гармонійним законом) під час експлуатації кузова. До другого відносять впливи, які є випадковими стаціонарними, квазістаціонарними або нестаціонарними.

Вплив експлуатаційних факторів пов'язаний з режимом зберігання або активною експлуатацією. В деталях кузова, що піддаються тривалому зберіганню перед активною експлуатацією, поступова зміна властивостей і характеристик елементів при зберіганні може мати домінуюче значення. Це важливо для елементів, чутливих до впливу таких зовнішніх факторів, як вологість, атмосферний тиск, радіація, склад і забруднення атмосфери, навколишня температура.

Вичерпним аналіз внутрішнього механізму процесів, що призводять до відмов, може бути тільки для кожного конкретного випадку, в якому розглядається відповідний елемент конструкції при заданих умовах експлуатації та режимах роботи кузова напіввагону.

Серед найпоширеніших загальних причин виникнення відмов слід виділити протікання таких фізико-хімічних процесів у матеріалах: дифузійні процеси в об'ємі та на поверхні твердих тіл; переміщення та скупчення точкових дефектів і дислокацій у кристалічних твердих тілах; функціональний розрив міжатомних зв'язків у металах і сплавах; розрив хімічних зв'язків ланцюгів макромолекул полімерних матеріалів; сорбційні процеси; дія поверхнево-активних речовин; сублімація матеріалів; структурні перетворення в сплавах металів тощо.

До основних фізичних моделей відмов і процесів їх виникнення відносяться: деформація і механічне руйнування різних матеріалів елементів (деталей); електричне руйнування (порушення електричної міцності, електричного пробою) діелектричних матеріалів; теплове руйнування (порушення теплової стійкості, перегорання, розплавлення) елементів; електрохімічна корозія; стирання (зношування) поверхонь деталей; зчеплення (схоплювання) поверхонь дотичних деталей; забруднення поверхні й матеріалу елементів.

## **1.2. Класифікація пошкоджень напіввагонів**

На сьогодні найбільш масовим та затребуваним серед вантажних вагонів є парк універсальних люкових напіввагонів [53-56]. У зв'язку із складними умовами експлуатації (відсутність захисту від атмосферних опадів, специфіка завантажувально-розвантажувальних робіт, постійна зміна складів та географії обертання тощо) напіввагон зазнають значних пошкоджень. Наприклад, утомні

тріщини в зварних з'єднаннях елементів кузова виникають уже через 2 – 3 роки експлуатації.

У зв'язку із зазначеним набувають актуальності роботи зі створення нових напіввагонів та модернізації вже існуючих їх моделей з поліпшеними конструктивними характеристиками, які б ефективно протистояли дії вищенаведених експлуатаційних факторів. Але реалізація цього напрямку вимагає проведення комплексних робіт з дослідження експлуатаційних, ремонтних та інших пошкоджень, які виникають за час життєвого циклу напіввагонів. При цьому аналіз науково-технічного заділу з профілю питання, що розглядається, показав відсутність змістовної інформації щодо вирішення такого важливого науково-прикладного завдання.

Лінійний ряд моделей базових конструкцій напіввагонів налічує понад 20 їх різновидів, але кожен з них має певні недоліки. Зазначене підтверджується тим, що суцільнонесучі кузови в окремих місцях отримують значних пошкоджень під час експлуатації, зокрема тріщини по зварних швах шкворневих стоек, в місцях з'єднання підкладки та нижньої обв'язки, а також тріщини в вертикальних листах проміжних поперечних балок у зоні нижньої обв'язки. Ці ушкодження обумовлені значними напруженнями, які виникають в експлуатації. На рисунку 1.1 показані типові пошкодження напіввагонів в експлуатації.

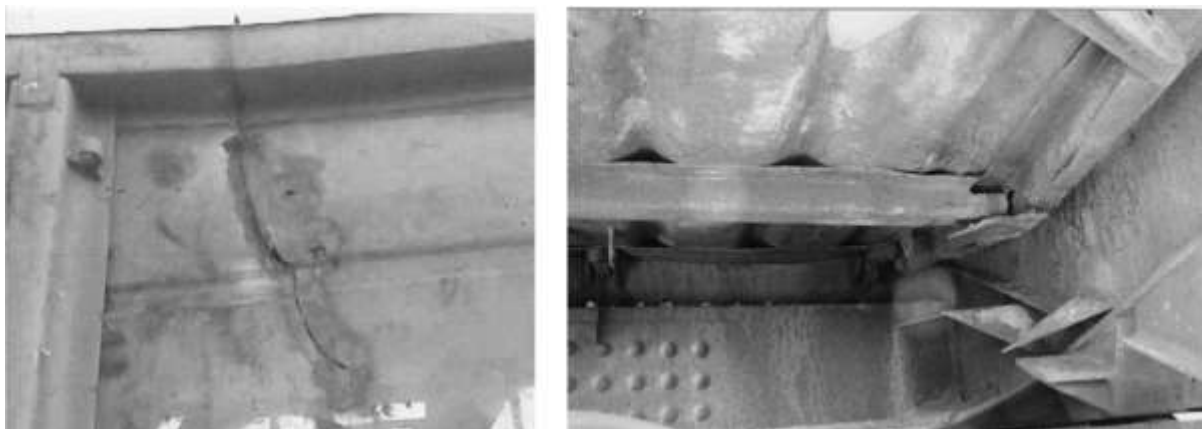


Рисунок 1.1 – Приклади пошкоджень напіввагонів

Раніше запропоновано класифікацію пошкоджень кузовів напіввагонів. На першому етапі була проаналізована статистична інформація оцінки технічного стану напіввагонів, отримана за результатами діагностування (ультразвукової дефектоскопії) напіввагонів різних років побудови (1989-1991 рр.), що проходили капітальний ремонт з подовженням терміну служби. На основі аналізу технічного стану напіввагонів в експлуатації у визначені їх показники надійності, такі як: параметри потоку відмов ( $\omega_g=0,53$  1/год;  $0,61$  1/10<sup>5</sup>км) коефіцієнти відмов кузовів ( $\Delta\omega_i=0,36$ , стійки: шворневі  $\Delta\omega_{ij}=0,02$ , кутові  $\Delta\omega_{ij}=0,1$ , проміжні  $\Delta\omega_{ij}=0,03$ ; люки розвантажувальні  $\Delta\omega_{ij}=0,23$ , верхнє обв'язування  $\Delta\omega_{ij}=0,12$ ), рам ( $\Delta\omega_i=0,01$ , балка хребтова  $\Delta\omega_{ij}=0,01$ , балки шворневі  $\Delta\omega_{ij}=0,06$ , пятники та надпятники  $\Delta\omega_{ij}=0,13$ , балки кінцеві  $\Delta\omega_{ij}=0,25$ ). У результаті було отримано відсоткове співвідношення пошкоджень. Всі виявлені пошкодження були умовно розділені на три групи. До першої групи відносяться поодинокі пошкодження і несправності. Друга група – пошкодження, виявлені більш ніж у 10 % обстежених вагонів. Третю групу складають найбільш масові пошкодження (понад 50 %). В результаті проведеного дослідження встановлено, що основна частина несправностей виникає в кузові та елементах системи кріплення кузова з несучою конструкцією рами, а додаткове та навісне обладнання піддається пошкодженням в меншій мірі.

Виходячи з отриманих даних можна зробити висновок, що елементами, які найбільш підлягають зносу, є двотавр хребтової балки, горизонтальна полка нижньої обв'язки, верхні листи проміжної та шворневої балок.

Результати аналізу також показують, що найбільш масовим видом несправностей кузова є деформації його елементів (вигини, вм'ятини, розриви тощо). Причинами виникнення таких дефектів є механічний вплив застосовуваних вантажно-розвантажувальних механізмів. Тріщини, пробойни, злами є наслідком порушення чинних правил експлуатації (пошкодження при розвантаженні грейфером, вагоноперекидачем, навантаженні екскаватором тощо). Елементами кузовів, які найбільш пошкоджуються, крім підніжок та

поручнів, є обшивка бокової стіни, скоби ув'язочні й лісові, кришки люків, верхні листи поперечних балок, верхня обв'язка бокової стіни.

На підставі аналізу пошкоджень і зон їх локалізації була розроблена та сформована у вигляді блок-схеми (рисунок 1.2) класифікація пошкоджень, що представляє собою трирівневу структуру, розділену на функціональні блоки: 1 – стадії життєвого циклу; 2 – причини виникнення пошкоджень; 3 – пошкодження.

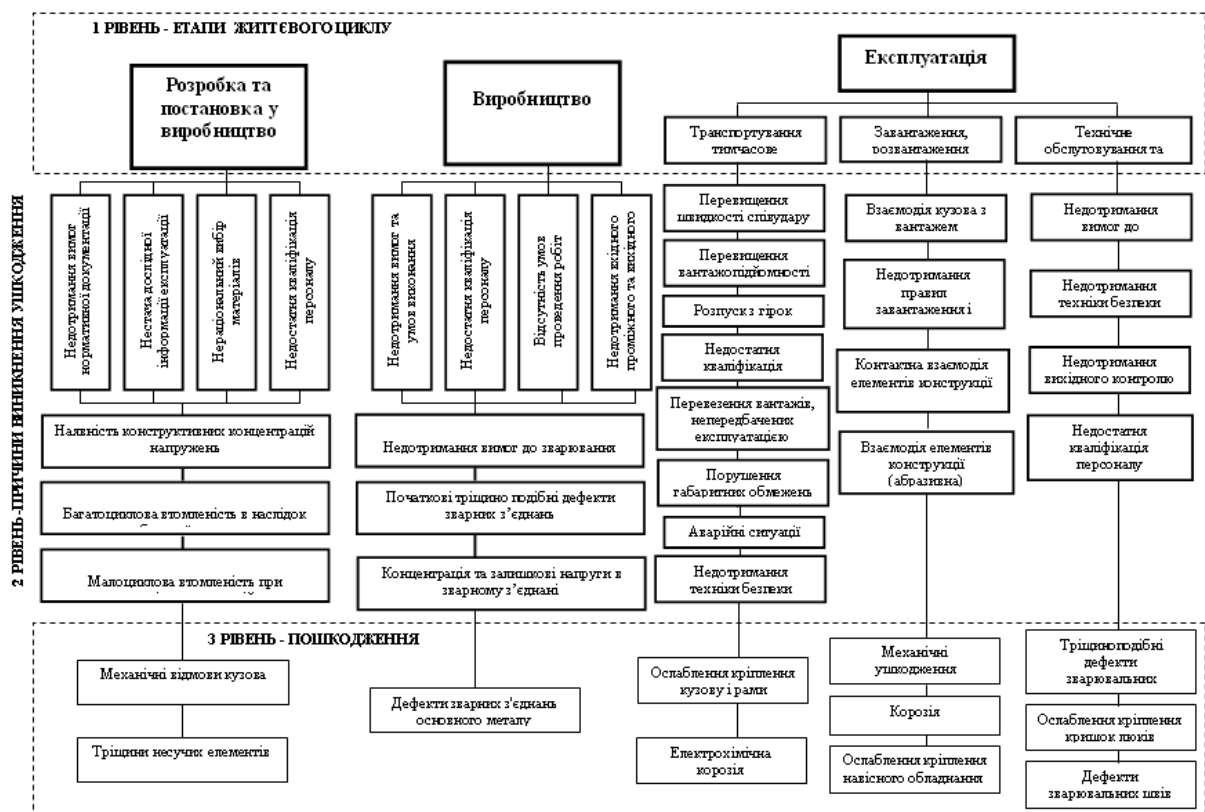


Рисунок 1.2 – Класифікація пошкоджень напіввагонів

Перший рівень життєвого циклу напіввагонів [17-22, 115-130] було умовно розділено на три етапи, сформовані в залежності від стадії, на якій існує ймовірність утворення причин пошкоджень: розробка й постановка на виробництво, виробництво та експлуатація.

Розробка й постановка на виробництво досить тривалий і складний інженерний процес з вибору та перевірки нових технічних рішень, що забезпечують досягнення необхідних властивостей виробу, а також

експериментальна перевірка їх достовірності шляхом проведення повного комплексу випробувань в умовах, які імітують подальшу експлуатацію. До вказаної стадії було віднесено наступні причини виникнення пошкоджень і дефектів у конструкції напіввагонів: недостатня кваліфікація та недотримання інженерним персоналом нормативних вимог; брак інформації щодо експлуатації; нераціональний вибір матеріалів.

Як наслідок вищевикладених причин виникають конструктивні концентратори напружень, багатоциклова та малоциклова втома при поздовжніх та поперечних експлуатаційних навантаженнях. Перераховані причини на подальших етапах життєвого циклу напіввагонів значно збільшують імовірність виникнення пошкоджень і призводять до появи механічного зносу елементів кузовів.

Внаслідок дії на конструкцію циклічних навантажень і наявності концентраторів напружень виникають тріщини в зварних швах верхньої та нижньої обв'язки, пошкодження хребтової балки. На підставі вимог, що висуваються до конструкції вагона технічною документацією, яка розробляється на попередньому етапі та корегується на етапі виробництва, здійснюють складання деталей і вузлів з метою отримання виробу. На цьому етапі основними причинами виникнення пошкоджень і дефектів слід вважати в першу чергу недотримання технічних умов щодо виготовлення: недотримання технології зварювання; застосування матеріалів з невідповідними механічними характеристиками; недостатня кваліфікація персоналу, що виконує основні операції та відсутність умов проведення робіт; недотримання вимог вхідного, проміжного та вихідного контролів якості.

Внаслідок цих порушень у конструкції вагона виникають концентратори напружень у зварних з'єднаннях і дефекти у вигляді тріщин. Усі перераховані вище причини сприяють виникненню й подальшому розвитку в зварних швах і основному металі тріщин, внутрішніх і поверхневих газових порожнин, неметалевих включень та ін. Основна частина елементів напіввагонів (понад 90 %) з'єднується між собою за допомогою зварних швів, у яких і виникають

початкові дефекти та пошкодження. Також слід зазначити, що корозійне пошкодження металу може бути викликано недостатнім обсягом вхідного контролю матеріалу при виробництві, а тріщини в основному металі в більшості випадків виникають безпосередньо в зварному з'єднанні.

Наступним і найбільш тривалим етапом життєвого циклу вагона є експлуатація. У загальному випадку експлуатація вагона включає в себе транспортування, тимчасове зберігання, навантаження-розвантаження, а також технічне обслуговування та ремонт. При транспортуванні та тимчасовому зберіганні перевезеного вантажу причинами виникнення пошкоджень слід вважати: перевищення швидкості співудару при маневрових роботах і проходженні кривих; перевищення допустимої вантажопідйомності й інерційні навантаження при маневрових зіткненнях; розпуск напіввагонів з гірок; недотримання техніки безпеки й недостатню кваліфікацію обслуговуючого персоналу; перевезення непередбаченої номенклатури вантажів; порушення габаритних обмежень; абразивну взаємодію елементів конструкції вагона; випадкові аварійні ситуації.

Основну частину перерахованих причин можна охарактеризувати як порушення правил експлуатації при перевезенні вантажів залізничним транспортом, так само, як і порушення правил експлуатації при виконанні основних операцій. Внаслідок вищевикладеного в конструкції напіввагону виникають наступні пошкодження: ослаблення елементів системи кріплення складових кузова при високому рівні напружень; електрохімічна корозія (поляризація) при абразивній взаємодії елементів. При завантаженні-розвантаженні причинами виникнення пошкоджень є взаємодія вантажу з гальмівним обладнанням, складовими кузова, недотримання правил завантажувально-розвантажувальних робіт. Зазначені причини призводять до виникнення корозійних та механічних ушкоджень, унаслідок яких відбувається ослаблення навісного обладнання кузова напіввагону.

При технічному обслуговуванні та ремонті причини виникнення пошкоджень аналогічні причинам, описаним на етапі виробництва. Крім



експлуатаційного характеру. Це обумовило необхідність подальшого розгляду особливостей їх виникнення.

### **1.3 Природа руйнування елементів конструкцій напіввагонів**

Механіка розвитку тріщин [61-65] пов'язана з вивченням законів розділу кристалічного або континуального тіла на частини під дією механічних зусиль чи інших зовнішніх причин.

Руйнування відноситься до одного з видів порушення міцності, які можуть відбуватися в результаті надмірної (пружної або пластичної) деформації або втрати стійкості.

Руйнування [1-4, 6-8, 59, 60] може бути частковим або повним. При частковому руйнуванні в тілі виникають пошкодження матеріалу у вигляді окремих тріщин або розподілених за обсягом матеріалу дефектів, що призводять до зміни (у несприятливу для міцності сторону) механічних властивостей матеріалу. При повному руйнуванні відбувається поділ тіла на частини.

Для кузовів напіввагону виділяють такі основні види руйнування:

1. Пластичне руйнування. Відбувається після суттєвої пластичної деформації, що протікає по всьому (або майже по всьому) об'єму тіла. Різновид пластичного руйнування – розрив після відповідного звуження шийки при розтягуванні, що відбувається в результаті вичерпання здатності матеріалу чинити опір пластичній деформації.

2. Крихке руйнування. Відбувається в результаті поширення магістральної тріщини після незначної (менше 1-2 %) пластичної деформації, зосередженої в приповерхневій зоні тріщини. При ідеально крихкому руйнуванні можна наново скласти тіло колишніх розмірів з його частин, отриманих у процесі руйнування, без зазорів між ними.

Крихке руйнування найчастіше відбувається за певними кристалографічними площинами всередині зерен – так зване транскристалічне (внутрішньозереневе) руйнування. Транскристалічне руйнування може відбуватися у вигляді сколів або зрізів, які відрізняються видом поверхневого руйнування. Руйнування зрізом не має кристалографічної вираженої спрямованості. Поверхня руйнування, як правило, сіра й волокниста. Поверхня руйнування при відколі – світла й кристалічна.

Квазікрихке руйнування припускає наявність пластичної зони перед краєм тріщини й наклепаного матеріалу (стан матеріалу після попередньої пластичної деформації) у поверхні тріщини. У техніці квазікрихким називають таке руйнування, при якому напруження в перетині вище границі текучості, але нижче границі міцності.

3. Утомне руйнування. Відбувається при циклічному (знакозмінному) навантаженні тіла в результаті накопичення в ньому незворотних ушкоджень, що призводять до утворення й розвитку тріщини. Розрізняють утому й малоциклову втому.

Утома характеризується номінальними напруженнями, меншими межі текучості, повторне навантаження мікроскопічно відбувається в пружній області, число циклів до руйнування велике.

Малоциклова втома виникає при повторно-статичному навантаженні. Характеризується номінальними напруженнями, які більші за границю текучості. При кожному циклі навантаження виникає незначна пластична деформація. Число циклів до руйнування порівняно невелике.

4. Руйнування при повзучості відбувається у випадках, коли пластична деформація елемента машини або конструкції, що накопичена протягом деякого часу дії напружень і температури, призводить до змін розмірів, унаслідок яких елемент не може задовільно виконувати призначену функцію. Процес повзучості, як правило, розділяється на три стадії: первинна повзучість, під час якої швидкість деформації зменшується; вторинна повзучість, під час якої швидкість деформації практично постійна; третинна повзучість, при якій

швидкість деформації повзучості збільшується (часто досить швидко) до руйнування. Такий вид руйнування часто називається розривом при повзучості. Ймовірність виникнення такого руйнування повністю залежить від характеру зміни напружень і температури за часом.

5. Корозійне руйнування. Тріщина починає розвиватися задовго до повного руйнування. Вона виникає й поширюється до вичерпання конструкцією своєї несучої здатності. Тому знання закономірностей поширення тріщини та їх використання дозволяє оцінювати несучу здатність напіввагонів.

Розглянемо конструкцію, у якій розвивається тріщина. При дії циклічних навантажень або при спільному впливі навантажень і навколишнього середовища розміри цієї тріщини будуть збільшуватись. Чим довша тріщина, тим більшу концентрацію напружень вона викликає. Це означає, що швидкість розвитку тріщини за часом буде збільшуватися.

Розвиток тріщини як функцію часу можна представити зростаючою кривою, як показано на рисунку 1.4, а. Через наявність тріщини міцність конструкції вагона знижується, стає меншою за початкову міцність, на яку була розрахована. Міцність конструкції зменшується з зростанням розміру тріщини, як показано схематично на рисунку 1.4, б. За деякий час міцність настільки зменшиться, що конструкція вже не буде здатна витримувати випадкові високі навантаження, які можуть виникнути при експлуатації.

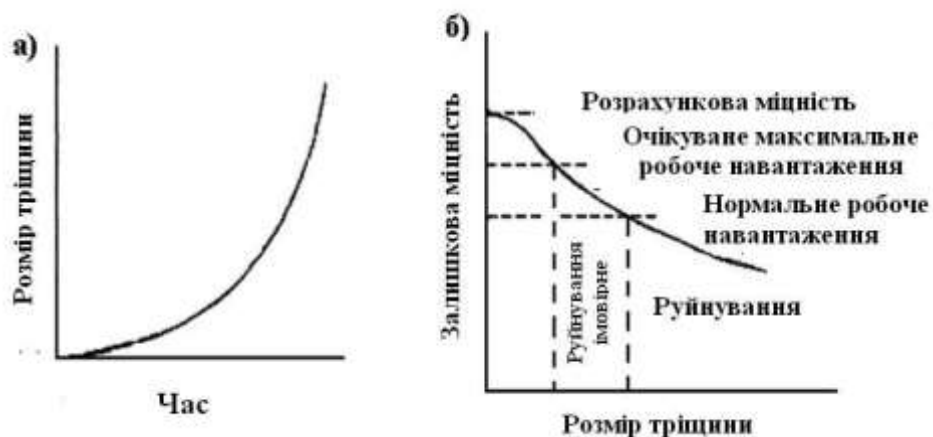


Рисунок 1.4 – Аналіз впливу тріщин на міцність елементів конструкції:

а – крива зростання тріщини; б – крива залишкової міцності

Із цього моменту конструкція легко руйнується. Якщо такі випадкові високі навантаження не виникають, тріщина продовжує збільшуватися до тих пір, доки міцність не знижується настільки, що руйнування проходить при нормальних експлуатаційних навантаженнях. Це означає, що конструкція може мати лише обмежену довговічність. Звичайно, імовірність руйнування повинна бути досить низькою протягом усього часу експлуатації.

Проектувальник повинен передбачати можливість виникнення тріщин та допускати можливість руйнування конструкції. Для забезпечення надійності конструкції необхідно передбачити, як швидко будуть зростати тріщини й зменшуватися залишкова міцність.

6. Руйнування втисненням відбувається тоді, коли статичні зусилля в місці контакту криволінійних поверхонь призводять до появи локальних пластичних деформацій у одного або в обох дотичних елементів, у результаті чого виникає незворотна зміна форми поверхні.

7. Руйнування під час удару відбувається в результаті дії несталих навантажень. Виникають настільки високі напруження або деформації, що деталь неспроможна виконувати призначену функцію. Руйнування відбувається в результаті взаємодії хвиль напружень і деформацій, які є наслідком динамічного або раптового прикладання навантажень (наприклад, випадки навантаження-розвантаження напіввагону). Така взаємодія хвиль призводить до виникнення локальних напружень і деформацій, які в декілька разів перевищують ті, що виникають при статичній дії тих же самих навантажень. Якщо величини напружень і деформацій такі, що відбувається поділ деталі на дві або більше частин, то в наявності розрив при ударі. Якщо удар призводить до виникнення надмірних пружних або пластичних деформацій, виникає руйнування, яке називається деформуванням при ударі. У випадках, коли при повторних ударах виникають циклічні пружні деформації, унаслідок яких з'являється сітка втомних тріщин, спостерігається процес поверхневої втоми, який називається ударним зносом.

8. Руйнування відколом відбувається тоді, коли від поверхні деталі відділяється частина матеріалу, у результаті чого нормальна працездатність елемента конструкції втрачається. Наприклад, руйнування торцевої стіни напіввагону відколом відбувається при ударі по зовнішній поверхні стіни в процесі вивантаження.

Наочною формою аналізу причин відмов у технічних системах є схема причинно-наслідкових зв'язків – схема prof. Ishikawa.

На рисунку 1.5 представлено схему, на якій зазначено різні фактори [14, 15, 59, 60] та події, що впливають на надійність і міцність напіввагонів. На підставі аналізу причинно-наслідкових зв'язків виділено п'ять категорій факторів, які знижують довговічність досліджуваних елементів кузовів напіввагонів: технологічні; фактори, що обумовлені особливостями системи технічного обслуговування напіввагонів; фактори, що призводять до втомних руйнувань елементів конструкції; фізико-механічні й випадкові фактори, що виникають в експлуатації.

Тому при виконанні робіт слід передбачати проведення досліджень у п'яти напрямках, а розробки за кожним напрямком організувати з урахуванням певних виділених факторів угруповання. За необхідності кожен з факторів може, у свою чергу, підлягати причинно-наслідковому аналізу, що значно розширює можливості такої схеми.

Серед угруповання технологічних факторів у схемі виділено завантаження-розвантаження, виготовлення, зварювання. Наявність залишкових зварювальних напружень погіршує напружений стан кузова, про що свідчить значна твердість металу шва й навколошовної зони. Технологічні дефекти зварювання є концентраторами напружень і сприяють найшвидшому зародженню й розвитку втомних тріщин.

В категорії обслуговування на рисунку 1.5 виділено систему ремонту та діагностування технічного стану напіввагонів. Несвоєчасне виявлення та фіксація дефектів і пошкоджень конструкцій елементів кузовів сприяє їх швидкому збільшенню до критичних розмірів.

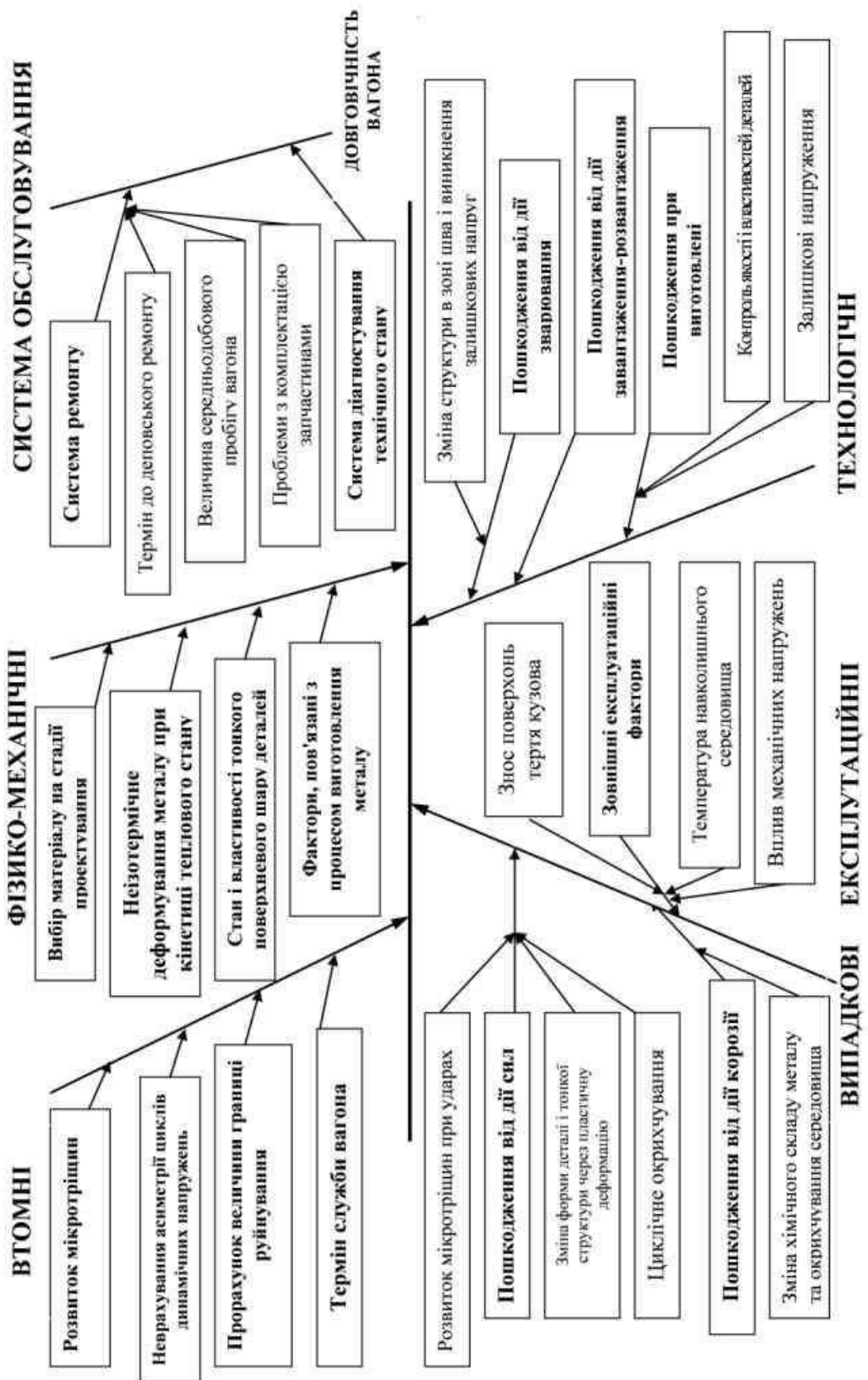


Рисунок 1.5 Причинно-наслідкові зв'язки залежності «довговічність вагона – експлуатаційні пошкодження»

До категорії факторів утомних руйнувань у відповідності до схеми віднесено розвиток мікротріщин, неврахування асиметрії циклів динамічних напружень, термін служби вагона.

В категорію фізико-механічних факторів виділено: вибір матеріалу на етапі проектування; неізотермічне деформування металу при кінетиці теплового стану; фактори, що пов'язані з процесом виготовлення металу; стан і властивості тонкого поверхневого шару елементів кузова.

#### **1.4. Огляд головних підходів у теорії руйнування вагонних конструкцій**

Протягом останніх десятиріч механіка руйнування є одним з тих розділів механіки деформованого твердого тіла, які розвиваються найбільш інтенсивно. По-перше, це обумовлено складністю самого явища руйнування, що потребує розробки різноманітних підходів до його дослідження на мікро- та макрорівнях, формулювання адекватних критеріїв руйнування та методів визначення полів напружень навколо тріщин. По-друге – великою практичною значимістю результатів, які отримуються в рамках механіки руйнування для оцінки та прогнозування міцності, довговічності й залишкового ресурсу несучих елементів конструкції вагонів.

У першій половині ХХ ст. в інженерній практиці вже була напрацьована значна сукупність фізико-механічних тверджень (гіпотез, експериментальних узагальнень і постулатів) для оцінювання працездатності матеріалу під діями навантажень. На цих теоретичних і експериментальних даних, а також сформованих на їх основі методах оцінювання міцності та особливостей руйнування матеріалів ґрунтуються «класичні підходи» механіки руйнування та міцності матеріалів. За допомогою класичних підходів розроблено відповідні критерії оцінювання міцності й довговічності несучих елементів вантажних вагонів.

Для оцінки механічної поведінки несучих елементів вагонів у рамках класичної механіки сформулюємо основні постулати: гіпотеза суцільного середовища – матеріал розглядається як суцільне середовище й не приймається до уваги дискретність його будови; гіпотеза однорідності матеріалу – передбачається його ізотропність за винятком композитів або складених тіл; гіпотеза малості деформацій – дозволяє складати рівняння статички деформованого тіла виходячи з геометрії його недеформованого стану; гіпотеза ідеальної пружності – передбачає лише незначне відхилення матеріалу від ідеальної пружності.

Бездефектних матеріалів не існує. Найбільш суттєвим дефектом елементів конструкцій з точки зору інженерних задач являються тріщини й тріщиноподібні дефекти. Таких дефектів у вихідному стані матеріалу може і не бути, проте в процесі експлуатації вагона можлива їх поява як результат дії змінних за часом напружень (утомні тріщини), корозії та інших факторів.

В рамках класичної теорії елемент деформованого тіла перебуває в одному з таких станів (рисунок 1.6 а): суцільному (*C*-стані) або зруйнованому (*P*-стані). Перехід елемента матеріалу зі стану *C* у стан *P* (процес руйнування) відбувається миттєво, якщо тільки напружено-деформований стан, визначений за прийнятою реологічною моделлю, досягає деякого критичного рівня (наприклад, якщо напруження хоча б в одній точці тіла досягають границі міцності макрооб'ємів матеріалу  $\sigma_{ut}$ ). За таким класичним підходом не вдається оцінити міцність елементів конструкції з певного матеріалу з тріщинами. Це зумовлено тим, що в класичному підході не враховується особливий напружено-деформований стан біля вершини гострокінцевої тріщини під час деформування тіла. Іншою важливою проблемою, яка не може бути вирішена в рамках класичної механіки руйнування, є руйнування при стисканні тіл вздовж тріщин. Напружено-деформований стан, який виникає в матеріалі в такому випадку є однорідним, що зумовлює відсутність у відповідних розв'язках рівнянь лінійної теорії пружності сингулярних частин, а отже, рівність нулю коефіцієнтів інтенсивності напружень.

Основна ідея неklasичного підходу механіки руйнування матеріалів полягає в наступному: вважають, що під час переходу елемента деформованого тіла з *C*- у *P*-стан виникає ще деякий проміжний *Π*-стан (рисунок 1.6 *b*), який необхідно враховувати, коли розв'язується задача про оцінювання міцності тіла з дефектами типу тріщин. Важливою особливістю областей деформованого твердого тіла при виникненні *Π*-стану (області передруйнування матеріалу) є те, що в цьому випадку матеріал завжди деформований за межею пружності. Саме в цих областях під час деформування матеріалу зростають швидкість пластичного течіння, дифузійні процеси, пошкоджуваність матеріалу тощо. Це призводить до локального руйнування матеріалу, тобто до  $C \rightarrow \Pi \rightarrow P$ -переходів.

Неklasична схема руйнування матеріалів (рисунок 1.6 *b*), яка покладена в основу сучасної механіки руйнування матеріалів, враховує *Π*-стани в деформованих твердих тілах. Такі стани виникають у першу чергу біля вершин дефектів типу тріщин (рисунок 1.6 *c*).

Таким чином, під час оцінки міцності твердого тіла необхідно враховувати його локальні фізико-механічні властивості. Наприклад, здатність чинити опір поширенню в ньому тріщини – його тріщиностійкість.

Врахування *Π*-станів матеріалу в рамках механіки суцільних середовищ вимагає введення нов Протягом останніх десятиріч механіка руйнування є одним з тих розділів механіки деформованого твердого тіла, які розвиваються найбільш інтенсивно. По-перше, це обумовлено складністю самого явища руйнування, що потребує розробки різноманітних підходів до його дослідження на мікро- та макрорівнях, формулювання адекватних критеріїв руйнування та методів визначення полів напружень навколо тріщин. По-друге – великою практичною значимістю результатів, які отримуються в рамках механіки руйнування для оцінки та прогнозування міцності, довговічності й залишкового ресурсу несучих елементів конструкції вагонів.

У першій половині ХХ ст. в інженерній практиці вже була напрацьована значна сукупність фізико-механічних тверджень (гіпотез, експериментальних

узагальнень і постулатів) для оцінювання працездатності матеріалу під діями навантажень. На цих теоретичних і експериментальних даних, а також сформованих на їх основі методах оцінювання міцності та особливостей руйнування матеріалів ґрунтуються «класичні підходи» механіки руйнування та міцності матеріалів. За допомогою класичних підходів розроблено відповідні критерії оцінювання міцності й довговічності несучих елементів вантажних вагонів.

Для оцінки механічної поведінки несучих елементів вагонів у рамках класичної механіки сформулюємо основні постулати:

- гіпотеза суцільного середовища – матеріал розглядається як суцільне середовище й не приймається до уваги дискретність його будови;
- гіпотеза однорідності матеріалу – передбачається його ізотропність за винятком композитів або складених тіл;
- гіпотеза малості деформацій – дозволяє складати рівняння статички деформованого тіла виходячи з геометрії його недеформованого стану;
- гіпотеза ідеальної пружності – передбачає лише незначне відхилення матеріалу від ідеальної пружності.

Бездефектних матеріалів не існує. Найбільш суттєвим дефектом елементів конструкцій з точки зору інженерних задач являються тріщини й тріщиноподібні дефекти. Таких дефектів у вихідному стані матеріалу може і не бути, проте в процесі експлуатації вагона можлива їх поява як результат дії змінних за часом напружень (утомні тріщини), корозії та інших факторів.

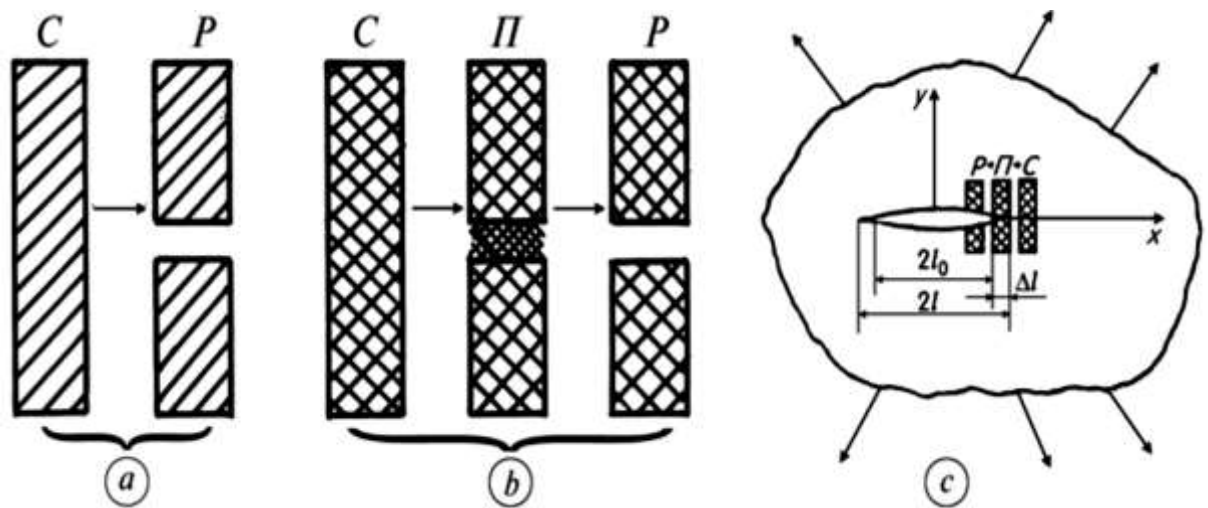


Рисунок 1.6 – Схеми руйнування матеріалу:

*a* – класична; *b* – некласична; *c* – некласична біля вершини тріщин

Таким чином, під час оцінки міцності твердого тіла необхідно враховувати його локальні фізико-механічні властивості. Наприклад, здатність чинити опір поширенню в ньому тріщини – його тріщиностійкість.

Врахування *П*-станів матеріалу в рамках механіки суцільних середовищ вимагає введення нових розрахункових моделей і концепцій. Оскільки основними характеристиками, контролюючими поведінку матеріалу у вершині тріщини, є напруження, деформації та енергія, то всі критерії механіки руйнування аналогічно класичним теоріям міцності поділяються на енергетичні, силові й деформаційні.

## **1.5 Конструктивний облік сучасного розвантажувального пристрою напіввагонів**

В якості основних вимог до сучасних конструкцій розвантажувальних пристроїв напіввагонів можна виділити нижче наведені умови. Гарантійний термін обчислюється від дня відвантаження вагонів з заводу-виробника і становить 3 роки. Чотирнадцять кришок люків в закритому положенні утворюють підлогу напіввагону. Внутрішні поверхні кузова вагону і кришок люків повинні бути покриті ґрунтом по ГОСТ 7409-2009. Напіввагони повинні бути обладнані механізмами розвантажувальних пристроїв що полегшують підйом кришок люків (на сьогодні це – торсіони). Також розвантажувальні люки вагонів повинні бути [69-72, 80-84] обладнані механізмом запирання, що складається з закидки, сектора і пружинного кільця. Запірні механізми розвантажувальних пристроїв напіввагонів повинні забезпечувати працездатність без ув'язки дротом або застосування будь-яких інших допоміжних засобів.

Допустимі зазори між кришкою люка і нижньої обв'язкою бічної стіни між закидками повинні бути не більше 2 мм. Зазори в кутах між кришкою люка, нижньою обв'язкою, двотавром і верхнім листом – не більше 5 мм на довжині 40 мм. Допустимі зазори по решті периметру кришки люка – не більше 3 мм, при цьому місцеві зазори допускаються не більше 4 мм довжиною не більше 150 мм і сумарною довжиною не більше 20 % відповідної сторони кришки.

Рама напіввагону (рисунок 1.7) обладнана кришками люків 5 з механізмами замикання і підйому. Кінцеві балки 4, шкворневі 2 і проміжні 3 мають приварні упори для обпирання кришок люків у відкритому положенні, а також планки, що запобігають засипання візків при розвантаженні вагонів.

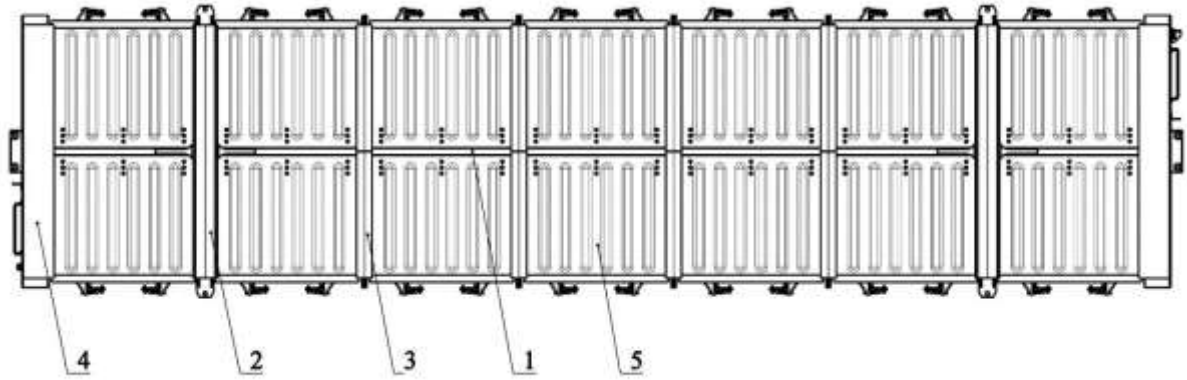


Рисунок 1.7 – Рама з кришками люків

1 – балка хребтова; 2 – балка шкворнева; 3 – балка проміжна;  
4 – балка кінцева; 5 – кришка люка

Кришка люка, відповідно до рисунка 1.8, складається з полотна і каркаса. Полотно кришки 1 являє собою штампований гофрований металевий лист товщиною 5 мм. Каркас включає бічні 2, передню 3 обв'язки, а також середню обв'язку і посилюючу планку. На бічні і передні обв'язки встановлені запірні кутики 4. Кришка люка навішується на державки, розташовані на рамі. Для кріплення застосовують осі, шайби і шплінти.

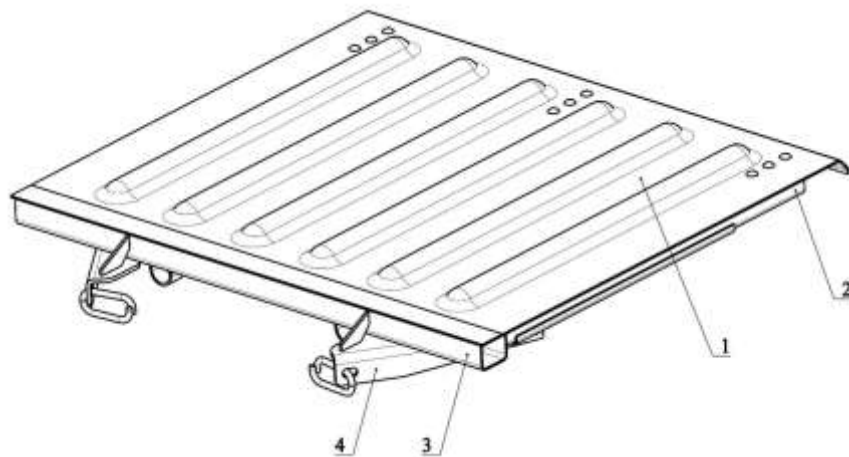


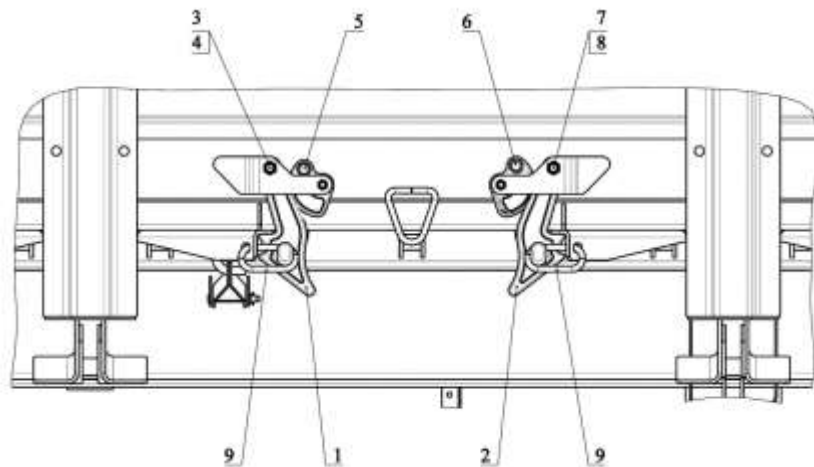
Рисунок 1.8 – Кришка люка

1 – полотно; 2 – обв'язка бічна; 3 – обв'язка передня; 4 – кутик запірний

Механізм замикання кришки люка показаний на рисунку 1.9. Він складається з закидок 1 і 2, шарнірно підвішених на нижній обв'язці бічної стіни за допомогою скоб, болтів 3 та гайок 4. Сектори 5 і 6, що обертаються на болтах 7 і втулках 8 і працюють на принципі фрикційних зупинок, утримують закидку від відкриття. Для виключення можливості самовільного відкриття, закидки фіксуються спеціальними пружинами півкільцями 9.



а) фото механізму запирання з заклепковим з'єднанням



б) схематичне зображення механізму запирання зі зварювальним з'єднанням

Рисунок 1.9 – Механізм закривання кришки люка

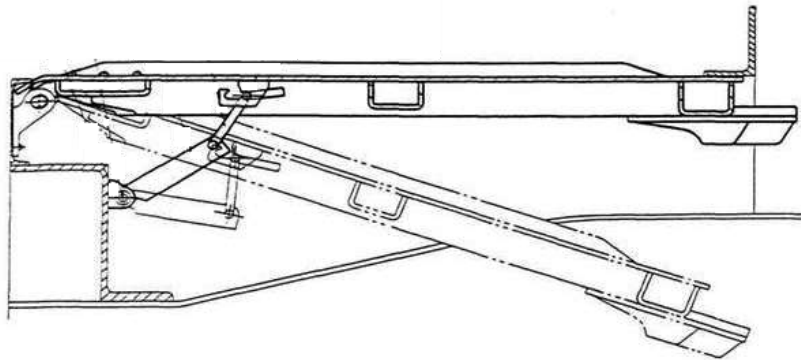
1 – закидка ліва; 2 – закидка права; 3 – болт; 4 – гайка; 5 і 6 – сектор;  
7 – болт; 8 – втулка; 9 – кільця пружинні

Механізм підйому, відповідно до рисунку 1.10, служить для полегшення підйому кришки люка. Він являє собою чотириланковий механізм, силовим

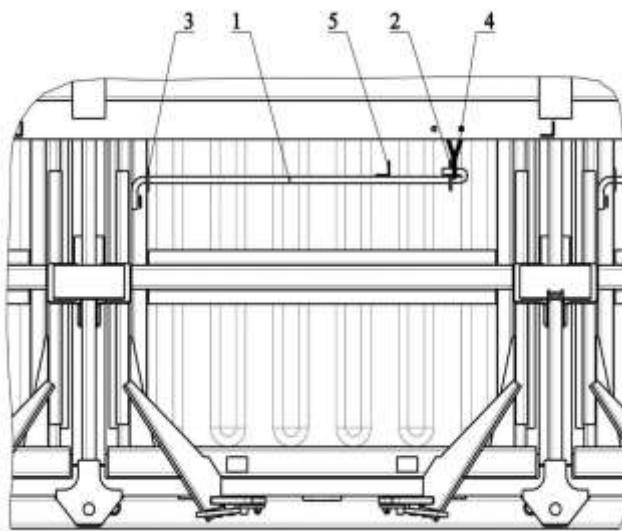
елементом якого є торсіон 1, що накопичує енергію при опусканні кришки і віддає енергію при підйомі.

Торсіон встановлений на кришці в опорах 2, 3 і шарнірно з'єднаний з важелем 4. Для захисту торсіона від розкрадань встановлений запобіжник 5.

Важіль шарнірно підвішений до хребтової балки за допомогою вушок, осі, шайби і шплінта.



а) випадок відкриття кришки люка



б) вид знизу

Рисунок 1.10 – Механізм підйому кришки люка

1 – торсіон; 2 і 3 – опори торсіона; 4 – важіль; 5 – запобіжник

Для закриття кришка люка піднімається до нижньої об'язки бокової стіни ломиком через скобу. Після цього закидки забиваються до упору кронштейнів в радіуси закидок і фіксуються секторами.

Забивання секторів рекомендується виконувати в такій послідовності:

- забивається сектор, який входить з натягом відповідно закидці до тих пір, поки зазор між пальцем сектора і скобою буде 5-14 мм, потім забивається до того ж положення сектор, що залишився. Захід великого зуба закидки під кронштейни повинен бути не менше 44 мм. У закритому положенні сектор повинен щільно прилягати до закидки. При наявності зазору між сектором і закидкою слід замінити сектор або наплавить опорну поверхню і зачистити.

Деталі механізму замикання, що мають тріщини і злами, слід замінити новими. Торсіони кришок люків допускається знімати або встановлювати тільки на порожніх вагонах, при закритих на закидки і зафіксованих секторами кришок люків. У таблиці 1.1 наведені технічні вимоги до основних вузлів розвантажувальних пристроїв напіввагонів, що підлягають перевірці.

Таблиця 1.1 – Перевірка технічного стану розвантажувальних пристроїв напіввагонів

Основні вузли, що підлягають перевірці	Технічні вимоги
<u>Кришка люка напіввагона</u> 1) наявність тріщин і прогинів;	Ремонт тріщин і пробоїн зваркою повинен відновити діючим РТМ 32 ЦВ-201 на ремонт вагона зваркою. Прогини виправить.
2) злам петель та кронштейнів;	Встановити нові.
3) відсутність осей в шкворневих з'єднаннях;	Встановити нові.
<u>Механізм підйому кришки люка:</u>	
1) відсутність торсіона, шплінта або осі;	Встановити нові.
2) вигин важеля;	Виправити.
3) знос осей	При зносі осей більше 2 мм – замінити новими.
4) вигин опор, петель.	Виправити.

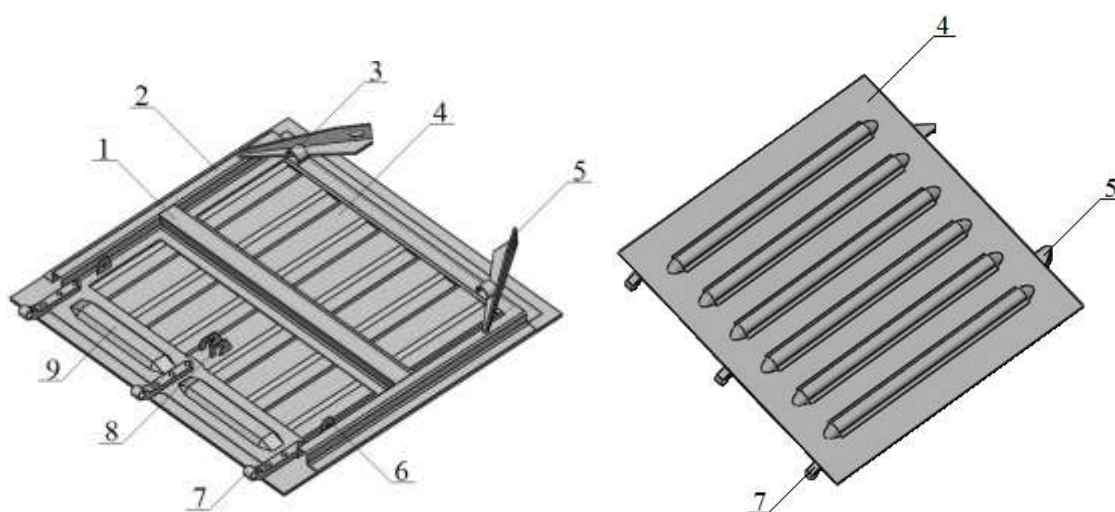
В таблиці 1.2 наведені можливі несправності розвантажувальних пристроїв напіввагонів та методи їх усунення.

Таблиця 1.2 – Можливі несправності розвантажувальних пристроїв напіввагонів та методи їх усунення

Найменування несправностей, зовнішні прояви та додаткові ознаки	Ймовірна причина	Метод усунення
1) Зазор між кришками люків та кузовом. Спостерігається втрата вантажу	Деформація кришки люка, деформація верхніх листів шкворневих та проміжних балок, деформація нижньої обв'язки бокової стіни, зігнутий кронштейн кришки люка, згин болта закидки.	Виправити деталі; Наварити планки товщиною до 10 мм на опорну поверхню кронштейна або до 5 мм на зуб накидки; Заміна болта.
2) Відсутні зв'язувальні пристрої, скоби	Перевищення розрахункових навантажень	Встановити нові

## 1.6 Міцністний аналіз базових конструкцій кришок люків напіввагонів та їх складових

В підрозділі представлено результати досліджень міцності базової конструкції кришки люка напіввагона [22-30, 130-148] при основних режимах навантаження. Конструктивні особливості кришки люка наведені вище, а також представлені на рисунку 1.11.



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 1.11 – Тривимірний модель кришки люка напіввагона

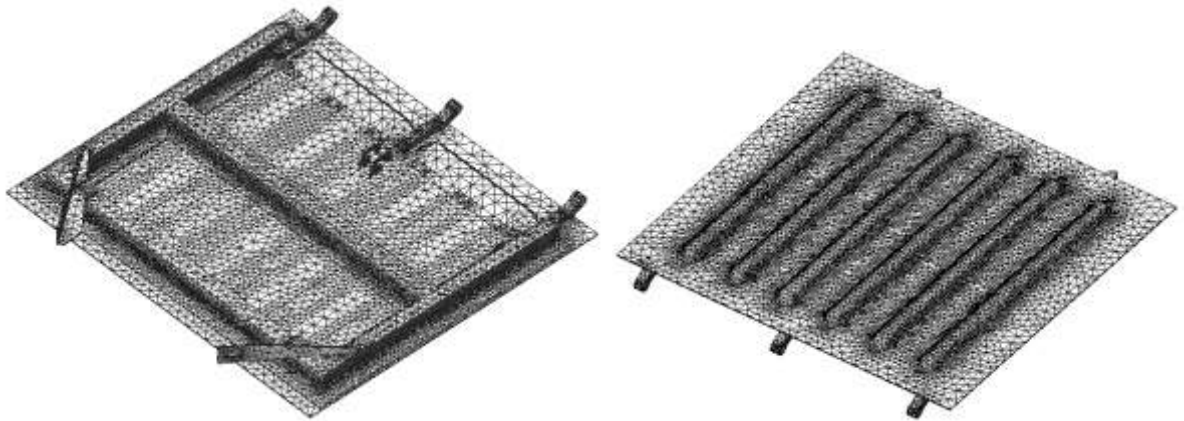
1, 2 – обв'язка; 3 – скоба; 4 – лист; 5 – кронштейн запірний; 6 – планка;  
7 – петля; 8 – опора; 9 – планка

Для дослідження міцності кришки люка напіввагона під дією експлуатаційних навантажень побудовано її просторову модель. Графічні роботи проведені в середовищі програмного забезпечення SolidWorks [62].

Розрахунок на міцність проведений з використанням методу скінченних елементів в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks.

Скінчено-елементну модель кришки люка напіввагона наведено на рисунку 1.12. Оптимальна кількість елементів сітки визначена з використанням графоаналітичного методу. При цьому кількість елементів сітки склала 125228,

вузлів – 40323. Максимальний розмір елемента сітки дорівнює 52 мм, мінімальний – 10,4 мм, максимальне співвідношення боків елементів – 4602,6 відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 46,3, більше десяти – 5,21.



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 1.12 – Скінчено-елементна модель кришки люка

Першепочатко досліджувались циклічні ударні навантаження кришки люка та навантаження від падіння на неї вантажу. Для дослідження міцності кришки люка при циклічних ударних навантаженнях, чисельне значення яких дорівнює 500, проведено комп'ютерне моделювання в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks.

При цьому закріплення моделі відбувалося за вушка петель, а до кронштейнів запірних прикладалися реакції від дії ударного навантаження (рисунок 1.13).

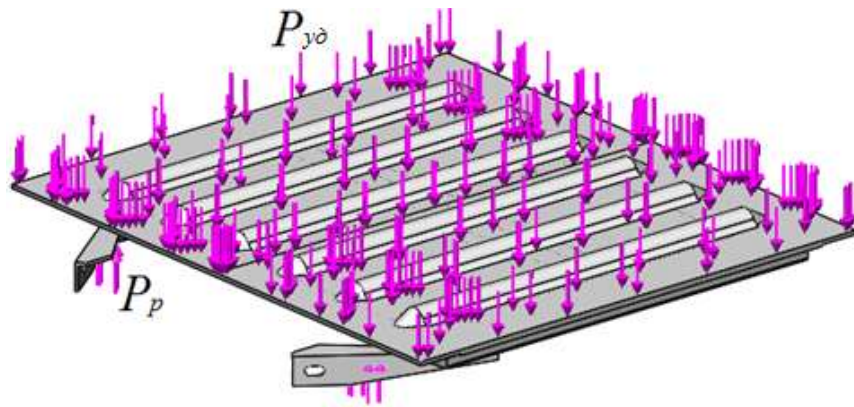


Рисунок 1.13 – Комп’ютерна розрахункова модель кришки люка  
 $P_{y\delta}$  – ударне навантаження;  $P_p$  – реакція у кронштейні зафірному на дію навантаження  $P_{y\delta}$

Крива втоми отримана на підставі модуля пружності сталі марки 09Г2С (рисунок 1.14).

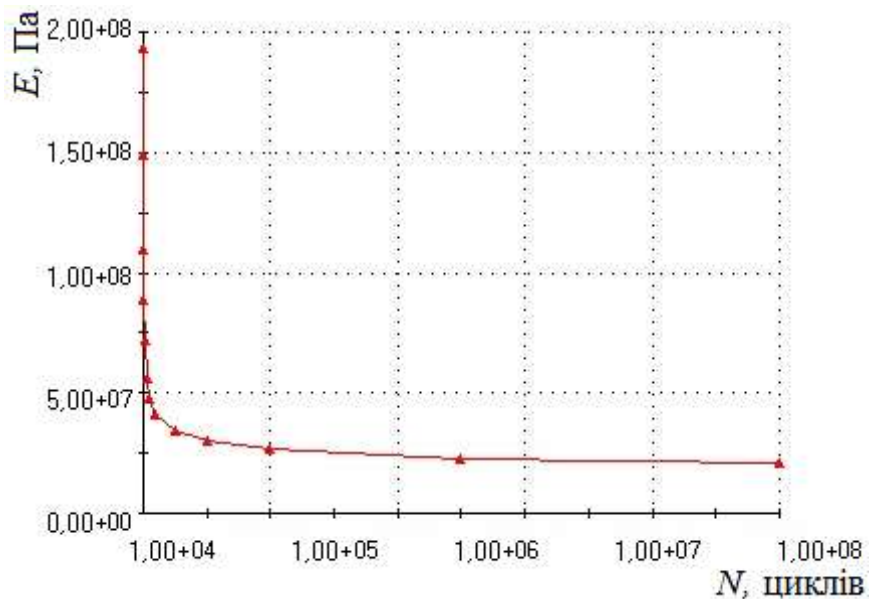


Рисунок 1.14 – Крива втоми металокопструкції кришки люка при дії циклічних навантажень на неї

Проведені розрахунки дозволили зробити висновок, що міцність кришки люка при завданій базі випробувань забезпечується (рисунок 1.15).

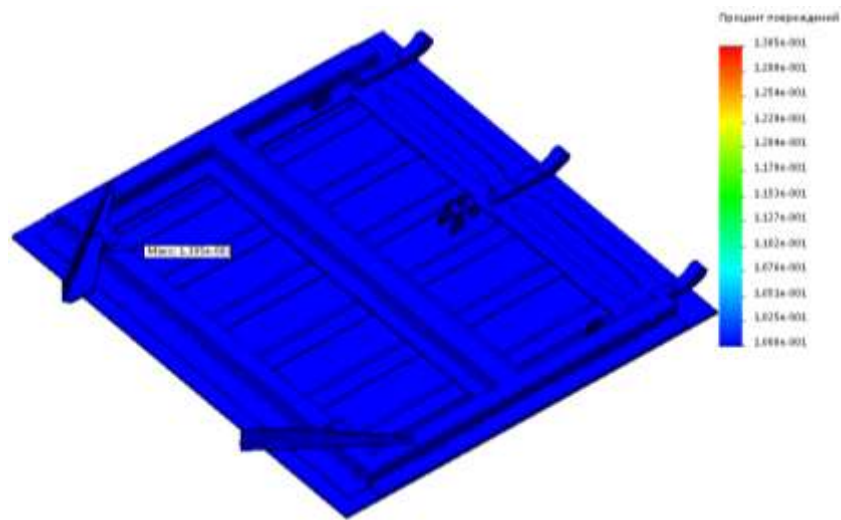


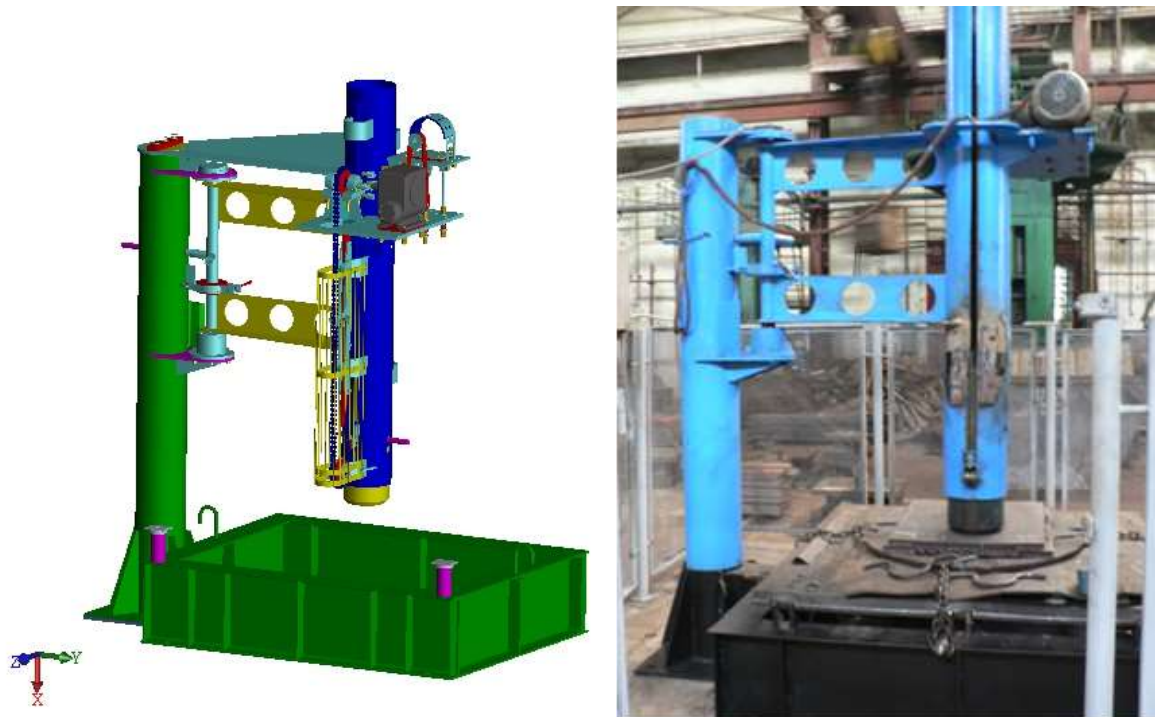
Рисунок 1.15 – Результати розрахунку кришки люка на циклічні ударні навантаження

Також міцність кришки люка перевірялася при падінні (рисунок 1.16) на неї вантажу масою 150 кг з висоти 3000 мм.



Рисунок 1.16 – Завантаження напіввагонів

Комп'ютерна модель та випробувальний стенд для проведення таких досліджень на натурному зразку наведені на рисунку 1.17.



а) комп'ютерна модель;

б) стенд

Рисунок 1.17 – Типовий стенд для випробувань кришки люка

Модель міцності кришки люка наведена на рисунку 1.18.



Рисунок 1.18 – Модель міцності кришки люка

$P_{y0}$  – ударне навантаження, яке діє на кришку люка при падінні на неї вантажу

Закріплення моделі відбувалося за вушка петель. В моделі враховувалося, що кришка люка навантажена власною вагою. Результати розрахунку наведені нижче.

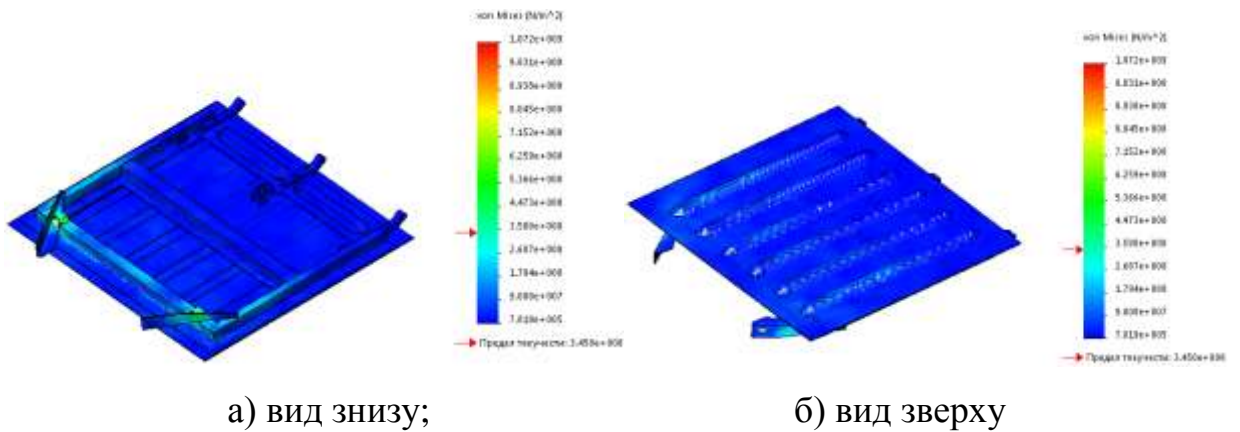


Рисунок 1.19 – Напружений стан кришки люка

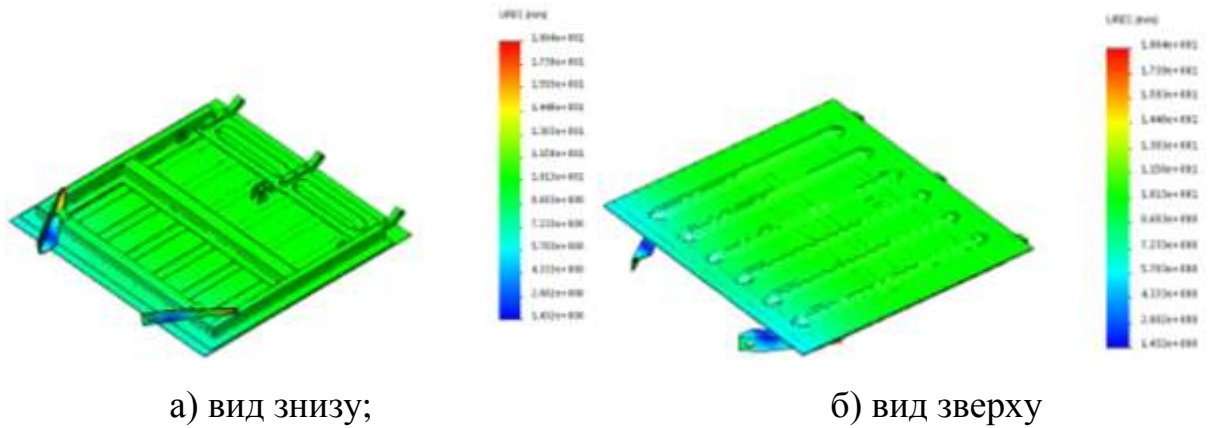
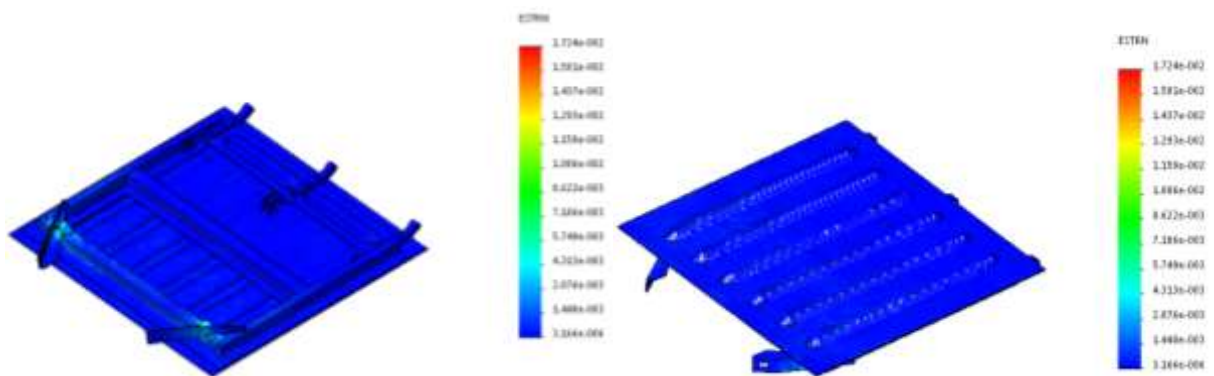


Рисунок 1.20 – Переміщення в вузлах кришки люка



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 1.21 – Деформації кришки люка

Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у кронштейнах запірних та складають близько 207 МПа, максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у кронштейнах запірних та складають 3мм, максимальні деформації склали  $1,72 \cdot 10^{-2}$ . Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується.

Далі представлено результати проведених робіт з дослідження міцності основних складових базової конструкції кришки люка, зокрема досліджено: напружено-деформовані стани окремо каркасу та окремо полотна; конструкції з імітацією зносів. На рисунку 1.22 представлено розроблену тривимірну модель каркасу кришки люка. На рисунку 1.23 показано прикладення відповідних навантажень та особливості закріплення. На рисунку 1.24 зображено отриманий напружено-деформований стан.

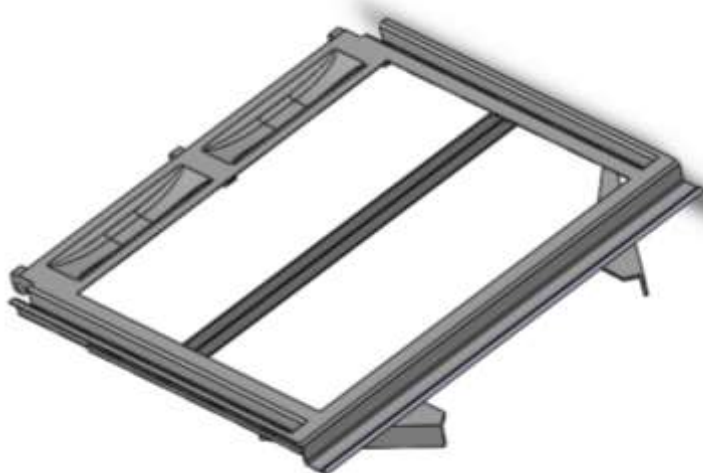


Рисунок 1.22 – Тривимірний модель каркасу кришки люка

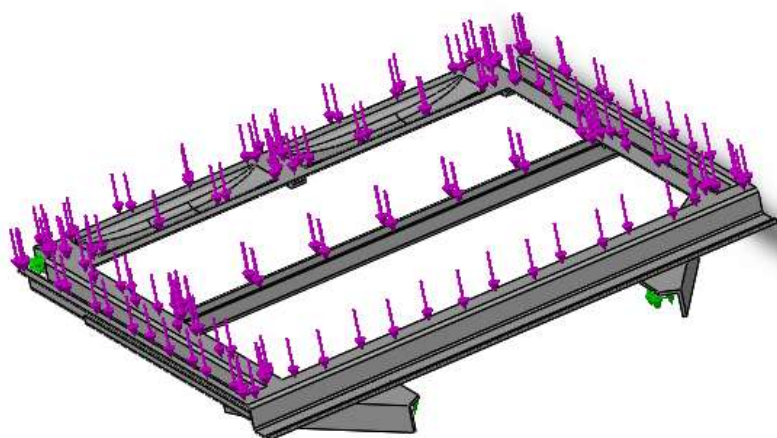


Рисунок 1.23 – Прикладення відповідних навантажень

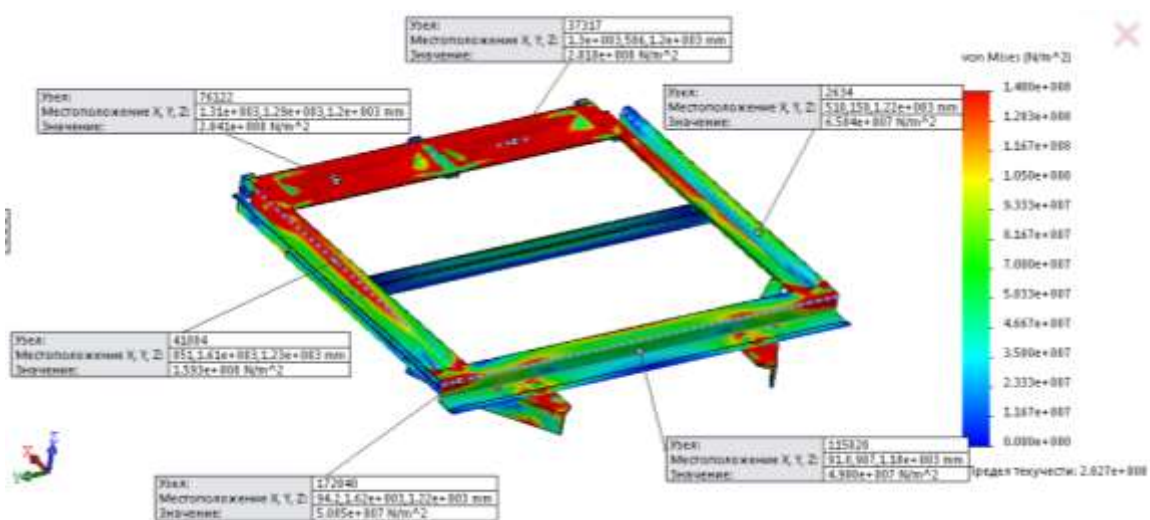


Рисунок 1.24 – Напружено-деформований стан каркасу кришки люка

На рисунку 1.25 наведено картину деформацій та визначено переміщення у виділених точках.

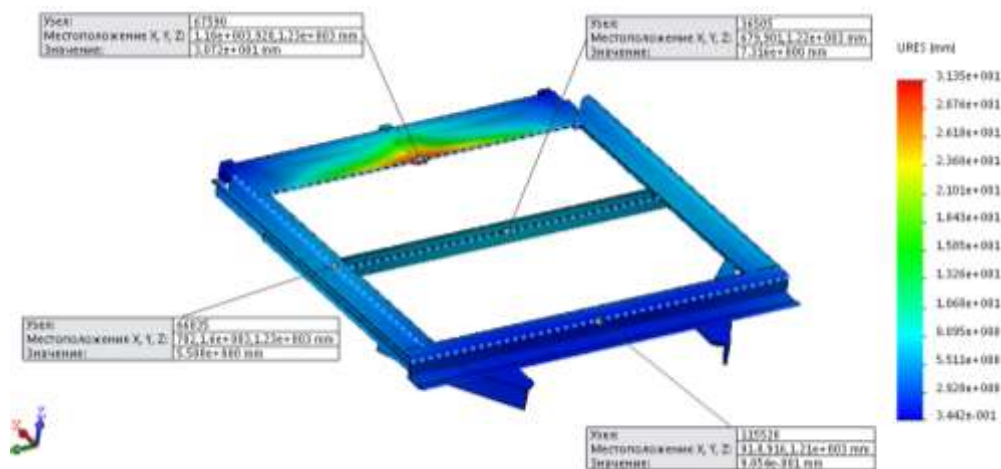


Рисунок 1.25 – Деформації та переміщення каркасу кришки люка у визначених точках.

Так на рисунку 1.26 представлено відповідну тривимірну модель окремо полотна кришки люка. На рисунку 1.27– прикладені відповідні навантаження та особливості закріплення.



Рисунок 1.26 – Тривимірна модель полотна кришки люка

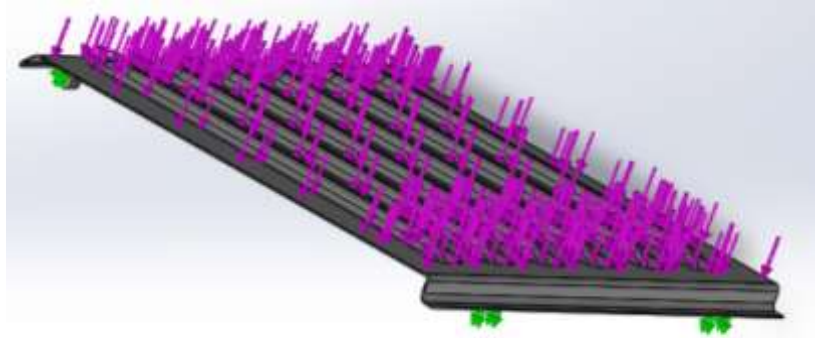


Рисунок 1.27 – Прикладення відповідних навантажень

Отримані результати наведено на рисунках 1.28 та 1.29.

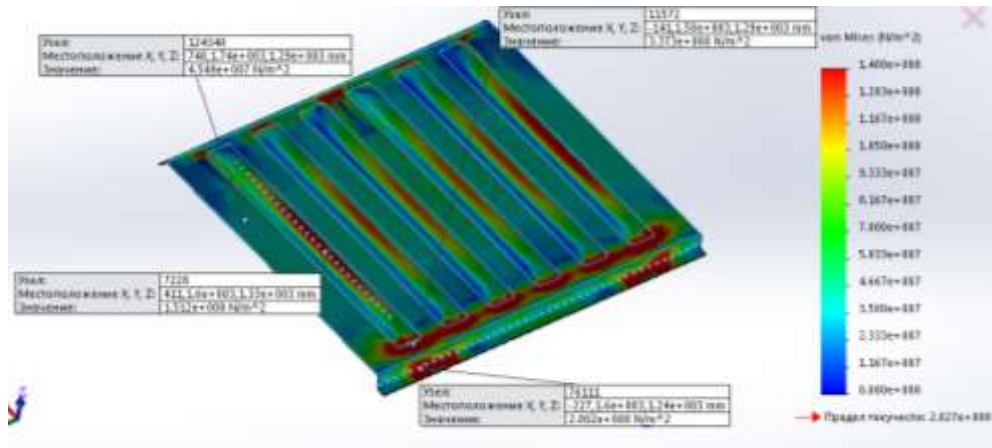


Рисунок 1.28 – Напружено-деформований стан полотна кришки люка

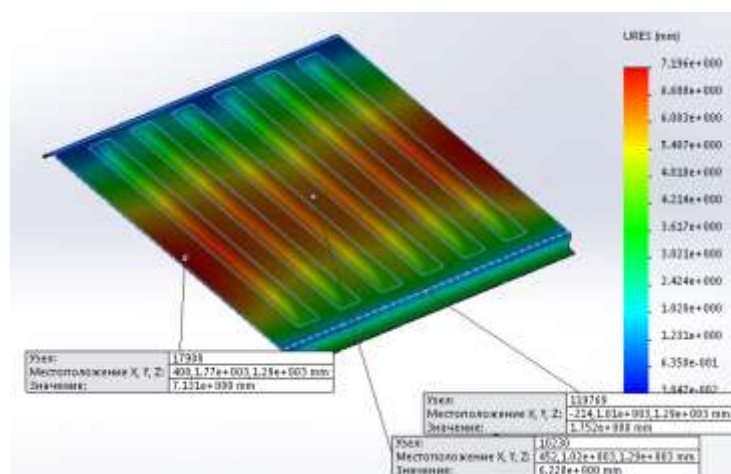


Рисунок 1.29 – Напружено-деформований стан полотна у відповідних точках

З'ясовано, що при стандартному розрахунку окремо полотна та окремо каркасу кришки люка значення виникаючих напружень перевищують допустимі на 40-60 %. При цьому також визначено, що максимальні напруження та деформації, які виникають в полотні кришки люка менші на приблизно 10 % ніж у окремо дослідженому каркасі.

На рисунку 1.30 – 1.34 наведено результати досліджень зношеної кришки люка (люка з імітацією зносів).

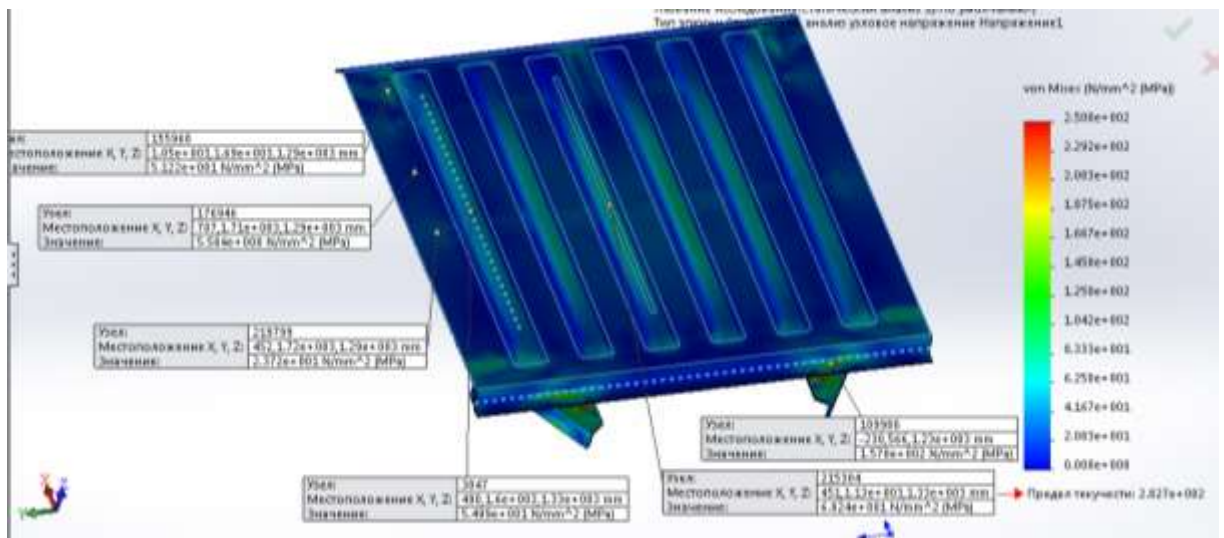


Рисунок 1.30– Напружено-деформований стан зношеної кришки люка

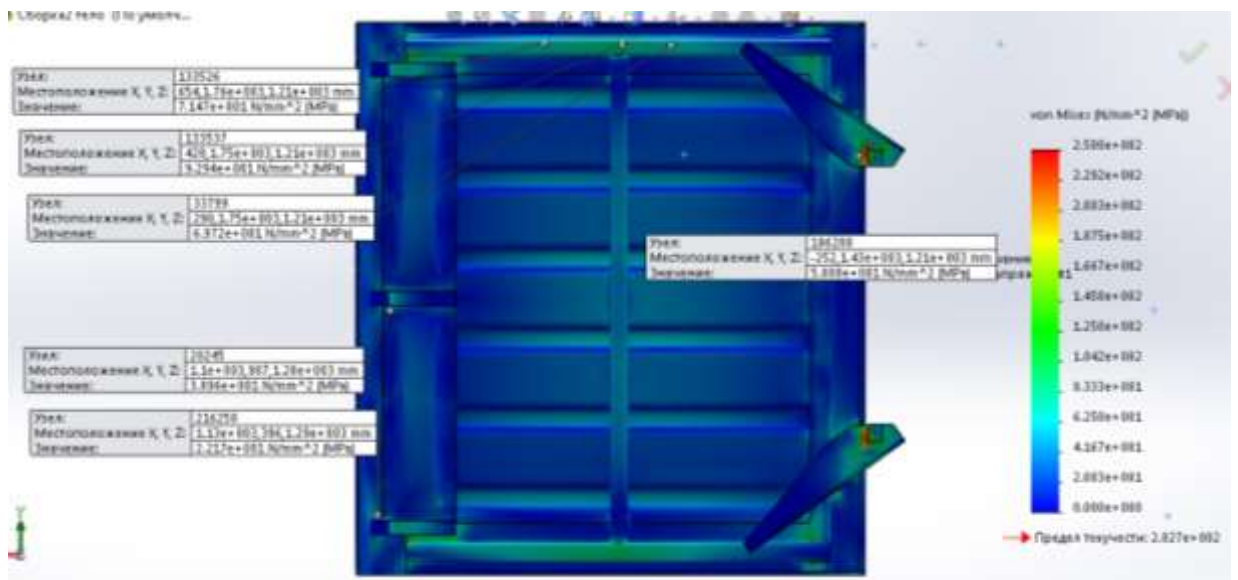


Рисунок 1.31 - Напружено-деформований стан зношеної кришки люка, ВІЗ ЗНИЗУ

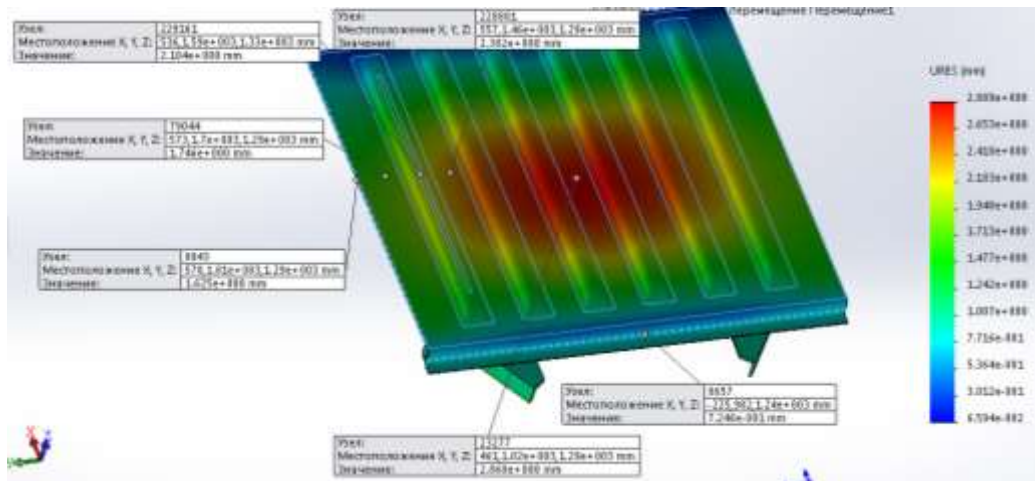


Рисунок 1.32 – Результати зношеності кришки люка

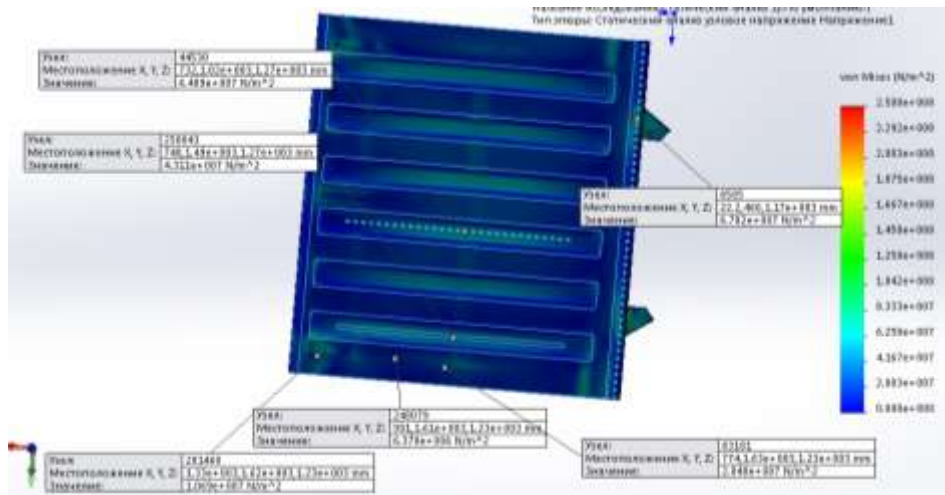


Рисунок 1.33 – Показники міцності зношеної кришки люка у різних точках, вид зверху

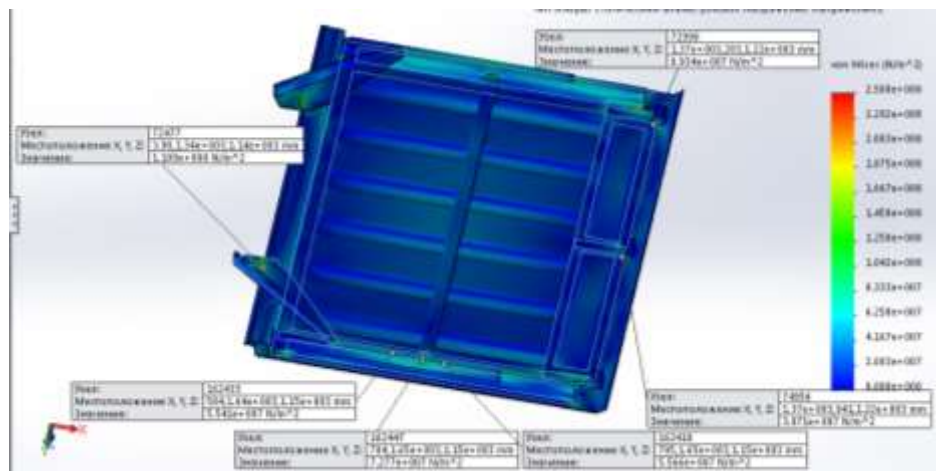


Рисунок 1.34 – Показники міцності зношеної кришки люка у різних точках, вид знизу

З'ясовано, що знос полотна з 5 до 3 мм призводить до значного зниження несучої здатності конструкції, а саме підвищує напруження на 30 – 40% та зменшує прогини на 30 – 60%.

Далі висвітлено результати проведених робіт з дослідження міцності інших сучасних базових конструкцій конструкцій кришок люків.

На рисунках 1.35 та 1.36 представлено визначений напружено-деформований стан типової конструкції кришки люка з плоским, а не гофрованим полотном.

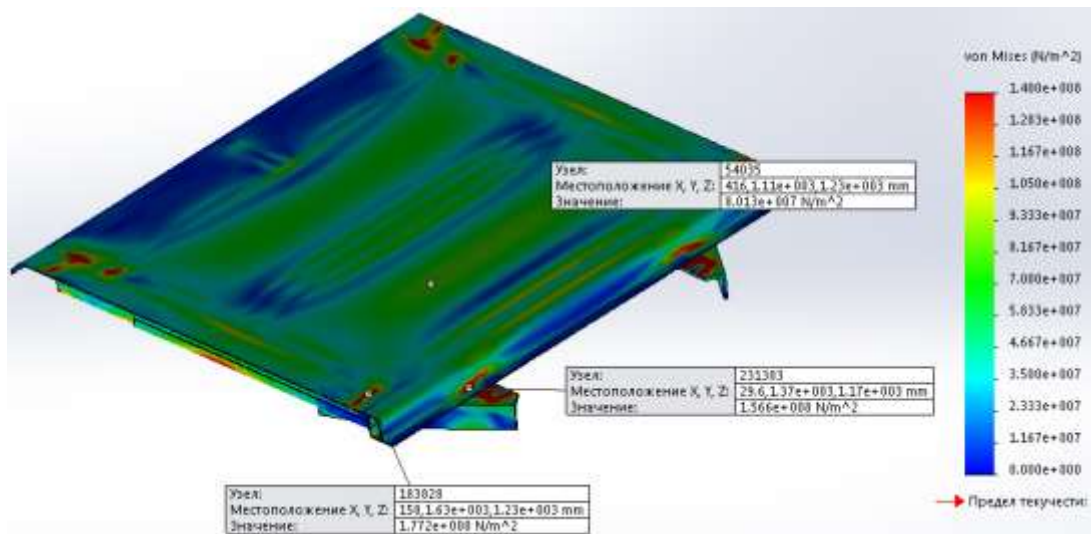


Рисунок 1.35 – Напружено-деформований стан кришки люка з плоским полотном, вид зверху

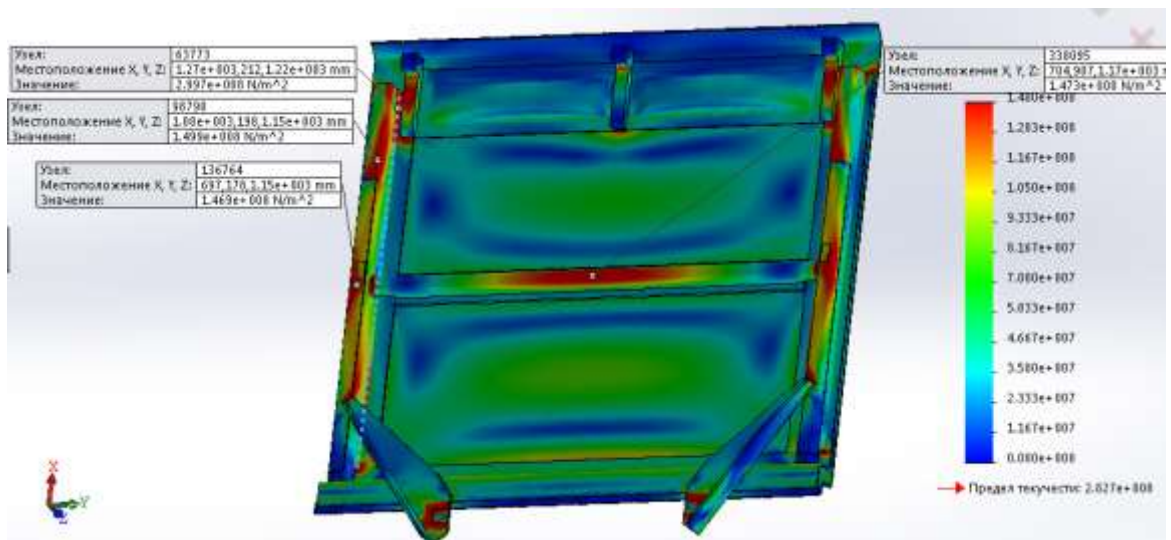


Рисунок 1.36 – Напружено-деформований стан кришки люка з плоским полотном, вид знизу

Результати такого аналізу дозволили визначити вплив гофрованого полотна на загальну картину сприйняття навантажень.

У якості наступної досліджуваної конструкції було обрано стрингерне виконання кришки люка. На рисунках 1.37 та 1.38 показані напружено-деформовані стани стрингерної кришки люка.

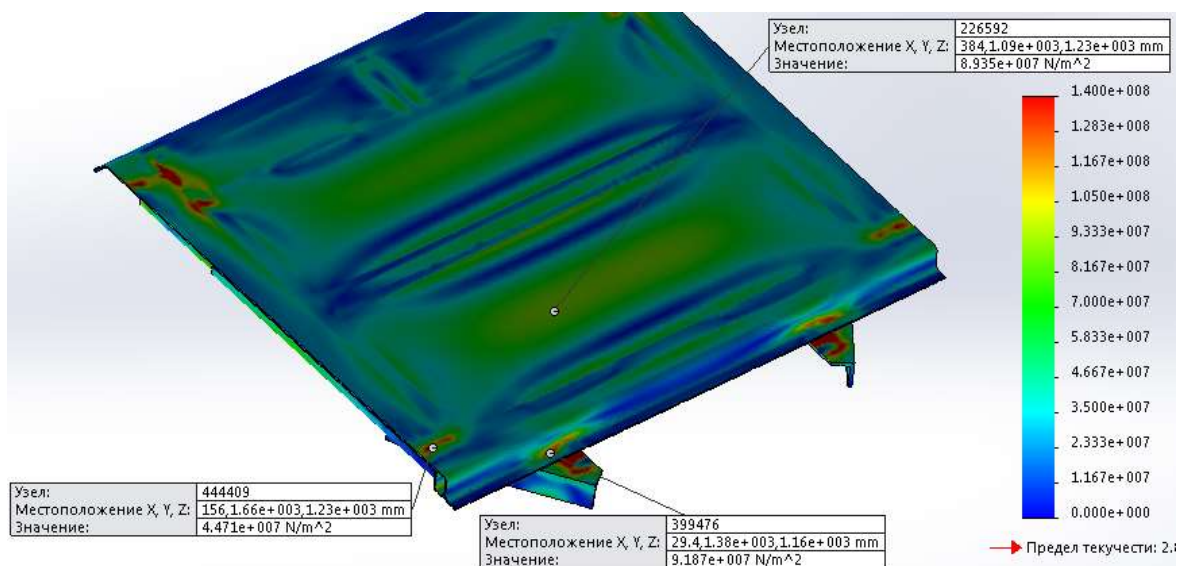


Рисунок 1.37 – Напружено-деформований стан стрингерної кришки люка, вид зверху

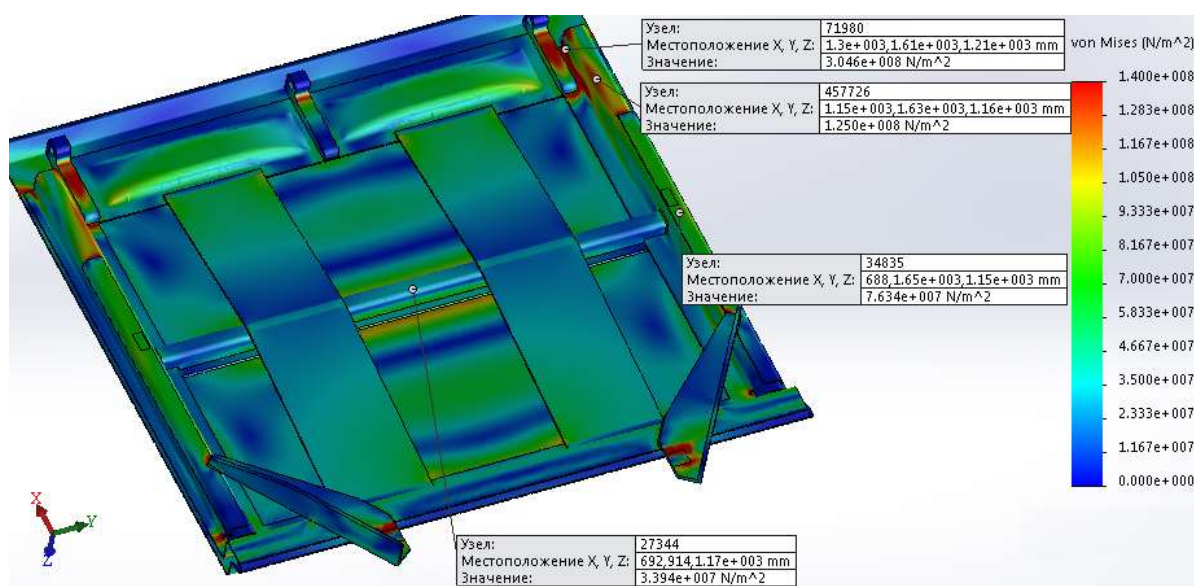


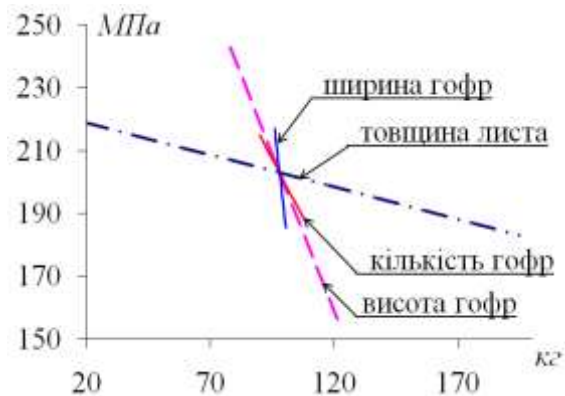
Рисунок 1.38 – Результати розрахунку стрингерної кришки люка, вид знизу

Визначено, що максимальні еквівалентні напруження стрингерної конструкції кришки люка напіввагона при падінні на неї вантажу масою 150 кг з висоти 3000 мм складають близько 188,4 МПа, максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 2,5 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується. А також з аналізу напружено-деформованого стану стрингерної кришки люка можна зробити висновок, що найбільший позитивний результат зі зниження напружень відноситься до обв'язування.

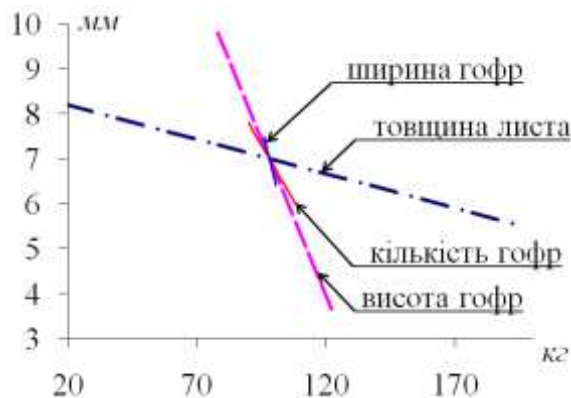
Для оцінки впливу зміни основних параметрів (висоти гофр, товщини листа, кількості та ширини гофр) гофрованого листа на міцнісні якості кришки люка були проведені чисельні розрахункові дослідження в комп'ютерному програмному комплексі. При цьому варіювалися значення наведених параметрів та визначалися значення основних показників: напружень (рисунок 1.39 а) та прогинів (рисунок 1.39 б).

Варіювання проходило наступним чином: за початкові показники висоти гофр, товщини листа, кількості та ширини гофр були обрані значення стандартного полотна кришки люка і для такого розрахункового варіанту визначені максимальні значення напружень та прогинів які виникають в конструкції кришки люка при базовому розрахунковому режимі. В подальшому були створені конструктивні варіанти кришки люка де змінювались значення змінних параметрів полотна кришки люка шляхом їх збільшення на 100% та зменшення на 80%. Створювались декілька проміжних варіантів конструктивних виконань та були проведені розрахунки з визначення максимальних напружень та прогинів. При проведенні досліджень були отримані залежності, які в усередненому вигляді графічно наведені на рисунку 1.39. Дослідження отриманих графічних залежностей дозволили зробити наступні висновки: збільшуючи висоту гофр можливо досягти значного збільшення жорсткості без значного збільшення маси; збільшення кількості гофр менш ефективно впливає на збільшення жорсткості ніж зміна їх висоти; зменшуючи товщину листа можна досягти суттєвого зниження маси

при незначній зміні жорсткості; збільшення ширини гофр майже не впливає на зміну жорсткості.



а)



б)

Рисунок 1.39 – Усереднені графічні залежності зміни основних показників полотна кришки люка від варіювання параметрів  
а – залежності зміни напружень; б – залежності зміни прогинів.

### 1.7 Фактори впливу на системну ефективність транспортного засобу

Фактори впливу на системну ефективність транспортного засобу [5-8, 12-15, 32-36, 71] пропонується розглянути на прикладі напіввагонів.

Підприємства та організації, діяльність яких пов'язана з виготовленням та використанням вантажних вагонів, вказують на необхідність спрямування

науково-технічної політики на системне підвищення економічного ефекту від їх використання на всіх стадіях життєвого циклу.

Поряд із зазначеним на нинішній час однією із найбільш критичних економічних проблем вагобудівної та вагоексплуатуючої видів господарчої діяльності є створення сучасних напіввагонів які б характеризувалися зменшеною початковою вартістю. Така ситуація пояснюється тим, що значна частка парків напіввагонів залізничних транспортних компаній морально та фізично застаріла. Для забезпечення власної ринкової конкурентоспроможності вони проводять роботи з модернізації та подовження терміну експлуатації таких напіввагонів. Проте більш ефективним шляхом розв'язання наведеної проблеми є оновлення парків напіввагонів їх новими зразками з поліпшеними техніко-економічними показниками, але транспортні компанії готові закуповувати новозбудовані вагони за ціною на 20-30 % нижче від ринкової. Зазначена закупівельна ціна визначена нинішніми відносно низькими доходними ставками на перевезення (зниження яких і надалі прогнозується) з урахуванням економічно обґрунтованого терміну окупності напіввагонів. Неможливість виконання таких вимог змусила більшість виробників напіввагонів зупинили їх виробництво, що призвело до скорочення персоналу, обсягів відрахувань до бюджетної сфери, об'ємів замовлень металопрокату та відповідних обсягів перевезень. Одним із перспективних шляхів подолання кризи, що утворилася є розроблення нових конструкцій напіввагонів, які будуть задовольняти сучасним як технічним, так і економічним вимогам вантажоперевізників.

Підсумовуючи усе вищенаведене можна сказати, що на сьогодні є важливим та своєчасним розгляд і вирішення проблеми зменшення початкової вартості напіввагонів чи/та відшукування більш ефективних моделей їх існування. Для вирішення вказаної науково-практичної проблеми першочергово необхідно комплексно дослідити дохідні та витратні частини життєвого циклу напіввагонів. При цьому результати вивчення відповідних наукових та довідкових технічних і економічних джерел засвідчили про відсутність

публікацій в яких би змістовно розв'язувалось це актуальне та важливе питання.

У представленому дослідженні [15-23, 37-52, 80-84] аналізуються дохідні та розхідні частини формування вартості продукту та послуг на всіх стадіях життєвого циклу напіввагонів, з поглибленим розглядом формування витрат на створення відповідних матеріалів та комплектуючих. На основі таких робіт обґрунтовані потенційні напрямки підвищення корисного економічного ефекту від системи життєвого циклу напіввагонів, в тому числі від: розроблення, впровадження у виробництво, виготовлення, експлуатації та утилізації. У якості доцільності застосування результатів проведеного дослідження приведені узагальнене визначення розрахункового значення сучасної (з урахуванням сучасних – вартості життєвого циклу напіввагонів та особливостей строку його експлуатації) добової доходної ставки та економічні оцінки запропонованих перспективних концепційних виконань несучих систем напіввагонів.

Перший та другий етапи життєвого циклу (етапи проектування та виготовлення) включають до себе: попередні маркетингові дослідження, підготовку технічних вимог до даної моделі напіввагонів, проведення відповідних науково-дослідних, дослідно-конструкторських, дослідно-технологічних, проектних та конструкторських робіт, підготовку виробництва, виготовлення дослідних зразків, їх випробування і приймання, сертифікацію, серійне виробництво. Третій етап життєвого циклу являє собою час експлуатації напіввагонів на залізницях, в т.ч. час технічного обслуговування та ремонтів. Четвертий, завершальний, етап життєвого циклу – це вилучення напіввагонів з експлуатації та його утилізація.

Всі етапи життєвого циклу напіввагонів пов'язані з витратами та прибутками. Відомо, що збільшити економічний ефект, як суму прибутків, від життєвого циклу напіввагонів можливо шляхом підвищення відповідних доходів чи зниження відповідних витрат (економії ресурсів на одиницю продукції) при його розробленні, впровадженні у виробництво, виготовленні, використанні та утилізації. Тому при проведенні даного дослідження

економічний ефект розглянуто, як різницю між доходами та відповідними витратами від життєвого циклу напіввагонів, що можна умовно представити у вигляді наступної формули:

$$\sum \text{ЕЕН} = \sum \text{ДЖЦН} - \sum \text{ВЖЦН}, \quad (1.8)$$

де  $\sum \text{ЕЕН}$  – сумарний економічний ефект за життєвого циклу напіввагонів, грн;

$\sum \text{ДЖЦН}$  – сума доходів за життєвого циклу напіввагонів, грн;

$\sum \text{ВЖЦН}$  – сума витрат за життєвого циклу напіввагонів, грн.

При цьому  $\sum \text{ЕЕН}$  можливо розглядати як такий, що складається із суми економічних ефектів, які отримуються на кожному з вищеперелічених етапів його життєвого циклу. Тому і комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагонів доцільно проводити у відповідності до кожного етапу.

Результати аналізу пов'язаної з досліджуваним питанням літератури вказали на те, що завдання визначення вартості життєвого циклу вантажних вагонів раніше вже вирішувалось, проте основну увагу при цьому було сконцентровано на їх експлуатації, а розгляду економічних питань придбання (включають витрати на проектування, впровадження у виробництво, виготовлення і оформлення) приділено недостатню увагу. Тому у даній роботі представлено та прокоментовано розроблену узагальнюючу схему витрат за життєвого циклу напіввагонів, з розгортанням витрат на його придбання. А аналіз підвищення економічного ефекту в експлуатації та утилізації напіввагонів проводиться на основі вже відомих відповідних математичних описань.

На рисунку 1.40 представлено розроблену схему витрат організацій на балансі яких знаходиться напіввагонів у відповідній стадії життєвого циклу, з деталізацією витрат на його придбання, а також поглибленим розглядом основних витрат на складові вартості металопрокату. Доцільність такого

поглиблення пояснюється тим, що напіввагон (як і переважна частина вантажних вагонів) на сьогодні майже повністю виготовляють із сталі, що з урахуванням масовості їх парку (який постійно необхідно оновлювати та ремонтувати) робить вагонобудівну галузь однією із найбільших компонент у державній системі перероблення залізничної сировини у технічні засоби. Тому урахування цього факту при відшукуванні шляхів підвищення економічного ефекту від життєвого циклу напіввагонів є важливим.

Для підвищення інформативності розробленої схеми її було розбито на вісім ієрархічних (декомпозиційних) рівнів. При цьому кожний наступний рівень формується складовими елементами попереднього рівня.

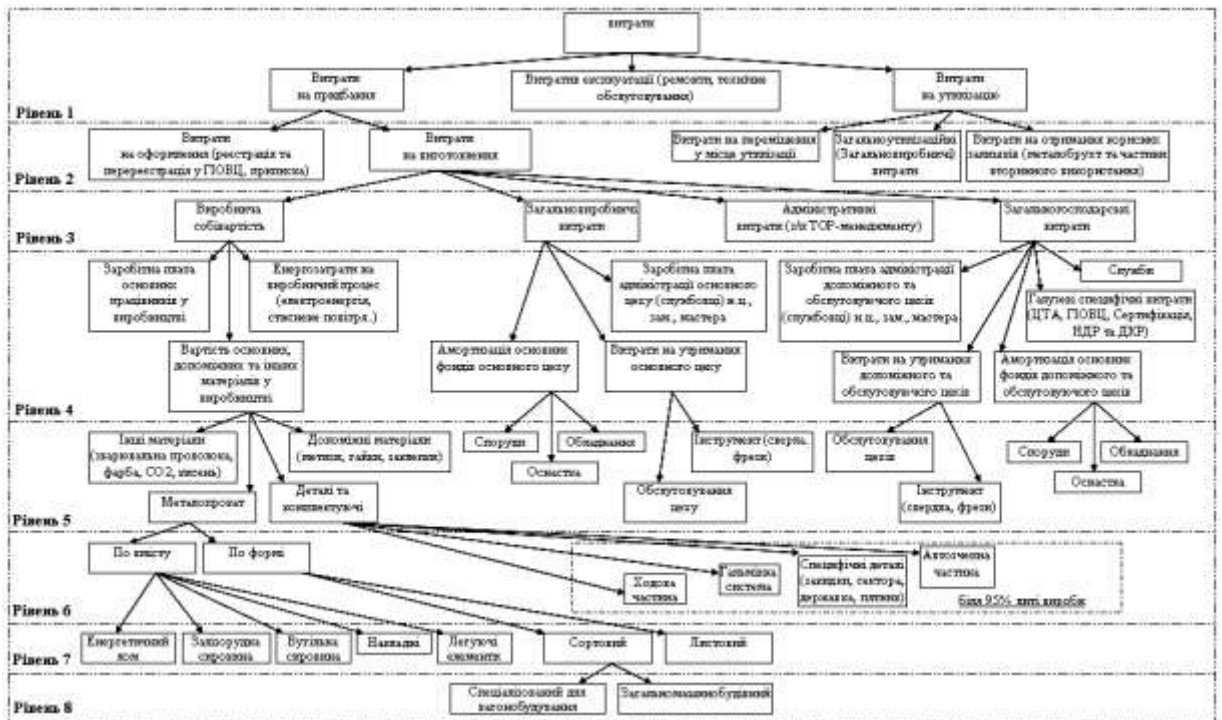


Рисунок 1.40 – Дерево розгортання витрат за життєвого циклу напіввагонів з поглибленою деталізацією витрат на його придбання

Аналізуючи представлену на рисунку 1.40 схему можна зробити наступні пояснення та висновки. Видно, що наведені на першому ієрархічному рівні загальні витрати за життєвого циклу напіввагонів складаються із витрат на його придбання, витрат у експлуатації та витрат на утилізацію. В подальшому

(на нижчих рівнях) детально розглянуто витрати на придбання напіввагонів та скорочено (складові елементи витрат розгорнуто лише до другого рівня) експлуатаційні та утилізаційні витрати.

На другому ієрархічному рівні розробленого дерева знаходяться складові елементи витрат на придбання та утилізацію напіввагонів. Так витрати на придбання включають витрати на оформлення (для України це реєстрація та перереєстрація у Державному підприємстві Головний інформаційно-обчислювальний центр Укрзалізниці (ГІОВЦ), приписка) напіввагонів, що є обов'язковим для вагонів які планується використовувати на магістральних шляхах загального сполучення. При цьому такі витрати є незначними у порівнянні з витратами на виготовлення і становлять на сьогодні менше ніж 0,5% його вартості. Тому можна сказати що ключову роль у формуванні початкової вартості напіввагонів відіграють витрати на його виготовлення. Витрати на утилізацію напіввагонів включають до свого складу такі основні чинники: витрати на переміщення у місце утилізації, загальноутилізаційні витрати та витрати на отримання корисних залишків (металобрухт та частини вторинного використання).

Третій декомпозиційний рівень включає чотири складові витрат на виготовлення напіввагонів: виробнича собівартість, загальновиробничі витрати, адміністративні та загальногосподарські витрати. Слід сказати про те, що у зв'язку із все більшим розповсюдженням тенденції поглинання малих виробництв більшими корпораціями, то і складова адміністративних витрат (в тому числі витрати пов'язані з ТОП-менеджментом) починає набирати більшої власної ваги. Проте скорочення таких витрат буде позитивно відобразитись на формуванні витрат при виготовленні напіввагонів.

На четвертому рівні, розробленої схеми, знаходяться складові елементів рівня 3. Так виробничу собівартість узагальнено представлено, як таку що складається з: заробітної плати (з/п) основних працівників у виробництві; вартості основних, допоміжних та інших матеріалів у виробництві; енерговитрат на виробничий процес (включає витрати на електроенергію,

стиснене повітря і т.д.). При цьому результати аналізу вартісного співвідношення один до одного елементів вище представленої групи засвідчили про те, що ключову роль у виробничій собівартості виготовлення напіввагонів відіграє вартість основних, допоміжних та інших матеріалів, що складає понад 93 % загальної собівартості. Такий висновок свідчить про перспективність проведення проектувальних робіт у напрямку створення конструкцій напіввагонів у яких максимально використовуються вузлові та базові елементи власного виробництва (наприклад власне виробництво: кришок люків, гнутих профілів із листового металу замість загально застосовуваних спеціалізованих для вагонобудування прокатних профілів та інш.), а також цілеспрямованість на максимально безвідходне виробництво. Відповідно таке твердження обґрунтовує необхідність застосування/розвитку у вагонобудівній (вагоноремонтній) діяльності заготівельних потужностей. Також на четвертому рівні розташовані складові частини загальнопромислових витрат: амортизація основних фондів основних цехів, витрати на утримання основних цехів та з/п адміністрації основних цехів. Слід зазначити, що амортизація основних фондів основного цеху при підвищеному попиті може включатися до загальнопромислових витрат у більших об'ємах, ніж це доцільно робити в умовах цінової конкурентної боротьби виробників напіввагонів за покупців. Наступна група четвертого рівня сформована складовими загальногосподарських витрат до яких віднесено: з/п адміністрації допоміжних та обслуговуючих цехів, витрати на утримання допоміжних та обслуговуючих цехів, амортизацію основних фондів допоміжного та обслуговуючих цехів, галузеві специфічні витрати (витрати в рамках договорів з Центром технічного аудиту (ЦТА) Укрзалізниці Державного підприємства «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», ГІОВЦ, органами сертифікації, та на НДР і ДКР), витрати на інші служби. При цьому особливої уваги на сьогоднішній день заслуговують досить суттєві галузеві специфічні витрати. Так наприклад витрати на обов'язкову сертифікацію продукції включають витрати на цикл сертифікаційних випробувань, проведення

аудиторських перевірок і т.д. До того ж виробники напіввагонів, для представлення власної продукції на міждержавному рівні, вимушені отримувати сертифікати відповідності у декількох сертифікаційних організаціях, так наприклад вагоновиробники України зазвичай сертифікують свою продукцію у українській системі сертифікації УкрСЕПРО та російській системі сертифікації у федеральній залізничній установі «Регістр сертифікації на федеральному залізничному транспорті» (РС ФЖТ), що фактично робить витрати на сертифікацію вдвічі більшими. До того ж у зв'язку із необхідністю гідного конкурування на ринку вагонобудівники повинні достатню увагу приділяти НДР та ДКР, що вимагає залучення висококваліфікованих фахівців, застосування сучасної обчислювальної техніки, систематичного проведення випробувань та характеризується значними затратами.

На наступному, п'ятому, ієрархічному рівні розташовані складові елементів четвертого рівня. Так вартість основних, допоміжних та інших матеріалів формується витратами на: металопрокат; деталі та комплектуючі; допоміжні матеріали (метизи, гайки, заклепки); інші матеріали (зварювальна проволока, фарба,  $CO^2$ , кисень і т.д.). При цьому сумарна вартість металопрокату та деталей і комплектуючих практично складає біля 90% його виробничої собівартості. Що яскраво свідчить про те, що основним резервом зниження собівартості виготовлення напіввагонів є відшукування варіантів зниження вартості металопрокату та складових які застосовуються при його виробництві. Інші витратні складові які представлені на п'ятому рівні мають загальномашинобудівний характер і шляхи їх зниження достатньо популярно наведені у відповідній літературі, тому в даній роботі вони розгорнуто не розглядаються.

Шостий декомпозиційний рівень сформовано складовими витрат на створення металопрокату та деталей і комплектуючих. При розгляді металопрокату, який входить до складу конструкції сучасного напіввагону, з точки зору економічної доцільності його розділено по вмісту та по формі, складові яких відповідно утворюють сьомий рівень розробленого дерева

витрат. У якості складових деталей та комплектуючих, у відповідності до формалізованого описання напіввагонів, виділено витрати на модулі: ходової частини, гальмівного обладнання, автозчепного устаткування та специфічні деталі модуля кузова напіввагонів. При цьому слід відзначити, що на сьогодні біля 95% вище перелічених деталей та комплектуючих представляють собою литі сталеві вироби. На основі вищесказаного можна зробити висновок про те, що для підприємств вантажного вагонобудування перспективним є створення/розвиток власної ливарсько-зварювальної виробничої бази з метою забезпечення таких потреб. До того ж доцільність розвитку такого виробництва підтверджується тим, що на сьогодні на ринку комплектуючих для вантажних вагонів литі вироби представлені із значно завищеною (понад 30 % рентабельності) ціною, що можливо і є одним із ключових чинників описаної у першій частині статті кризи, яка утворилася. До того ж можливість виключення посередницьких надбавок при створенні комплектуючих дозволить суттєво знизити загальну собівартість напіввагонів.

Сьомий, передостанній, ієрархічний рівень запропонованого дерева сформовано складовими витратами на придбання елементів розділеного по формі та по вмісту металопродукату. Так по вмісту він включає: енергетичний лом, залізорудну сировину, вугільну сировину, легуючі елементи та відповідні накладні. Зазначені складові окремо виділені з метою підкреслення вагомості впливу видобувної та металургійної складових на вагонне виробництво. Таки чином можна зробити висновок, що одним із перспективних шляхів підвищення економічного ефекту вагонобудівної та вагоноексплуатуючої діяльності є їх підпорядкування (включення до складу) організаціям діяльності яких пов'язана з добутком та переробленням залізорудної та вугільної сировини. Таким чином можливо буде істотно впливати (за рахунок зниження рентабельності) на вартість металопродукату який є головною складовою конструкції напіввагонів, до того ж можливо буде власними транспортними силами (власним парком напіввагонів) здійснювати залізничні перевезення власної сировини та у подальшому забезпечувати також власні

потреби з металолому (при утилізації вагонів). Також зазначений напрямок є на сьогодні перспективним тому що напіввагонів можливо використовувати як готовий продукт машинобудування яким можливо розраховуватись у зустрічних залізкових схемах постачальників металургійної сировини та їх замовників. Наприклад між постачальниками залізорудної, вугільної сировини та металургійними комбінатами які її споживають і реалізують металопрокат. По формі металопрокат розділено на сортовий та листовий. При цьому на сьогодні листовий металопрокат має понад ніж на тритину меншу вартість у порівнянні з сортовим, що аргументує перспективність проведення проектувальних робіт з розроблення та впровадження конструкцій базових та вузлових складових напіввагонів із листового металопрокату (наприклад гнуті та зварювальні конструкції), та підтверджує зроблений раніше висновок про необхідність використання потужного заготівельного виробництва. До того ж перспективність даного твердження підтверджується вище представленим висновком про незначні у порівнянні з вартістю деталей та комплектуючих витратами на зарплатню та енергозатрати.

В подальшому, на останньому восьмому рівні, сортовий прокат ще розділено на спеціалізований для вагонобудування прокат та загальномашинобудівний. Слід сказати, що основні елементи несучих систем сучасних напіввагонів (балка хребтова, балка верхня, стійки стін бокових, пояси стін торцевих, обв'язування верхне та нижне стін бокових і торцевих та інш.) виконуються із спеціалізованого вагонного прокату, виробництво якого освоєно одиницями меткомбінатів. Така ситуація призвела до того, що ціни на цей прокат мають відчутно вищий рівень ніж на загальномашинобудівний, та до того ж вагонобудівники вимушені закуповувати у партіях постачання не тільки металопрокат мірної довжини а і не мірної довжини за однією ціною. Проте лише одним можливим шляхом застосування профілів з немірною довжиною є використання у несучих системах напіввагонів замість існуючих суцільних елементів їх стикованих виконань. При цьому сучасні вимоги до несучих систем вантажних вагонів, у зв'язку із недосконалістю зварювальних

технологій, забороняють використання стикованих варіантів профілів, тим самим унеможливаючи ділове застосування профілів немірної довжини. Підсумовуючи вищесказане можна зазначити, що перспективними шляхами зменшення витрат на спеціалізований вагонний металопрокат є реалізація напрямків з використання гнутих та зварювальних їх аналогів, а також застосування стикованих виконань існуючих профілів за умов забезпечення належного рівня показників надійності та безпеки руху. Можливість реалізації таких задач була підтверджена результатами попередніх досліджень.

Після придбання напіввагонів розпочинаються наступні етапи його життєвого циклу, аналіз яких в цій роботі проводиться на основі загальноприйнятих залежностей. Так вартість життєвого циклу (ВЖЦ) (LCC – Life Cycle Cost) – рухомого складу та складних технічних систем залізничного транспорту це сумарні фінансові витрати на здійснення всіх стадій життєвого циклу відповідної одиниці залізничного рухомого складу. При цьому ВЖЦ визначається по формулі:

$$ВЖЦ(LCC) = B_{np} + \sum_{t=1}^T (B_t + \Delta k_t - L_t) \cdot \alpha_t \quad (1.9)$$

де  $B_{np}$  – вартість придбання об'єкту (початкова вартість), грн;

$B_t$  – річні експлуатаційні витрати, грн.;

$\Delta k_t$  – супутні одночасові витрати, пов'язані з впровадження техніки в експлуатацію, грн.;

$L_t$  – ліквідаційна вартість об'єкту, грн.;

$\alpha_t$  – коефіцієнт дисконтування;

$T$  – кінцевий рік експлуатації, який встановлюється у відповідності з технічними вимогами чи іншою документацією (у тому числі з обліковою політикою підприємства, на балансі якого числиться об'єкт).

Коефіцієнт дисконтування для постійної норми дисконту визначається як:

$$\alpha_t = (1 + E)^{-t} = 1/(1 + E)^t; \quad (1.10)$$

де  $t$  – крок розрахункового періоду ( $t=0, 1, 2 \dots T$ );

$T$  – горизонт розрахунку (тривалість життєвого циклу);

$E$  – норма дисконту (ставка дисконтування).

При нормі дисконту, яка змінюється по рокам, коефіцієнт дисконтування визначається по формулі:

$$\alpha_t = 1/\prod_{k=1}^t (1 + E_k), \alpha_0 = 1. \quad (1.11)$$

Далі при розрахунку вартості життєвого циклу у склад доходів за період експлуатації вагону враховуються: доходи від експлуатації вагону та ліквідаційна вартість вагону.

У загальному випадку, доходи ( $D_t$ ) за період ( $t$ ) розраховуються за формулою:

$$D_t = D_e + D_{лікв} \quad (1.12)$$

де  $D_e$  – доходи від експлуатації вагону;

$D_{лікв}$  – ліквідаційна вартість вагону.

Ліквідаційна вартість вагону розраховується як тара вагону перемножена на вартість металобрухту чи по іншій вартості можливого використання.

Доходи від експлуатації вагону можна розраховувати двома способами:

- через середньодобову доходну ставку покупця з урахуванням часу, який вагон проводить у планових видах ремонту (а при наявності інформації – непланових видів ремонту);

$$D_e = d_{доб} \cdot n_{доб} \quad (1.13)$$

де  $d_{доб}$  – доходна ставка на вагон робочого парку на добу;

$n_{\text{доб.}}$  – фонд робочого часу за крок періоду розрахунку.

$$n_{\text{доб.}} = n_{\text{заг.}} - n_{\text{п.р.}} - n_{\text{н.п.р.}} \quad (1.14)$$

де  $n_{\text{заг.}}$  – фонд календарного часу в кроці періоду часу розрахунку;

$n_{\text{п.р.}}$  – час проведення планових ремонтів, враховуючи час на передислокацію;

$n_{\text{н.п.р.}}$  – час проведення непланових ремонтів, включаючи час усіх супутніх простоїв.

- через доходну ставку оператора при перевезенні визначеного вантажу по визначеному виду відправлення, визначеному маршруту з визначеним коефіцієнтом зворотного завантаження з урахуванням діючих та плануємих нормативів періодичності проведення планових ремонтів, часу подачі вагону у ремонт і його повернення вагону, строків проведення ремонтів:

$$D_e = d_{\text{в.тар.}} \cdot m_{\text{вага}} \cdot P_{\text{рейс}} \quad (1.15)$$

де  $d_{\text{в.тар.}}$  – середній тариф з урахуванням структури перевезень, що склалася базовим рухомим складом та підвищуючого/понижуючого коефіцієнта оператора, грн./т;

$m_{\text{вага}}$  – вага вантажу, який перевозиться у вагоні, т;

$P_{\text{рейс}}$  – кількість рейсів за крок розрахунку з урахуванням відстані, швидкості доставки, коефіцієнту порожнього пробігу і часу, проведеного у планових та непланових (при наявності інформації) видах ремонтів.

$$P_{\text{рейс}} = \frac{n_{\text{заг.}} - n_{\text{п.р.}} - n_{\text{н.п.р.}}}{n_{1\text{рейс}}} \quad (1.16)$$

$n_{1\text{рейс}}$  – тривалість 1 рейсу (середній оборот вагону).

Тривалість 1 рейсу розраховується по формулі:

$$n_{\text{перев.}} = \left( \frac{l}{v} \right) + \left( \frac{l}{v} \cdot k_{\text{нор.}} \right) + n_{\text{зав.}} + n_{\text{розв.}} \quad (1.17)$$

де  $l$  – відстань перевезення, км;

$v$  – швидкість доставки вантажу від станції завантаження до станції розвантаження, км/доб.;

$k_{\text{нор.}}$  – коефіцієнт порожнього пробігу;

$n_{\text{зав.}}$  – час завантаження, включаючи подавання-прибирання, доб.;

$n_{\text{розв.}}$  – час розвантаження, включаючи подавання-прибирання, доб.

При розрахунку різниці у доходах другим способом вихідні дані у частині виду відправлення, обраного маршруту і виду вантажу приймаються однаковими для нового та серійного аналогу. Доходна ставка оператора визначається по діючій нормативній базі з урахуванням діючих на ринку націнок або скидок по обраному виду відправки.

Далі розглянуто склад показників, які формують витрати на експлуатацію вантажних вагонів (в т.ч. напіввагонів). При розрахунку вартості життєвого циклу у склад витрат за період експлуатації вагону сума витрат за кожний період розраховується по формулі:

$$B_i = \sum_{i=1}^v \epsilon_i \quad (1.18)$$

де  $\epsilon_1$  – вартість деповського ремонту з урахуванням нормативів періодичності його проведення (по пробігу, але не менше одного разу у  $n$  років);

$\epsilon_2$  – вартість капітального ремонту з урахуванням його проведення у строк визначений виробником;

$\epsilon_3$  – вартість обточки коліс по нормативному пробігу;

$\epsilon_4$  – вартість непланових видів ремонту (при наявності інформації) з урахуванням ймовірності їх виникнення;

$\epsilon_5$  – вартість вузлів та комплектуючих, які належать до заміни з урахуванням їх нормативного чи заявленого ресурсу та вартості робіт по їх

заміні (при розрахунку лімітної вартості комплектуючих для вантажного вагону), визначається виходячи з вартості і нормативів витрат вузлів та комплектуючих при проведенні планових та непланових видів ремонту;

$v_6$  – вартість проведення підготовки вагонів (у випадку, якщо неоднакова періодичність або вартість робіт);

$v_7$  – вартість порожнього пробігу з урахуванням коефіцієнту порожнього пробігу (при розрахунку доходів по другому варіанту і у випадку, що для сучасних моделей вантажних вагонів застосовуються різні тарифні схеми по оплаті порожнього пробігу);

$v_8$  – амортизація;

$v_{9, 10}$  – різного роду податки;

$v_{11}$  – інфраструктурно-локомотивна складова тарифу (при розрахунку різниці доходів другим способом);

$v_U$  – інші витрати, які не є однаковими для порівнювальних моделей вантажних вагонів, тобто вартість чи періодичність яких неоднакова (витрати на підготовку вагону до перевезення, очищення, закріплення вантажу і т.д.) без залежності від того, хто несе ці витрати – оператор, вантажовідправник чи вантажоодержувач.

Проаналізувавши вищезазначені залежності можна зробити наступні висновки про витратні та дохідні частини експлуатації та ліквідації напіввагонів. До основних витрат які виникають в процесі експлуатації напіввагонів можна віднести витрати зазначені у формулі 1.18, і пониження кожної з них позитивно впливатиме на економічну ефективність роботи напіввагонів.

Дохідність експлуатації напіввагонів збільшується при: підвищенні вантажопідйомності напіввагонів, скороченні часу і вартостей, збільшенні періодичності ремонтів, підвищенні швидкості переміщення (як порожнього так і завантаженого) напіввагонів, а також збільшенні кількості виконуваних доходних рейсів у період часу. При цьому кожний з наведених напрямків має наступні шляхи вирішення. Так перспективними шляхами підвищення

вантажопідйомності напіввагонів є збільшення осьового навантаження чи/та більш ефективне використання його металоконструкцій. При цьому напрямок підвищення осьового навантаження пов'язаний з необхідністю проведення відповідних робіт з модернізації колійного господарства, що характеризується необхідністю значних капіталовкладень. Більш ефективне використання металоконструкцій напіввагонів направлено на зниження його матеріалоемності з відповідним підвищенням вантажопідйомності, що можливо досягти шляхом застосування матеріалів з поліпшеними у порівнянні з існуючими міцнісно-масовими показниками чи підвищення раціоналізації використання металу. На сьогоднішній день питанню зменшення виходів у ремонт вагонів приділяється суттєва увага. Так наприклад у результаті проведення таких робіт були розроблені та впроваджені у виробництво ходові частини вагонів які забезпечують збільшені пробіги між ремонтами, а також запропоновано на таких вагонах застосовувати матеріали з поліпшеними характеристиками корозійної стійкості. Проте зазначені вагони на сьогодні мають значно більшу початкову вартість, і тому не набули загального розповсюдження. Значний вплив на підвищення доходності роботи напіввагонів має швидкість їх руху як у порожньому так і у завантаженому стані. Наприклад підвищення їх швидкості на 20 км\год дозволить майже на чверть знизити тривалість одного рейсу та відповідно збільшити кількість рейсів у проміжку часу. Прикладом позитивних кроків вирішення такого технічного завдання є застосування ковзунів постійного контакту та зносостійких елементів у зонах взаємодії модулів кузова та ходової частини що дозволило підвищити дозволена швидкість руху вагонів, проте цей напрямок ще має потенціал розвитку. Проблема підвищення кількості рейсів напіввагонів у період часу до того ж пов'язана із ефективністю роботи операторів, завантажувальних та розвантажувальних комплексів. Позитивними рішеннями даних задач є: зменшення порожнього пробігу вагону, шляхом відшукування маршрутів із максимальним часом пробігу завантаженого вагону, зменшення часу завантаження та розвантаження напіввагонів.

На ліквідаційну вартість вагону позитивно вплине вилучення із його конструкції після списання ділових (які можливо застосовувати у подальшому) комплектуючих.

З урахуванням вищепредставлених висновків проведеного дослідження запропоновано на рисунку 1.41 сучасну базову схему максимально-ефективної вагонобудівної та вагоноексплуатуючої діяльності.



Рисунок 1.41 – Схема для пошуку потенційних джерел підвищення економічного ефекту від створення та експлуатації напіввагонів

В рамках описання представленої схеми можна зробити наступні коментарі. З рисунку 1.41 видно, що залізо-вугільна сировина та енергетичний лом сировинної бази перероблюються на металургійній базі у сортовий та листовий металопрокат. Із металургійної бази металовироби потрапляють до заготівельного виробництва виробничої бази. В рамках заготівельного виробництва планується розміщення потужного машинобудівного комплексу для забезпечення потреб з комплектуючих для вагонобудування та вагоноремонтну, а також потреб з виготовлення та ремонту машинобудівної продукції сировинної та металургійної баз. Після чого із готових комплектуючих, які вийшли із заготівельної частини, збираються вузли та загальна конструкція напіввагонів, який в подальшому направляється у експлуатацію. Основним завданням експлуатаційної служби (стрілка 2) є забезпечення безперебійної роботи парку напіввагонів, що виконується шляхом задоволення власних потреб з перевезення продукції сировинної та металургійної баз, а також виконання сторонніх замовлень. До того ж служба яка замається експлуатацією

вагонів повинна своєчасно направляти напіввагонів власного парку на власну виробничу базу у ремонті (стрілка 1), при цьому вони потрапляють до промислової площадки обладнаної спеціалізованим вагоноремонтним устаткуванням (наприклад машини для чистки, правильні машини і т.д.) де проходять розбирання та ремонт у необхідних об'ємах та потім направляються до вагонозбиральних потужностей де доукомплектовуються необхідними частинами, які виготовлено на заготівельному виробництві та збираються. Після збирання вагон направляється знов до експлуатації. Після вичерпання дозволеного строку експлуатації напіввагон направляється (стрілка 3) в утилізацію, промислові потужності якої також знаходяться на власній виробничій базі, де від вагону відділяють ділові відходи, які направляють до подальшого використання, а інші металовироби у енергетичний лом на переробку. Для забезпечення можливості завантаження додатковими комерційними об'ємами роботи власних: парку напіввагонів, вагонобудівного, вагоноремонтного, вагоноутилізаційного та заготівельного виробництв, при їх створенні необхідно передбачити можливість задоволення відповідних потреб. Наприклад у виробництвах шляхом організації базового виробничого колективу з можливістю ситуативного оперативного його розширення найманими робочими. Також в рамках комплексу, що розглядається, пропонується створення адміністративного об'єднання наукового та інженерно-технічного персоналу, основними функціями якого буде: 1) проведення НДР та ДКР з метою створення власних конкурентоспроможних, максимальноадаптованих до власних особливостей сировинної, металургійної, виробничої та експлуатуючої баз моделей напіввагонів (вантажних вагонів); 2) розроблення типорозмірного ряду модифікацій напіввагонів (вантажних вагонів), сформованого моделями які будуть задовольняти різним тенденціям ринку вагонобудування та експлуатації; 3) узгодження та забезпечення ефективної взаємодії баз системи; 4) технічне супроводження вагонобудівного, вагоноремонтного та вагоноутилізаційного виробництв; 5) транспортно-експедиційна та операторська діяльність; 6) моніторинг ринків сировини і вагонобудування; 7) техніко-інженерне супроводження машинобудівних

потреб сировинної та металургійної баз (наприклад розроблення технічної документації для створення і ремонтів гірсько-шахтного обладнання) тощо.

Обґрунтовуючи доцільність застосування запропонованої схеми можна сказати наступне. З урахуванням того, що основним призначенням напіввагонів є перевезення насипних та навалочних вантажів, які не потребують захисту від атмосферних опадів, та при цьому вагому частину таких вантажів складають залізо-вугільна сировина, яка використовується при виробництві металопрокату та литих комплектуючих із якого будується напіввагон, доцільно вагобудівне виробництво та вагоноексплуатуючу транспортну компанію організувати в рамках сировино-видобувного та перероблюючого об'єднання. При такій організації добувна та перероблюючі складові будуть постійно забезпечені власними транспортними потужностями та не будуть залежати від зовнішнього постачальника транспортних послуг. До того ж з'являється можливість при виробництві вагонних металопрокату та комплектуючих застосовувати їх на власні вагобудівні та вагоноремонтні потреби за ціною собівартості, що забезпечить можливість зниження відповідних витрат. До того ж у зв'язку з тим, що вагобудівний, вагоноремонтний та гірсько-шахтний комплекси є вагомими замовниками загальновиготовляемого металопрокату, відповідно з'явиться постійна платформа реалізації залізо-вугільної сировини та металургійних виробів. При цьому пропонується в рамках виробничої бази розмістити обладнання для задоволення заготівельних, вагонозбиральних, вагоноремонтних та вагоноутилізаційних потреб зі створенням потужного загальномашинобудівного та машиноремонтного комплексу у рамках заготівельного виробництва, що пояснюється економічною доцільністю. Основними факторами якої є наступні твердження: 1) розміщення вагобудівного та вагоноремонтних виробництв на одній промисловій площадці забезпечить економію матеріальних засобів шляхом залучення заготівельного виробництва, як при будівництві вагонів так і на вагоноремонтні потреби, та виключить необхідність забезпечення кожного з

них окремими заготівельними виробництвами; 2) у зв'язку з тим, що при виробництві та ремонті напіввагонів можливо застосовувати робочих однієї спеціальності (у загальному випадку слюсарі з виробництва та ремонту засобів машинобудування, зварювальники) можливо буде базовий колектив безперебійно забезпечувати роботою. Так спочатку людей залучають до будівництва напіввагонів, а в подальшому і до їх ремонтів. А робітників заготівельного виробництва і на потреби: вагонобудування, вагоноремонтну, машинобудування сировинної та металургійної баз; 3) власне вагоноутилізаційне виробництво забезпечить можливість вторинного використання ділових залишків напіввагонів, які вичерпали строк служби та задовольняти потреби металургійної бази якісним енергетичним ломом; 4) до того ж використання власних ремонтних потужностей та металургійної бази дозволить гарантувати якість ремонтів напіввагонів та подовжити строк їх експлуатації; 5) при залученні власних фахівців з вагоноремонтну та експлуатації можливо буде більш ефективно визначати стратегію проведення ремонтів (наприклад в залежності від економічної доцільності визначати необхідність повної заміни кузовів напіввагонів при проведенні КР, КРП замість їх часткових ремонтів). Концентрація наукових та інженерно-технічних фахівців у одному центрі забезпечить можливість комплексного, якісного збору та переробки інформації щодо вимог ринку вагонобудування із експлуатації, максимального урахування вагоноремонтних особливостей при проектуванні та конструюванні, використання власних металургійних потужностей для створення відповідних профілів та комплектуючих, що у сукупності буде забезпечувати гідні якісні та конкурентоспроможні показники напіввагонів. Однією із основних переваг запропонованої схеми забезпечення максимально-ефективної вагонобудівної та вагоноексплуатуючої діяльності є те, що при її реалізації можливо досягти безперебійної роботи системи від сировино-видобувної складової до експлуатаційної. Реалізація такого проекту забезпечить зниження початкової вартості напіввагонів за рахунок використання металопрокату та комплектуючих по собівартості, які також

будуть створюватись із сировини по собівартості. До того ж залучення власних науково-технічного та експлуатаційного центру дозволить знизити ВЖЦ напіввагонів, а також задовольнити інженерно-машинобудівні потреби сировинної та металургійної баз. Залучення власних наукового та інженерно-технічного центру і заготівельного виробництва з потужним машинобудівним комплексом дозволить суттєво скоротити адміністративні, загальногосподарські, загальновиробничі як при виробництві напіввагонів так і у рамках всієї запропонованої системи. Можливо сучасна ринкова криза у вагонобудівній та вагоноексплуатуючій діяльності і підштовхує відповідних господарських суб'єктів до відшукування та реалізації подібних проектів.

У якості існуючих прикладів доцільності застосування запропонованої схеми можна навести позитивний досвід роботи таких українських підприємств як: ДП «Укрспецвагон» та ПАТ «Азовмаш», які у нинішній кризовій ситуації (як і у період попередньої економічної кризи) продовжують працювати. Зазначене пояснюється тим, що ДП «Укрспецвагон» до складу своєї виробничої бази включає потужності з: вагоноремонтну, будівництва вагонів та їх утилізації, що з урахуванням власного експлуатаційного центру дозволяє підприємству бути постійно забезпеченим роботою. ПАТ «Азовмаш» володіє власним ливарським виробництвом вагонних комплектуючих, яке повністю задовольняє потреби широкої номенклатури моделей вантажних вагонів, яка в свою чергу була розроблена та продовжує розвиватися на базі власного потужного інженерно-технічного центру.

Далі в рамках перевірки правильності результатів проведеного аналізу вартості життєвого циклу приводяться дані з визначення сучасного розрахункового значення доходної ставки. Нижче наведена виведена на основі вище представлених залежностей розгорнута формула для визначення вартості життєвого циклу сучасного напіввагонів:

$$\begin{aligned}
B_H = & (B_{\text{купили}} \cdot \kappa_0 + B_{\text{ДР1}} \cdot \kappa_1 + B_{\text{ДР2}} \cdot \kappa_2 + B_{\text{ДР3}} \cdot \kappa_3 + B_{\text{ДР4}} \cdot \kappa_4 + B_{\text{КР}} \cdot \kappa_5 + \\
& + B_{\text{ДР5}} \cdot \kappa_6 + B_{\text{ДР6}} \cdot \kappa_7 + B_{\text{ДР7}} \cdot \kappa_8 + B_{\text{ДР8}} \cdot \kappa_9 + B_{\text{КРП}} \cdot \kappa_{10} + B_{\text{ДР9}} \cdot \kappa_{11} + \\
& + B_{\text{ДР10}} \cdot \kappa_{12} + B_{\text{ДР11}} \cdot \kappa_{13} + B_{\text{ДР12}} \cdot \kappa_{14}) \cdot P - B_{\text{залишок}};
\end{aligned}
\tag{1.19}$$

де  $B_H$  – вартість життєвого циклу сучасного напіввагону;

$B_{\text{купили}}$  – початкова вартість сучасного напіввагону;

$\kappa_0$ - $\kappa_{14}$  – поправочні коефіцієнти (на основі коефіцієнту дисконтування), які враховують інфляцію/індексацію;

$B_{\text{ДР1}}$  – вартість проведення першого деповського ремонту (ДР), який на сьогодні виконується через 210 тис.км пробігу але не пізніше 3 років від будівництва напіввагонів;

$B_{\text{ДР2}}$  – вартість проведення другого ДР, виконується через 110тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього ДР;

$B_{\text{ДР3}}$  – вартість проведення третього ДР, виконується через 110тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього ДР;

$B_{\text{ДР4}}$  – вартість проведення четвертого ДР, виконується через 110тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього ДР;

$B_{\text{КР}}$  – вартість проведення капітального ремонту (КР), виконується через 11 років від будівництва напіввагонів;

$B_{\text{ДР5}}$  – вартість проведення п'ятого ДР, виконується через 160тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього КР;

$B_{\text{ДР6}}$  – вартість проведення шостого ДР, виконується через 110тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього ДР;

$B_{\text{ДР7}}$  – вартість проведення сьомого ДР, виконується через 110тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього ДР;

$B_{\text{ДР8}}$  – вартість проведення восьмого ДР, виконується через 110тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього ДР;

$B_{\text{КРП}}$  – вартість проведення капітального ремонту з подовженням строку корисного використання (КРП), виконується через 110тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього ДР чи 22 років від будівництва напіввагону;

$V_{ДР9}$  – вартість проведення дев'ятого ДР, виконується через 160тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього КРП;

$V_{ДР10}$  – вартість проведення десятого ДР, виконується через 110тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього ДР;

$V_{ДР11}$  – вартість проведення одинадцятого ДР, виконується через 110тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього ДР;

$V_{ДР12}$  – вартість проведення дванадцятого ДР, виконується через 110тис.км пробігу але не пізніше 2 років від попереднього ДР;

$P$  – рентабельність;

$V_{залишкова}$  – залишкова вартість напіввагону, яку спрощено можна представити як:

$$V_{залишкова} = T_{залишкова} \cdot V_{мет.лому} \quad (1.20)$$

де  $T_{залишкова}$  – тара напіввагонів на момент його списання;

$V_{мет.лому}$  – вартість лому металу.

Далі на основі  $V_H$  розраховується добова доходна ставка ( $d_{доб.}$ ) напіввагонів. При проведенні розрахунків були взяті із [www.ukrstat.gov.ua, www.gks.ru, www.pg-online.ru] відповідні узагальнено-середні ціни 2012-2013 років. Так при розрахунку використані наступні дані: початкова вартість напіввагонів  $V_{купівлі} = 520$ тис.грн, поправочні коефіцієнти  $\kappa_0-\kappa_{14} = 3-0,1$ ; вартість  $V_{ДР1}, V_{ДР5}, V_{ДР9} = 5$ тис.грн, вартість  $V_{ДР2}, V_{ДР3}, V_{ДР4}, V_{ДР6}, V_{ДР7}, V_{ДР8}, V_{ДР10}, V_{ДР11}, V_{ДР12} = 8$ тис.грн; вартість  $V_{КР} = 150$ тис.грн, вартість  $V_{КРП} = 300$ тис.грн, рентабельність  $P=25\%$ ,  $T_{залишкова} = 23$ т,  $V_{мет.лому} = 3$ тис.грн і тоді:

$$\begin{aligned} V_B = & (520 \cdot 3 + 5 \cdot 2,7 + 8 \cdot 2,5 + 8 \cdot 2,3 + 8 \cdot 2,1 + 150 \cdot 1,9 + 5 \cdot 1,7 + \\ & + 8 \cdot 1,5 + 8 \cdot 1,3 + 8 \cdot 1,1 + 300 \cdot 0,9 + 5 \cdot 0,7 + 8 \cdot 0,5 + 8 \cdot 0,3 + \\ & + 8 \cdot 0,1) \cdot 1,25 - 23 \cdot 3 = 2980 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Сучасна ринково обґрунтована усереднена добова доходна ставка ( $d_{доб.}$ ) визначається як співвідношення:

$$d_{доб.} = \frac{B_B}{t_{max} \cdot t_{рик}}, \quad (1.21)$$

де  $t_{max}$  – розрахункова кількість років експлуатації напіввагону;

$t_{рик}$  – розрахункова річна середня кількість робочих діб напіввагонів.

При  $t_{max} = 33$ роки та  $t_{рик} = 350$ діб  $d_{доб.} = 0,258$ тис.грн. Порівнюючи отримане розраховане значення  $d_{доб.} = 0,258$ тис.грн із сучасним існуючим на ринку середнім значенням  $d_{доб.} = 120-160$  грн [[www.pg-online.ru](http://www.pg-online.ru), <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=910242>], можна сказати про підтвердження правильності зроблених висновків необхідності зниження початкової вартості напіввагонів. Слід додати що прогнозується підвищення вартості проведення ремонтів напіввагонів і тому відповідно зросте і їх ВЖЦ з витікаючими наслідками.

У відповідності до формул 1.19 та 1.21 зворотнім розрахунком знаючи існуюче значення доходної ставки та сучасні вартісні показники експлуатації напіввагонів можливо визначити економічно-обґрунтований рівень його початкової вартості.

## **2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ АДАПТИВНОСТІ НЕСУЧИХ, ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ ТА ЕКІПАЖНИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПРИКЛАДІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ДО ДІЮЧИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ВИНИКАЮЧИХ НАПРУЖЕНЬ**

### **2.1 Теоретичні аспекти створення мультифункціональних складових вантажних вагонів**

Мультифункціональність [35-34, 42-52, 57, 58] є одним із ключових напрямків удосконалення технічних систем в теорії вирішення винахідницьких задач. При цьому такий напрямок відноситься до принципу універсальності, тобто одного з головних принципів вирішення протиріч для підвищення ступеня ідеальності технічної системи.

До очікуваних результатів розробки та впровадження мультифункціональних складових вантажних вагонів слід віднести: зменшення їх власної маси, покращення експлуатаційних властивостей, зменшення кількості елементів та надлишкових зв'язків, підвищення надійності та безпеки руху. І як наслідок суттєве зменшення витрат на їх: виготовлення, експлуатацію, обслуговування, ремонти та інше.

Визначені та представлені ключові напрямки створення мультифункціональних складових вантажних вагонів, а саме: пружно-дисипативний, нежорсткий шарнірний, мультиматеріальний та корисно попередньо-напружений і / або деформований.

Отримані та представлені в науковій праці напрацювання зі створення мультифункціональних складових вантажних вагонів стануть основою для вирішення відповідних задач практичного рівня.

Слід зазначити, що для формування способів підвищення мультифункціональності вагонних складових доцільно використовувати відповідного характеру опубліковані матеріали для рухомого складу та інших засобів транспорту, досвід зі створення та використання засобів машинобудування та творчі наукові гіпотези.

Серед значної кількості відомих шляхів створення мультифункціональних об'єктів умовно можна виділити наступні основні напрямки:

1. Поєднання окремих за виконанням функцій елементів;
2. Перевтілення функціонального елемента або функціонального угруповання елементів;
3. Виявлення та реалізація додаткових функцій на тій же ресурсній базі;
4. Виявлення та реалізація додаткових функцій на новій ресурсній базі.

В якості напрямку створення мультифункціональних об'єктів можна відзначити перший напрямок, тому розглянемо виділені основні шляхи його реалізації:

- з'єднання різного рівня конструктивної ієрархії (модулів, вузлів, базових елементів) складових без зміни їх форм та властивостей;
- з'єднання різного рівня конструктивної ієрархії (модулів, вузлів, базових елементів) складових з їх взаємоузгодженням форм та властивостей;
- введення нових принципів функціонування до вагонних конструктивів на існуючій елементній базі;
- введення нових принципів функціонування до вагонних конструктивів на новій елементній базі;
- урахування на стадії проектування передумов для конструктивного впровадження майбутніх інноваційних рішень конструкції.

У відповідності до основних положень функціонально-вартісного аналізу різних систем, кожен об'єкт можна умовно представити у вигляді

конструктивно-об'єднаної сукупності функціональних елементів, які можуть бути розділені на чотири групи: головні, основні, допоміжні та непотрібні. Головні функції мають головні елементи. Основні функції відносяться до елементів, які безпосередньо забезпечують роботу головних елементів; при виключенні будь-якої основної функції головні функції в принципі не можуть бути реалізовані. Допоміжні функції відносяться до елементів, які роблять реалізацію головної чи основної функції більш ефективною, більш прийнятною чи привабливою для споживача та т.п.; при виключенні будь-якої допоміжної функції працездатність об'єкту залишається, проте погіршуються деякі показники якості. Непотрібні функції відносяться до елементів, які не відіграють істотної (або ніякої) ролі у забезпеченні працездатності об'єкту чи підвищенні його якості; таким чином, при виключенні непотрібної функції та супутніх елементів показники якості не погіршуються, а деякі можуть навіть покращуватися.

Тому конструктивний розвиток різних об'єктів в основному пов'язаний з інноваційним об'єднанням допоміжних функцій в головний елемент та виключенням додаткових.

В заключному результаті конструктивний синтез мультифункціональних складових вантажних вагонів у загальну конструкцію призведе до: зменшення її маси та підвищення вантажопідйомності, зменшення її трудомісткості при виготовленні та ремонтах, зменшуванню пошкоджуваності та накопиченню напружень, а також зменшуванню вартості життєвого циклу.

Зокрема для відшукування рішень для створення мультифункціональних складових вантажних вагонів доцільно визначати в них властивості які можуть бути використані для реалізації нових функцій. А також аналізувати нову сукупність ресурсів об'єднаних систем:

- ✓ визначення елементів, ресурсів, зв'язків об'єкта які можуть виконувати потрібні функції;
- ✓ визначення об'єднання існуючих елементів, які можуть виконувати нові функції;

✓ визначення об'єднання елементів системи з надсистемними складовими які зможуть виконувати нові функції.

Вище зазначене схематично представлено на рисунку 2.1

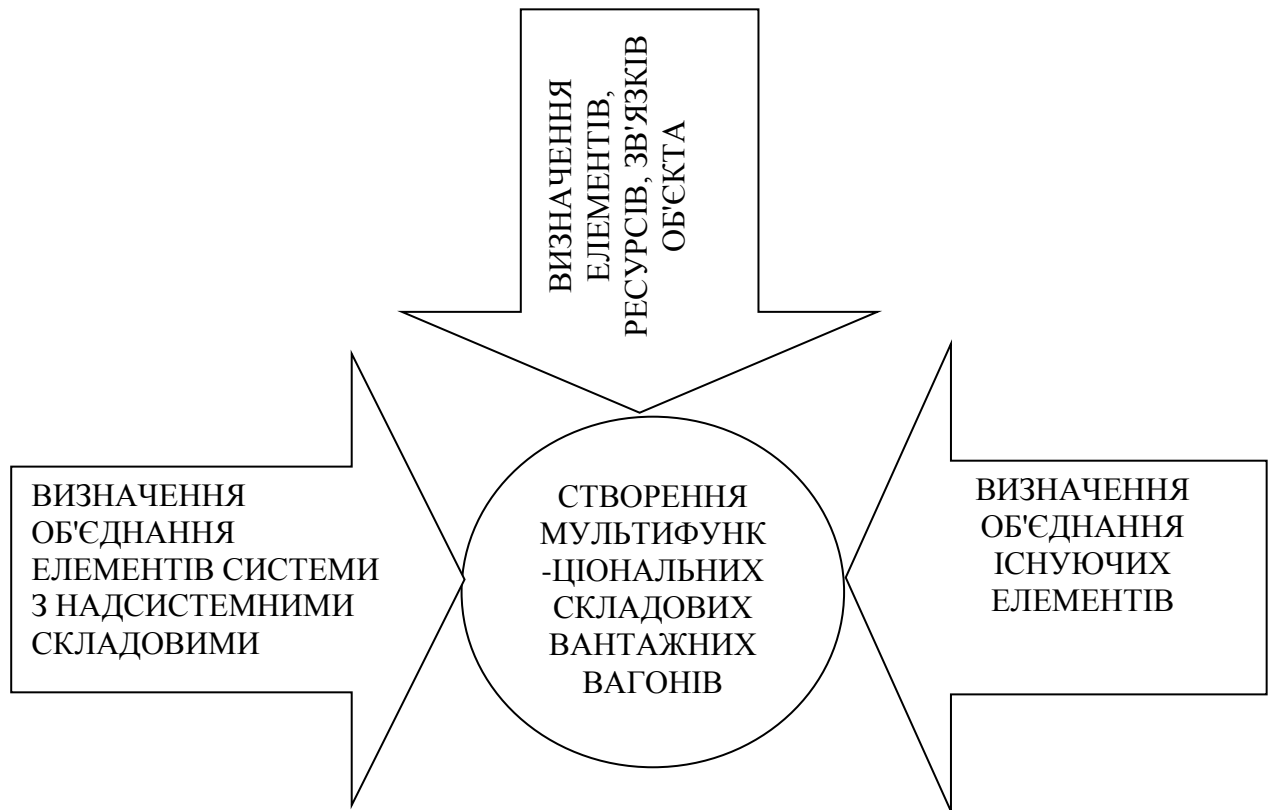


Рисунок 2.1 – Напрямки відшукування рішень для створення мультифункціональних складових вантажних вагонів

Умовно можна виділити наступні локації знаходження функціональних ресурсів:

- 1) локація взаємодії об'єкта та предмета функціонування;
- 2) внутрішня локація об'єкта;
- 3) локація найбільша за критеріями системного підходу елементів вищих ієрархічних рівнів;
- 4) локація нових раніше непов'язаних з об'єктами ресурсів.

Урахування зазначених локацій дозволить систематизувати порядок аналізу і синтезу використання відповідних ресурсів.

Вантажний вагон [63-67, 76-79, 80-84, 115-123] за своїм призначенням являється одиницею рухомого складу, яка необхідна для транспортування вантажу з пункту відправлення до пункту призначення за умови забезпечення достатнього рівня надійності та безпеки руху.

Суттєво підвищити ефективність вантажного парку та підняти на якісно новий рівень техніко-економічні та експлуатаційні характеристики залізничних вагонів можливо шляхом створення нових їх конструкцій. Проте, вони відзначаються високим ступенем складності та являють собою високоієрархічну конструкцію з широким масивом декомпозиції. Для пошуку інноваційних шляхів удосконалення конструкцій вагонів необхідно чітко розуміти, які функції має вагон та які складові елементи, і якого ієрархічного рівня, забезпечують їх виконання. Таким чином стає можливим створення вагону, що складається з мінімальної кількості конструктивних елементів, кожен з яких виконує максимально можливу кількість функцій. Такий вагон, можна вважати мультифункціональним.

Важливим завданням є систематизація та структурування взаємозв'язків між функціями та конструктивними елементами вантажного вагону, що дозволяє спрогнозувати образ мультифункціонального вантажного вагону нового покоління.

Функції вантажного вагону можна умовно розділити на дві категорії: такі, що забезпечують перевезення вантажу, та такі, що гарантують достатній рівень безпеки. При цьому слід враховувати, що вагон взаємодіє не лише з вантажем, але й сусідніми вагонами, локомотивом, колією та іншими об'єктами залізничної інфраструктури. По суті функції вантажного вагону трансформують його ресурс в якісний результат шляхом реалізації певних процесів і дій, які можна представити у вигляді графічної моделі (рисунок 2.2).

Основні функції вагона [1-4, 12-18, 92-100], можуть бути реалізовані виключно через його конструктивні елементи – модулі кузова, ходової частини, автозчепного устаткування, автогальмівного обладнання та їх складові. Чітке визначення взаємозв'язків між структурним елементом та його призначенням

(функцією) дозволяє конструкторам виявити перспективні структури нижчого ієрархічного рівня, які можуть перебрати на себе додаткове виконання нових дій або процесів. Таким чином можна створити такі декомпозиційні елементи, які будуть одночасно виконувати декілька корисних функцій – тобто мультифункціональні структури.

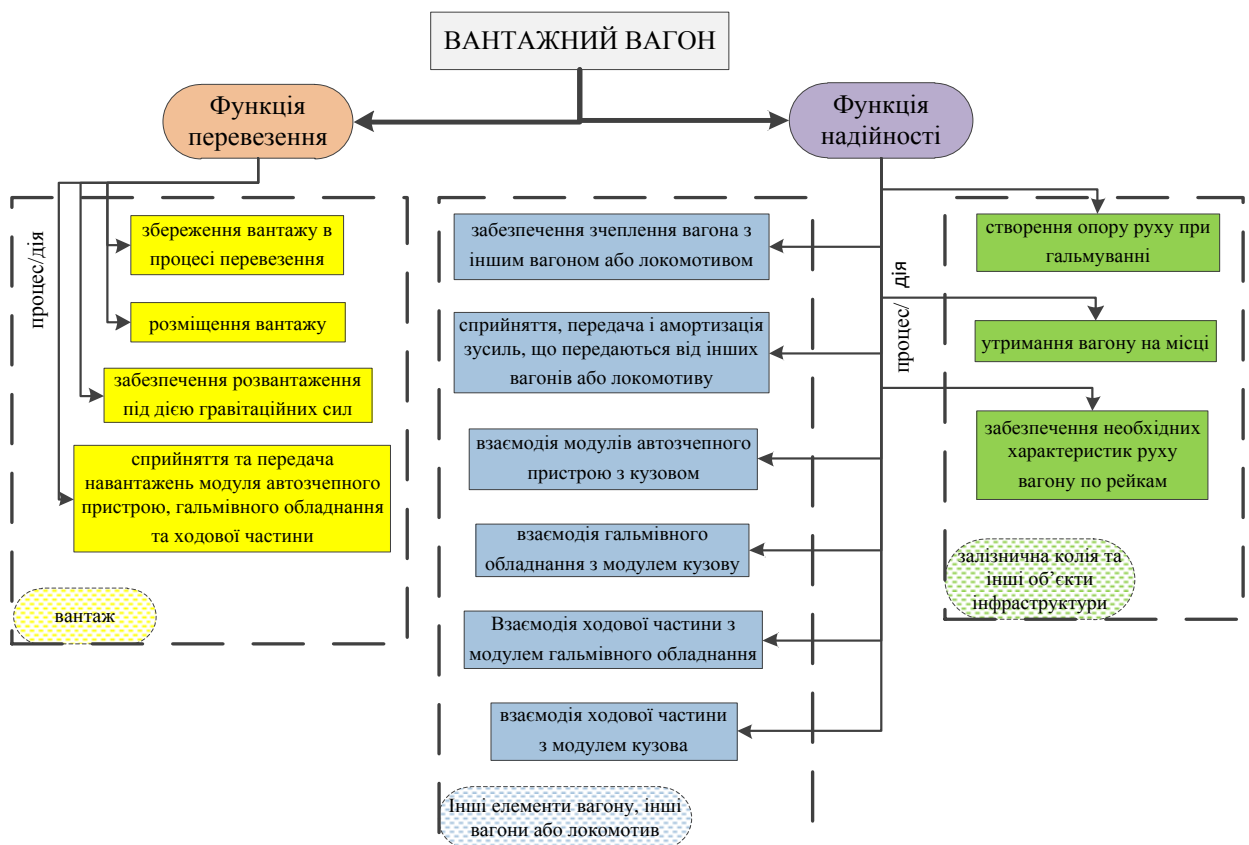


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення процесів, що забезпечують виконання основних функцій вантажного вагону

Вагон, побудований з таких мультифункціональних структурних елементів буде більш конкурентоздатним та економічно вигідним, ніж його прототип, в якому за виконання одного процесу відповідає один структурний елемент.

Для визначення сучасного функціонального технічного образу вагону був розроблений структурний граф функціонування вантажного вагону, який представлено на рисунку 2.3. Аналіз такого графу дозволяє встановити роль та значення основних елементів вагону першого ієрархічного рівня.

Аналіз елементів нижчого рівня ієрархії дозволяє встановити більш глибокі зв'язки.

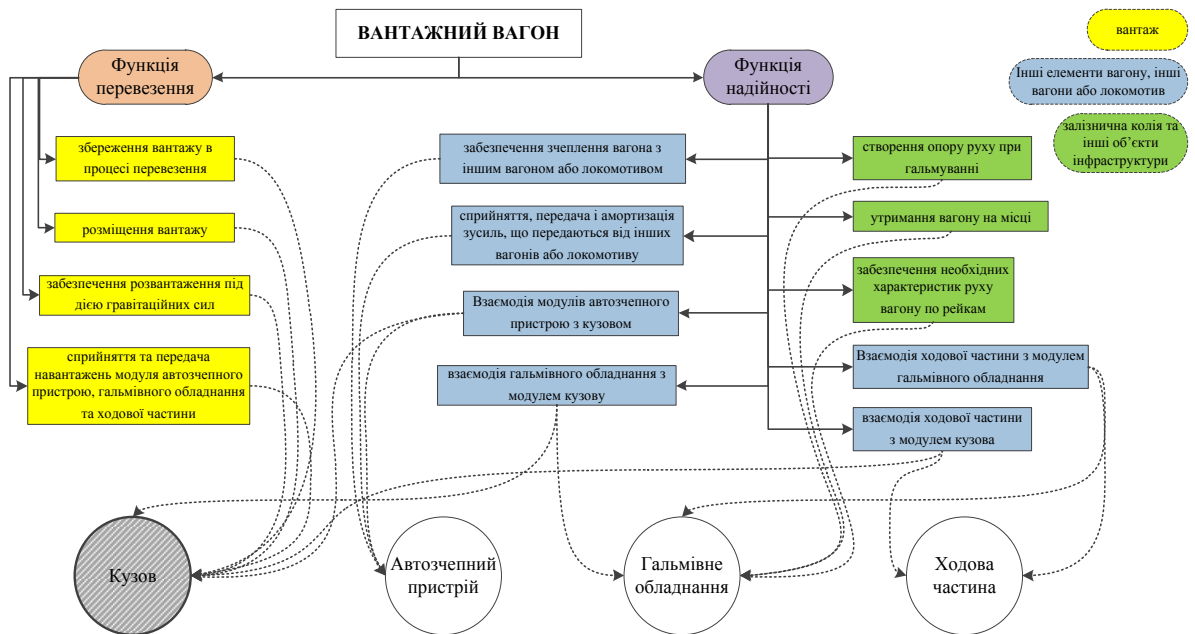


Рисунок 2.3 – Структурний граф функціонування вантажного вагону

На рисунку 2.4 представлено графічну модель конструкції кузова вантажного вагону в контексті функцій, що виконують його складові.

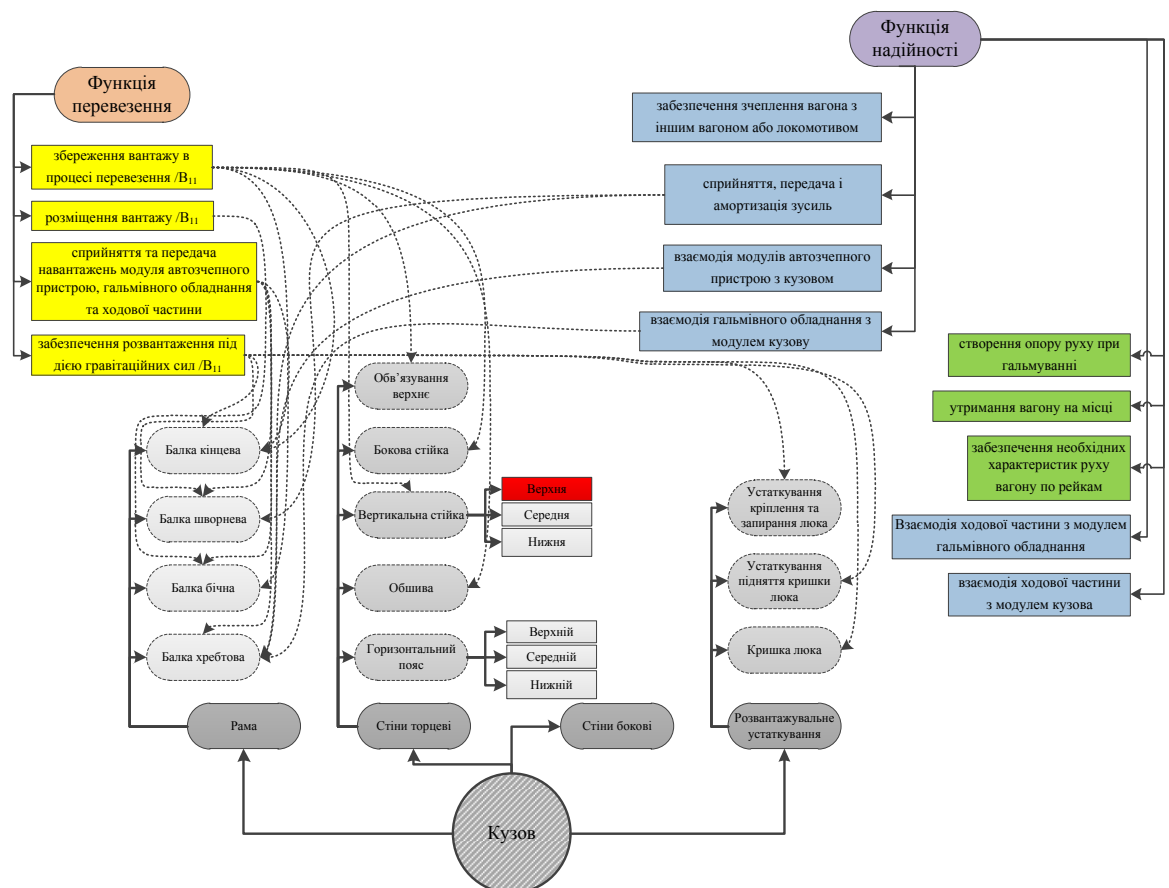


Рисунок 2.4 – Графічна модель конструкції кузова вантажного вагону в контексті функцій, що виконують його складові

З аналізу одержаних результатів стає очевидним, що іноваційно удосконалити конструкцію вагону можна шляхом перекладення функцій між складовими нижчих ієрархічних рівнів. Таким чином, можна отримати вагон із високотехнологічних мультифункціональних складових елементів, який за достатнього рівня надійності та безпеки буде мати техніко-економічні та експлуатаційні характеристики нового покоління.

## **2.2 Узагальнюючий універсальний математичний запис процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій**

В даному підрозділі зосереджено увагу над авторською гіпотезою про доцільність впровадження в конструкції вантажних вагонів попередньо напружених і / або деформованих несучих елементів. Під попереднім напруженням і / або деформацією конструкцій слід розуміти різноманітні прийоми штучного регулювання напружень (оперування напружено-деформованим станом) в конструкціях для підвищення їх ефективності.

Втручання в природну роботу об'єкта для спрямованої зміни його потенційної енергії деформації може відбуватися на різних етапах життєвого циклу: в процесі виготовлення, при ремонтах, при експлуатації або модернізації і на різних рівнях: конструктивних елементів або вузлів, модулів і системи в цілому.

Критеріями ефективності застосування попереднього напруження в металоконструкціях можуть бути як економічні вимоги зі зниження маси і вартості об'єктів, так і технологічні (підвищення жорсткості, збереження форми елементів несучих конструкцій, зміна динамічних характеристик, підвищення

тріщиностійкості та зменшення втомної міцності і т.д.). В цьому відношенні металоконструкції мають більш широкі можливості застосування попереднього напруження і / або деформації, ніж залізобетонні і сталі залізобетонні, де цей прийом розвинувся, перш за все як засіб боротьби з малою міцністю бетону, при розтягуванні.

Узагальнюючий універсальний математичний запис процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій необхідно враховувати наступні вимоги:

1) системно враховувати економічну ефективність на етапах життєвого циклу вантажного вагона;

2) в якості головного критерію реалізації корисного попередньо напруженого і/або деформованого стану застосовується сумарний вектор корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану, який за величиною і напрямком спрямований в сторону протидії сумарного вектору експлуатаційних навантажень;

3) математична модель повинна включати цільову функцію (ЦФ), яка є вектором відшукування (пошуку) оптимального розрахункового варіанту із області допустимих рішень (ОДР) виділеної з області можливих рішень (ОМР).

В зв'язку з тим, що застосування математичного запису (моделі) повинно ефективно оперувати як впровадженням попередньо напруженого і / або деформованого стану, чи їх поєднань, тому необхідно створити достатні передумови для описання відповідних станів, а саме, наприклад, залежностей різноманітних прогинів і вигинів, внутрішніх і зовнішніх механічних напружень від термічного чи механічного впливу.

Як було зазначено вище, в якості головного критерію створення корисного попередньо напруженого і/або деформованого стану застосовується сумарний вектор корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану, який за величиною і напрямком спрямований в сторону протидії сумарного вектору експлуатаційних навантажень:

$$\sum \overline{F^{КПНДС}}(\overline{Y}) \rightarrow -\sum \overline{F^{ЕКСПЛ.}} \quad (2.1)$$

$\sum \overline{F^{КПНДС}}(\overline{Y})$  – де сумарний вектор корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану;

$\sum \overline{F^{ЕКСПЛ.}}$  – сумарний вектор експлуатаційних навантажень.

При цьому сумарний вектор корисного попередньо напруженого і / або деформованого стану є функцією скалярної суми векторів напружень та деформації складової. Тобто область можливих рішень (ОМР) формується полями можливих змін факторів реалізації відповідних способів створення попередньо напруженого і/або деформованого стану:

$$OMP = \left\{ \overline{Y} \left| \begin{array}{l} \sum \overline{a}_x^{\min} \leq \sum \overline{a}_x \leq \sum \overline{a}_x^{\max}; \quad \sum \overline{a}_y^{\min} \leq \sum \overline{a}_y \leq \sum \overline{a}_y^{\max}; \quad \sum \overline{a}_z^{\min} \leq \sum \overline{a}_z \leq \sum \overline{a}_z^{\max}; \\ \sum \overline{b}_x^{\min} \leq \sum \overline{b}_x \leq \sum \overline{b}_x^{\max}; \quad \sum \overline{b}_y^{\min} \leq \sum \overline{b}_y \leq \sum \overline{b}_y^{\max}; \quad \sum \overline{b}_z^{\min} \leq \sum \overline{b}_z \leq \sum \overline{b}_z^{\max}; \\ a \in [1; s]; b \in [1; k] \end{array} \right. \quad (2.2.)$$

де  $\sum \overline{a}_x^{\min} \leq \sum \overline{a}_x \leq \sum \overline{a}_x^{\max}; \quad \sum \overline{a}_y^{\min} \leq \sum \overline{a}_y \leq \sum \overline{a}_y^{\max}; \quad \sum \overline{a}_z^{\min} \leq \sum \overline{a}_z \leq \sum \overline{a}_z^{\max}; \quad a \in [1; s];$  – визначені змінні параметри: величини та напрямку корисних попередніх напружень,

$\sum \overline{b}_x^{\min} \leq \sum \overline{b}_x \leq \sum \overline{b}_x^{\max}; \quad \sum \overline{b}_y^{\min} \leq \sum \overline{b}_y \leq \sum \overline{b}_y^{\max}; \quad \sum \overline{b}_z^{\min} \leq \sum \overline{b}_z \leq \sum \overline{b}_z^{\max}; \quad b \in [1; k]$  – визначені змінні параметри: величини та напрямку корисних попередніх деформацій.

Область допустимих рішень (ОДР), у якій знаходиться шукане рішення, виділяється із області можливих рішень (ОМР) функціональними вимогами та обмеженнями вторинних критеріїв:

$$\overline{Y} \in ODR \in OMP \quad (2.3)$$

Попередні дослідження показали, що у якості зазначених критеріїв та їх відповідних обмежень для вантажних вагонів доцільно розглядати з урахуванням техніко-економічних та експлуатаційних обмежень. В якості зазначених критеріїв та обмежень для вантажних вагонів доцільно розглядати техніко-економічні та експлуатаційні характеристики.

$M_B$  – маса тари вагона, яка повинна бути в межах визначених конструктивних обмежень;

$P_B$  – вантажопідйомність, яка повинна бути в межах визначених конструктивних обмежень;

$V_B$  – повний (навантажувальний) об'єм кузова, який повинен бути в межах визначених конструктивних обмежень (зокрема з урахуванням габариту та особливостей вантажів, які планується перевозити);

$P_B^{noz}$  – погонне навантаження, яка повинна бути в межах визначених конструктивних обмежень і визначається за формулою:

$$P_B^{noz} = \frac{M_B + P_B}{L_{зч.}}, \quad \text{т/м}; \quad (2.4)$$

де  $L_{зч.}$  – зчїпна довжина вагону, м;

$C_B$  – характеристики модуля ходової частини (наприклад: гнучкість та статичний прогин ресорного підвішування, конструкційна швидкість і т.д.), в межах визначених конструктивних обмежень які встановлені НТД.

$f_B$  – жорсткість конструкції, яка повинна бути не меншою за задане допустиме значення;

$n_y^B$  – стійкість конструкції, яка повинна бути не меншою за задане допустиме значення;

$n^B$  – втомна міцність конструкції, яка повинна бути не меншою за задане допустиме значення;

$B_B$  – максимальні витрати на виробництво складової, які повинні бути в межах визначених обмежень;

$E_B$  – енергоємність поглинаючого апарату, яка повинна бути в межах визначених конструктивних обмежень;

$T_B$  – характеристики модуля гальмівного обладнання (наприклад: розрахунковий коефіцієнт гальмівного тиску, втрати тиску у гальмівній магістралі за одиницю часу і т.д.), які повинні бути в межах визначених конструктивних обмежень;

$\sigma_B^I$  – міцність за першим розрахунковим режимом відповідно до нормативів проектування вагонів, значення якої не повинне перевищувати допустиме;

$\sigma_B^{II}$  – міцність за другим розрахунковим режимом відповідно до нормативів проектування вагонів, значення якої не повинне перевищувати допустиме;

$\sigma_B^{III}$  – міцність за третім розрахунковим режимом відповідно до нормативів проектування вагонів, значення якої не повинне перевищувати допустиме;

$\sigma_B^{удар}$  – ударна міцність відповідно до нормативів проектування вагонів, значення якої не повинне перевищувати допустиме;

$P_{oc}$  – розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, яке не повинно перевищувати допустимого значення, що встановлюється нормативно-технічною документацією;

Можливе врахування і інших функціональних вимог та обмежень відповідних вторинних критеріїв, які додаються в залежності від конструктивних особливостей виконання досліджуваної моделі вагону.

Тоді область допустимих рішень (ОДР) прийме наступний вигляд:

$$\text{ОДР} = \left\{ \overline{Y} \left[ \begin{array}{l}
 M_{\min} \leq M_B \leq M_{\max}; \quad P_{\min} \leq P_B \leq P_{\max}; \quad V_{\min} \leq V_B \leq V_{\max}; \\
 P_{\min}^{noz} \leq P_B^{noz} \leq P_{\max}^{noz}; \quad C_{\min} \leq C_B \leq C_{\max}; \quad [f] \leq f_B; \quad [n_y] \leq n_y^B; \quad [n] \leq n^B; \\
 B_{\min} \leq B_B \leq B_{\max}; \quad E_{\min} \leq E_B \leq E_{\max}; \quad T_{\min} \leq T_B \leq T_{\max}; \\
 [\sigma^I] \leq \sigma_B^I; \quad [\sigma^{II}] \leq \sigma_B^{II}; \quad [\sigma^{III}] \leq \sigma_B^{III}; \quad [\sigma^{y\delta ap}] \leq \sigma_B^{y\delta ap}; \quad [P_{oc}] \leq P_{oc}^B; \\
 \sum \overline{a}_x^{\min} \leq \sum \overline{a}_x \leq \sum \overline{a}_x^{\max}; \quad \sum \overline{a}_y^{\min} \leq \sum \overline{a}_y \leq \sum \overline{a}_y^{\max}; \quad \sum \overline{a}_z^{\min} \leq \sum \overline{a}_z \leq \sum \overline{a}_z^{\max}; \\
 \sum \overline{b}_x^{\min} \leq \sum \overline{b}_x \leq \sum \overline{b}_x^{\max}; \quad \sum \overline{b}_y^{\min} \leq \sum \overline{b}_y \leq \sum \overline{b}_y^{\max}; \quad \sum \overline{b}_z^{\min} \leq \sum \overline{b}_z \leq \sum \overline{b}_z^{\max}; \\
 a \in [1; s]; b \in [1; k]
 \end{array} \right. \quad (2.5)$$

Висвітлений підхід до створення узагальнюючого універсального математичного запису процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій та результати його реалізації можуть бути використані при вирішенні інших аналогічних задач.

### 2.3 Теоретичні аспекти створення корисно попередньо напружених і / або деформованих мультифункціональних складових вантажних вагонів

Одним із основних науково-технічних завдань, результати вирішення якого безпосередньо впливають на ефективність роботи вантажного вагонного парку [109-113], є розроблення нових чи модернізації вже існуючих моделей вантажних вагонів з метою зниження їх матеріалоємності. При цьому перспективним методом зниження матеріалоємності (з відповідним підвищенням вантажопідйомності) вантажних вагонів є відшукування та реалізація конструктивних надлишкових запасів міцності, за рахунок надання їх складовим елементам оптимальних конструктивних форм та їх виконання із

матеріалів з направленими властивостями при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності. До того ж результати аналізу впливу експлуатаційних факторів на конструкції несучих систем вантажних вагонів засвідчили, що одним з основних видів пошкоджень їх елементів є тріщини.

Як показує позитивний досвід інших галузей пов'язаних з виготовленням металоконструкцій, одним з перспективних напрямків вирішення обох вище представлених науково-технічних завдань є використання у несучих системах машинобудування корисно попередньо напружених і/або деформованих мультифункціональних конструкцій. Проте розгляд сучасного науково-технічного заділ з профілю досліджуваних питань засвідчив відсутність змістовної інформації зі створення відповідних теоретичні аспектів вирішення такого завдання для вантажних вагонів.

Основною метою розгляду та застосування зазначеного підходу є збільшення строку життєвого циклу засобів рухомого складу залізниць, зменшення їх матеріалоемності та підвищення вантажопідйомності, покращення ремонтпридатності, підвищення тріщиностійкості, зменшення/повне виключення різнознакових напружень.

Відповідно до діючої нормативної документації [14,15, 59,60, 65-67, 80-84] при розрахунку всіх типів вагонів встановлюють два основних розрахункових режима: I-ий та III-ій.

За I-им розрахунковим режимом (рідке сполучення екстремальних навантажень) допустимі напруження обираються близькими до границі текучості матеріалу, що використовується, з урахуванням характеру дії навантаження і властивостей матеріалу (від 0,85 до 1,1 мінімальної межі текучості  $\sigma_T$ ) з метою не допустити появи залишкових деформацій і руйнувань елементів та деталей вагона.

За III-ім розрахунковим режимом (часте поєднання помірних експлуатаційних навантажень) допустимі напруження обираються виходячи з межі витривалості матеріалу на рівні від  $0,5 \cdot \sigma_T$  до  $0,65 \cdot \sigma_T$  з метою не допустити втомного руйнування вузла або деталі.

Загальні правила розрахунку несучої здатності вагонних конструкцій передбачають:

- розрахунок елементів кузова виконувати за допустимими напруженням і запасом стійкості;
- розрахунок окремих елементів рами виконувати за допустимими напруженням і запасом опору втомі.

Базовими параметрами при розрахунку і проектуванні вантажних вагонів усіх типів є:

1) допустимі напруження, величина яких з урахуванням коефіцієнтів запасу визначається межею текучості матеріалу ( $\sigma_T$ ). Коефіцієнт запасу для металопрокату 0,9-0,95 залежно від умов експлуатації. Значення межі текучості, як і інших показників механічних властивостей матеріалу;

2) запас стійкості, величина якого, в тому числі, визначається межею текучості матеріалу ( $\sigma_T$ ).

Під корисним попереднім напруженням конструкцій розуміють різноманітні прийоми спрямованого штучного регулювання напружень (керування напружено-деформованим станом) в конструкціях для підвищення їх ефективності роботи по сприйняттю навантажень на етапах життєвого циклу. При цьому втручання в природну роботу об'єкта для спрямованої зміни його потенційної енергії деформації може відбуватися на різних етапах життєвого циклу: в процесі виготовлення, при монтажі, при експлуатації або реконструкції і на різних рівнях. Наприклад для вантажних вагонів: в модулях, складових, вузлах або базових елементах.

Основним завданням впровадження попередньо напруженого і/або деформованого стану є зниження величин напружень і/або деформацій в конструктивних складових вантажних вагонів шляхом застосування одного або комбінації способів їх створення:

1. Обтиснення окремих розтягнутих, стиснених і зігнутих порожнистих/суцільних замкнутих/незамкнутих профілів і цілих елементів (балок, рам) затяжками різного виду з високоміцних матеріалів;

2. Попередній пружний вигин окремих елементів з наступною фіксацією (або зварюванням) їх в зігнутому стані в цілий конструктивний елемент (балку);

3. Попередня витяжка цілих конструкцій або окремих їх частин з метою збільшення області пружної роботи матеріалу;

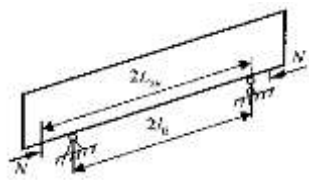
4. Попередній натяг окремих включених гнучких стрижнів (троси, пучки дроту, арматура) з метою сприйняття ними стискають зусиль;

5. Тимчасове завантаження в процесі виготовлення і встановлення окремих елементів конструкцій або всієї конструкції з подальшою фіксацією або без неї, конструкції під навантаженням для раціонального розподілу зусиль і підвищення її жорсткості та стійкості;

6. Створення попереднього напруження в прокатних профілях шляхом завальцьовування в них попередньо натягнутого високоміцного дроту (наприклад при створенні гнучких вагонних з'єднань);

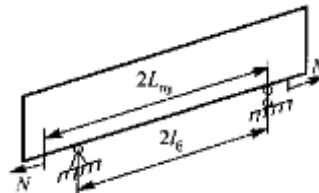
7. Попереднє нагрівання/охолодження окремих деталей з метою збільшення/зменшення їх геометричних розмірів). В якості прикладу застосування для вантажних вагонів можна привести попереднє нагрівання, яке може використовуватися для того, щоб запобігати утворенню тріщин і / або забезпечити потрібні механічні властивості, наприклад, ударну в'язкість. Попереднє нагрівання можна виконувати в печі або за допомогою нагрівальних пальників, електричних пластинчастих радіаторів або індукційних чи променистих нагрівачів.

Далі виникає необхідність проаналізувати схеми прикладення навантажень (рисунок 2.5), врахування яких необхідно при оцінках міцності елементів кузовів вагонів за режимами.



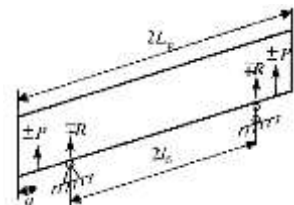
повздовжня квазістатична сила стискання

а)



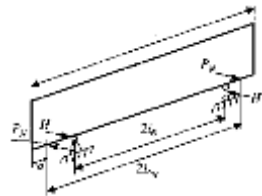
повздовжня квазістатична сила розтягування

б)



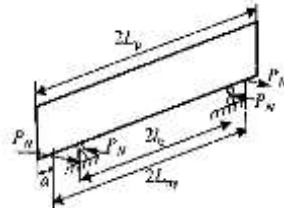
вертикальна сила через ексцентриситет між осями автозчепів

в)



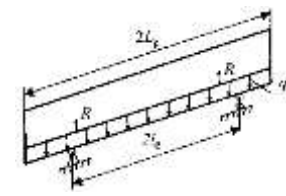
поперечні сили в кривих при квазістатичному стисненні

г)



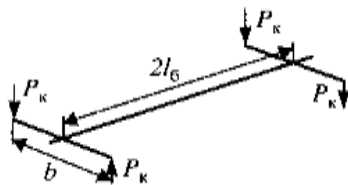
поперечні сили в кривих при квазістатичному розтягуванні

д)



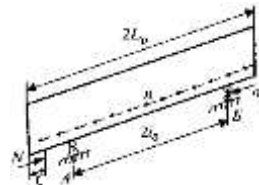
вертикальне навантаження від маси вантажу і власної маси

е)



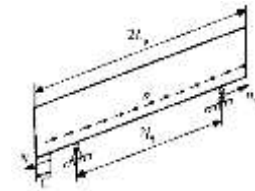
косиметричне навантаження (для вагонів з базою більше 16 м)

ж)



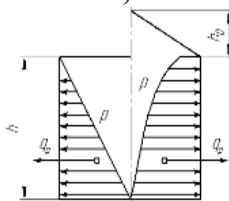
удар в автозчеп

з)



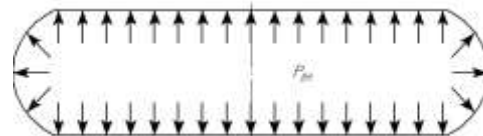
ривок

и)



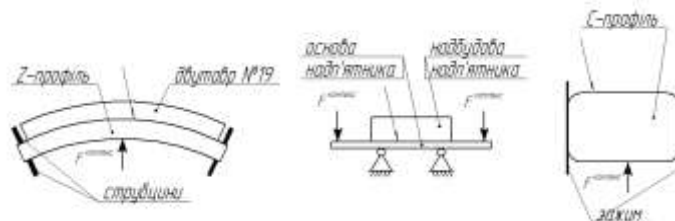
сили розпору (тиску) сипучих і навалочних вантажів

к)



сили тиску рідин і газів та сили гідравлічного удару в котлах цистерн, резервуарах, баках

л)



сили створення деформованого стану (вертикальний вигин) при проведенні складально-зварювальних робіт

м)

Рисунок 2.5 Розширена схема прикладення навантажень до вагонних конструкцій у різних розрахункових випадках життєвого циклу

Критеріями ефективності застосування корисного попереднього напруження і/або деформації в металоконструкціях можуть бути як економічні вимоги щодо зниження матеріалоемності і вартості об'єктів, так і конструктивно-технологічні (підвищення жорсткості, збереження форми елементів несучих конструкцій після впливу технологічно обумовлених факторів (наприклад зварювання), поліпшення динамічних характеристик і т.д.). В цьому відношенні металоконструкції мають ширші можливості та більші перспективи застосування попереднього напруження, ніж залізобетонні і сталезалізобетонні, де цей прийом розвинувся, перш за все як засіб боротьби з малою міцністю бетону, при розтягуванні.

У всіх випадках на регулювання внутрішніх зусиль в конструкціях потрібні додаткові трудовитрати і залишається можливість втрати або перебудови наведеного фону внутрішніх напружень в часі внаслідок розвитку тривалих процесів в матеріалах і зв'язках. Тому впровадження раціональних прийомів управління напружено-деформованим станом в практику створення сучасних залізничних машинобудівних конструкцій вимагає для кожної конструктивної форми розроблення відповідних теоретичних положень, методологічних основ та практичних засобів.

Цілі створення корисно попередньо напружених і/або деформованих мультифункціональних конструкцій.

- 1) економія металу і засобів у споруджуваних конструкціях завдяки більш вигідному розподілу зовнішніх зусиль, збільшення області пружної роботи;
- 2) підвищення несучої здатності конструкцій, що знаходяться на етапі експлуатації або реконструкції в зв'язку з підвищенням навантажень;
- 3) зниження деформативності всієї конструкції або окремих її елементів, зменшення частоти або амплітуди коливань;
- 4) підвищення стійкості окремих елементів або всієї конструкції в цілому;
- 5) збільшення витривалості окремих елементів при циклічних навантаженнях за рахунок поліпшення характеристики циклу;

6) сприятлива зміна деяких властивостей конструкції (динамічних характеристик при динамічних і сейсмічних впливах, аеродинамічних характеристик при вітрових впливах, підвищення протидії температурним навантаженням (наприклад морозостійкості);

7) забезпечення в деяких випадках зручності монтажу, і в зв'язку з цим зниження трудовитрат;

8) протидія виникненню негативних залишкових деформацій від технологічних факторів. Наприклад в вантажному вагонобудування попередній прогин зафіксованої загальної конструкції при накладанні великих зварювальних швів: приварювання двотавра до зварених зет-подібних профілів балки хребтової напіввагонів, складальні конструкції обв'язувань верхніх напіввагонів і т.д.

Ці ж цілі можуть бути досягнуті і іншими способами (збільшенням площі або зміною типу перерізу, способу з'єднання елементів і ін.) які є більш матеріально витратні. Попереднє корисне напруження і / або деформація доцільно, якщо ефект, отриманий від нього, повністю окупить додаткові витрати. Вибір остаточного варіанта конструкції повинен робитися на основі техніко-економічного аналізу.

## **2.4 Формалізоване описання потенційних місць впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції**

В розділі представлені особливості та результати проведених досліджень [18-25, 110-115, 130-145] з визначення конструктивних складових вантажних вагонів для впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції. На основі аналізу експлуатаційних пошкоджень, конструктивної доцільності та технологічних можливостей потенційно обґрунтовано місця

впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції та систематизовано у вигляді структурно-декомпозиційної схеми.

Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, яку затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року № 1259 передбачено оновлення вантажного вагонного парку новими та модернізованими моделями вантажних вагонів вітчизняного виробництва з сучасним рівнем техніко-економічних та експлуатаційних показників. Для рішення вищезазначеного актуального науково-технічного завдання розгортаються науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, які спрямовані на зниження матеріалоємності, собівартості виготовлення, ремонту та експлуатації вітчизняних спеціалізованих вантажних вагонів, підвищення їх вантажопідйомності, осьового навантаження, експлуатаційної надійності, подовження терміну служби та міжремонтних пробігів і т.д. Разом з цим конструкція вантажного вагону є складною технічною системою, при проектуванні якої необхідно враховувати специфіку її роботи (експлуатаційні та ремонтні навантаження, погодні чинники і т. д.). Тому на сучасному рівні вирішувати вищезазначені задачі доцільно з використанням системного підходу. При цьому особлива роль відводиться розробці та використанню формалізованих описань запропонованих новітніх підходів та способів проектування вантажних вагонів, які б враховували взаємозв'язок окремих їх елементів і були адаптовані до сучасних програмних комплексів. Результати аналізу успішного вирішення аналогічних проблем в інших галузях створення несівних конструкцій (аеротехніки, ракетобудування, нафтогазова, паливна, будівельна та ін.), обумовили перспективність впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції. Аналіз чисельної наукової та спеціально-технічної літератури з профілю питань, що розглядаються засвідчив про відсутність змістовної інформації з впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції

Метою проведених робіт – є висвітлення результатів досліджень з визначення складових вантажних вагонів для впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції, а також схематизації відповідних результатів. Сказане проводилось на основі аналізу конструктивних особливостей та експлуатаційних пошкоджень вантажних вагонів. В рамках проведених досліджень аналізувались основні експлуатаційні пошкодження вантажних вагонів, їх конструктивні зв'язки та особливості виконання складових.

Сучасний парк вантажних вагонів характеризується різноманіттям їх типів і конструкцій, що викликано необхідністю задоволення різних вимог учасників їх життєвого циклу. В основному парк вантажних вагонів складається з: напіввагонів, вагонів-платформ, вагонів-цистерн, вагонів-хоперів, критих, ізотермічних та вагонів спеціального призначення, а також контейнерів загального та спеціального призначення. При цьому основним модулем вантажних вагонів, від конструкції якого залежить його тип є модуль кузова, який можна класифікувати за наступними ознаками:

В залежності від роду перевезених вантажів відкриті та закриті. В залежності від конструкції рами – з суцільною хребтовою балкою, несучильною хребтовою балкою та без хребтової балки. В залежності від конструкції елементів для завантаження і вивантаження вантажів – з дверима на бічних стінах або з люками даху і підлоги.

Конструкція кузова того чи іншого типу вагона визначається його призначенням, тому кузова різних типів вагонів за своєю конструкцією досить різні, але у всіх них багато спільного.

Рама слугує основою кузова, на ній кріпиться автозчепне і гальмівне обладнання вагона. 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. У всіх типів вагонів рама

складається з трьох основних несучих балок: хребтової, бічних поздовжніх, набору поперечних (кінцевих, шворневих та проміжних).

Далі графічно зображено кузова та рами основних типів вантажних вагонів (рисунок 2.6).

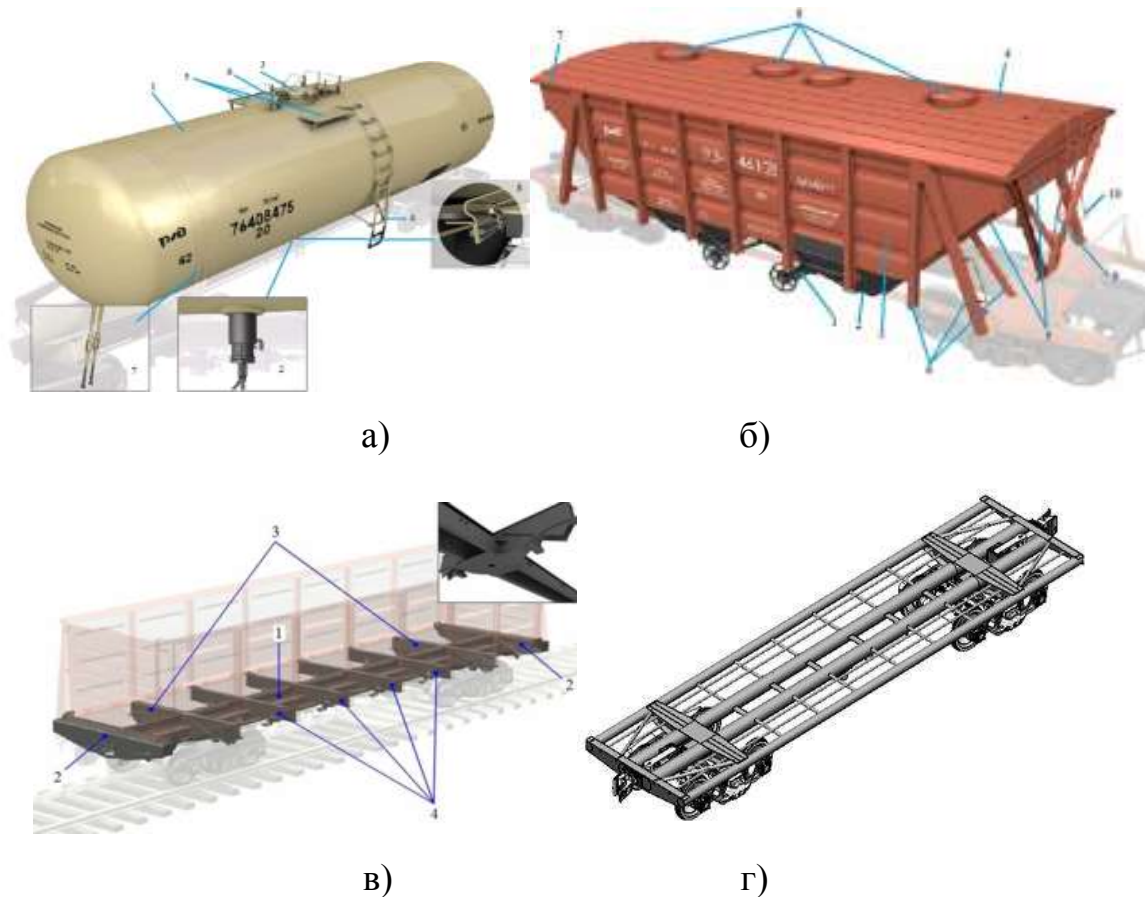


Рисунок 2.6 – Графічне зображення кузовів та рам існуючих та перспективних вантажних вагонів:

- а) котел вагона-цистерни; б) кузов вагона-хопера;  
в) рама напіввагона; г) вагон-платформа перспективна з рамою виконаною з труб

Хребтова балка – слугує для кріплення на ній автозчепного та гальмівного обладнання. Через автозчепний 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.

Залізничний транспорт оперує великою кількістю контейнерів. У загальному випадку контейнери (рисунок 2.7) можна класифікувати, як з'ємний (універсальний рисунок 2.7, а чи спеціальний рисунок 2.7, б) модуль кузова вантажного вагона.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд контейнера:  
а) універсальний; б) контейнер-цистерна

На основі комплексного аналізу експлуатаційних особливостей вантажних вагонів можна зробити наступні висновки. В якості основних видів експлуатаційних пошкоджень вантажних вагонів можна виділити наступні несправності кузова та рами (рисунок 2.8), які можливо подолати за допомогою впровадження певних способів попереднього напруження.

Впровадження нових концептів проривних ідей конструкторської ідеології несучих модулів вантажних вагонів дозволить системно підвищити ефективність вантажоперевезень залізничним транспортом, що охарактеризується рядом переваг для інфраструктури, виробників, інвестиційної привабливості, операторів руху, експлуатації, екології.

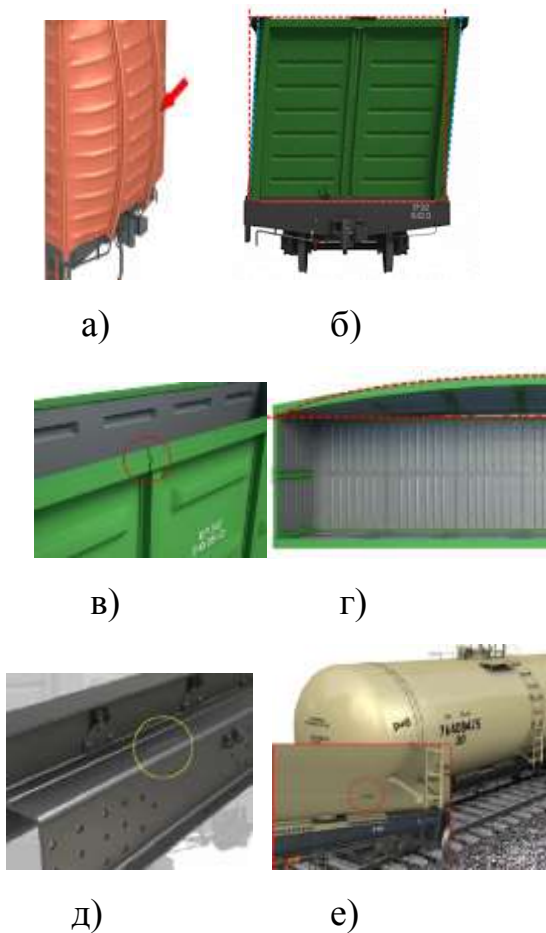


Рисунок 2.8 – Несправності кузова та рами вантажних вагонів, що виникають в експлуатації:

- а) вигин торцевої стіни назовні; б) перекіс кузова більше 75 мм; в) злам і тріщини у верхній обв'язці; г) розширення кузова більше 75 мм на один бік;
- д) поздовжні тріщини в балках рами довжиною більше 300 мм; е) тріщина шва котла

На основі результатів аналізу пропонується наступні робочі гіпотези впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції:

- перехід від статично визначених до статично невизначеним конструкцій ресурсовизначальних зон і зон можливих руйнувань з метою зниження результуючих напружень і перерозподілу напружень;

– створення конструкцій з навантаженими вузлами без надлишкових зв'язків, запасів міцності і жорсткості, наприклад за рахунок впровадження гнучких зв'язків;

– створення конструктивних схем, де несучі елементи максимально можливо працюють на стиск-розтяг замість вигину і кручення;

– створення несучих елементів як зчленованих несівних оболонок з можливістю формування «сендвіч» панелей з спрямованими властивостями;

– створення рівнонапруженості і попередньо напружених конструкцій несівних елементів з метою зниження рівня напружень і, як наслідок, зниження маси конструкції;

– впровадження страхуючих елементів з метою забезпечення тимчасової працездатності елементів конструкції при аварійних ситуаціях;

– впровадження пружно-дисипативних несучих елементів, що поєднують в собі функції жорстких з'єднувальних елементів з пружними і демпферами.

При цьому застосовані загально прийняті методи формування і аналізу конструкцій. Для формування схеми потенційних складових та способів впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції застосовувались принципи блочності та ієрархічності досліджень технічних систем.

Принцип блочності – забезпечує розділення відповідних схематичних описань на кожному ієрархічному рівні на ряд блоків з можливостями їхнього роздільного дослідження.

Принцип ієрархічності – передбачає структурування схематичного описання за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів.

Для класифікації щодо впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції можна виокремити наступні способи:

1) впровадження пружно-дисипативних, нежорстких шарнірних, корисно попередньо-напружених і / або деформованих складових, а саме – обтиснення окремих розтягнутих, стиснених і зігнутих порожнистих/суцільних

замкнених/незамкнених профілів і цілих елементів (балок, рам) зтяжками різного виду з високоміцних матеріалів;

2) впровадження пружно-дисипативних чи попередньо пружно вигнутих окремих елементів з наступним зварюванням їх в зігнутому стані в цілий конструктивний елемент (балку);

3) попередня витяжка цілих конструкцій або окремих їх частин з метою збільшення області пружної роботи матеріалу;

4) попередній натяг окремих включених гнучких стрижнів (троси, пучки дроту, арматура) з метою сприйняття ними стискають зусиль;

5) впровадження нежорстких шарнірних, мультиматеріальних складових, тимчасове завантаження в процесі монтажу або виготовлення окремих елементів конструкцій або всієї конструкції з подальшим закріпленням конструкції під навантаженням для раціонального розподілу зусиль і підвищення її жорсткості та стійкості;

6) створення попереднього напруження в прокатних профілях шляхом завальцьовування в них попередньо натягнутого високоміцного дроту (наприклад при створенні гнучких вагонних з'єднань);

7) попереднє нагрівання/охолодження окремих деталей з метою збільшення/зменшення їх геометричних розмірів.

В зв'язку з різноманітністю конструктивних схем вагонів варто розробити класифікацію яка пов'яже та систематизує характер впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції з особливостями (типажем) вантажних вагонів їх універсальних та специфічних складових. Блочно-ієрархічна схема потенційних складових впровадження мультифункціональних складових у вагонні конструкції представлена на рисунок 2.9.

Як видно з схеми формалізоване описання потенційних складових вагонних конструкцій для впровадження мультифункціональних елементів передбачає виділення чотирьох ієрархічних рівнів:

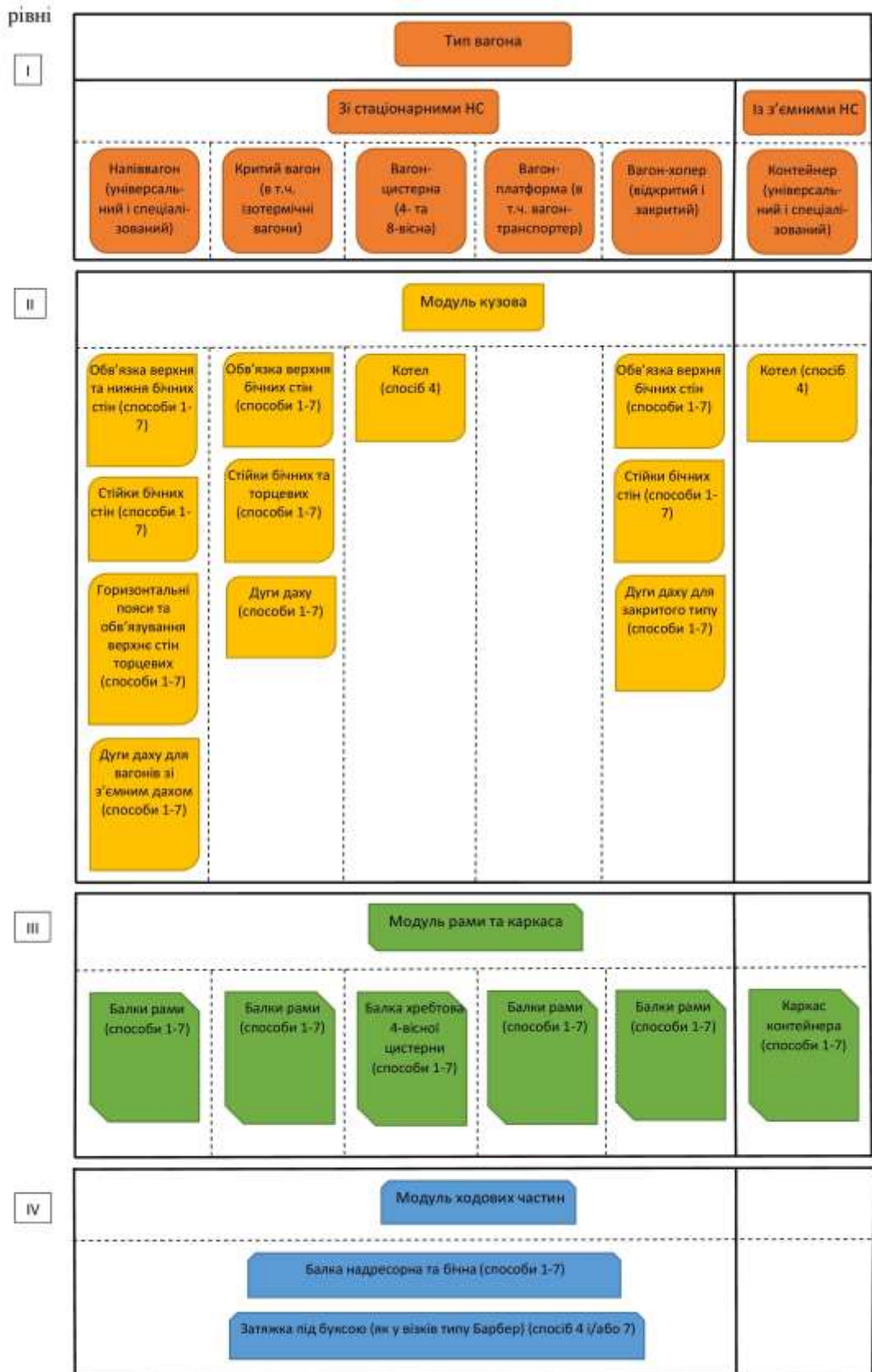


Рисунок 2.9 – Блочно-ієрархічна схема потенційних складових для впровадження мультифункціональних елементів в несівні системи вантажних вагонів

I рівень містить «Тип вагона», який передбачає впровадження основних типів вагонів. Рівень в свою чергу поділяється на вагони з стаціонарними несучими системами ( $V_1$  – тип «Напіввагон»,  $V_2$  – тип «Критий вагон»,  $V_3$  – тип «Вагон-цистерна»,  $V_4$  – тип «Вагон-платформа» та  $V_5$  – тип «Вагон-хопер») та із з'ємними несучими системами ( $V_6$  – тип «Контейнер»). При цьому тип «Напіввагон» включає універсальні та спеціалізовані напіввагони; тип «Критий вагон» - криті вагони звичайної конструкції та ізотермічні вагони; тип «Вагон-цистерна» – 4-ох та 8-ми вісні цистерни; тип «Вагон-платформа» – вагони-платформи звичайної конструкції з бортами та безбортові, скелетного типу для перевезення контейнерів та вагони-транспортери; тип «Вагон-хопер» – вагони-хопери відкритого та закритого типу; тип «Контейнер» – універсальні та спеціалізовані контейнери.

II рівень містить «Модуль кузова».

Для типу  $V_1$  – «Напіввагон» доцільно в елементах:  $V_{121}$  – «Обв'язка верхня та нижня бічних стін» використати способи 1-7 (під способом 1-7 розуміється застосування способів сумісно або окремо один від одного);  $V_{122}$  – «Стійки бічних стін» – способи 1-7;  $V_{123}$  – «Горизонтальні пояси та обв'язування верхні стін торцевих» – способи 1-7;  $V_{124}$  – «Дуги даху для вагонів зі з'ємним дахом» – способи 1-7. Для типу  $V_2$  – «Критий вагон» доцільно в елементах:  $V_{221}$  – «Обв'язка верхня бічних стін» можливо використати способи 1-7;  $V_{222}$  – «Стійки бічних та торцевих стін» – способи 1-7;  $V_{223}$  – «Дуги даху» – способи 1-7. Для типу  $V_3$  – «Вагон-цистерна» доцільно в елементі  $V_{321}$  – «Котел» використати спосіб 4. Для типу  $V_4$  – «Вагон-платформа» не доцільно використовувати. Для типу  $V_5$  – «Вагон-хопер» доцільно в елементах:  $V_{521}$  – «Обв'язка верхня бічних стін» використати способи 1-7;  $V_{522}$  – «Стійки бічних стін» – способи 1-7;  $V_{523}$  – «Дуги даху для закритого типу» – способи 1-7. Для типу  $V_6$  – «Контейнер», а саме для типу контейнер-цистерна, доцільно в елементі  $V_{621}$  – «Котел» використати спосіб 4.

III рівень містить «Модуль рами та каркаса».

Для типу  $V_1$  – «Напіввагон» доцільно в елементі  $V_{131}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7.

Для типу  $V_2$  – «Критий вагон» доцільно в елементі  $V_{231}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_3$  – «Вагон-цистерна» доцільно в елементі  $V_{331}$  – «Балка хребтова 4-вісної цистерни» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_4$  – «Вагон-платформа» доцільно в елементі  $V_{431}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_5$  – «Вагон-хопер» доцільно в елементі  $V_{531}$  – «Балки рами» використовувати способи 1-7. Для типу  $V_6$  – «Контейнер» доцільно в елементі  $V_{631}$  – «Каркас контейнера» використовувати способи 1-7.

IV рівень містить «Модуль ходових частин».

Для типів  $V_1$  – «Напіввагон»,  $V_2$  – «Критий вагон»,  $V_3$  – «Вагон-цистерна»,  $V_4$  – «Вагон-платформа» та  $V_5$  – «Вагон-хопер» доцільно в елементах:  $V_{141}$ ,  $V_{241}$ ,  $V_{341}$ ,  $V_{441}$ ,  $V_{541}$  – «Балка надресорна та бічна» використати способи 1-7;  $V_{142}$ ,  $V_{242}$ ,  $V_{342}$ ,  $V_{442}$ ,  $V_{542}$  – «Затяжка під буксою (як візків типу Барбер)» – спосіб 4 і/або 7. Для типу  $V_6$  – «Контейнер» не доцільно використовувати.

## **2.5 «І-АБО» – дерево кришки люка напіввагона**

Результати аналізу конструкцій сучасних кришок люків вказали на доцільність виділення чотирьох основних ієрархічних рівнів, а саме виділення: блоків, вузлів, деталей та їх властивостей (відображають матеріал, форму та спосіб виготовлення відповідної складової). Однак побудова узагальнюючого «І-АБО» – дерева конструктивних виконань сучасних та перспективних кришок люків буде значно складніше у ієрархії.

Побудова зазначеного «І-АБО» – дерева ґрунтується на застосуванні принципів блочності, ієрархічності, варіативності.

Принцип блочності – забезпечує розділення відповідних описань вантажних вагонів на кожному ієрархічному рівні на ряд блоків (конструктивних модулів) з можливостями їхнього роздільного проектування та дослідження.

Принцип ієрархічності – передбачає структурування описання конструкції вантажних вагонів за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів.

Принцип варіантності – обумовлює розроблення фонду варіантів конструктивних виконань, відповідно з прийнятими до уваги напрямками проектування (конструктивно-орієнтований, технологічно-орієнтований, ресурсно-орієнтований) вантажних вагонів, з виділенням існуючих та перспективних технічних рішень виконання їх складових.

Вищезазначені принципи в повній мірі віддзеркалюються у варіаційній блочно-ієрархічній моделі кришки люка напіввагона, яка найбільш інформативно відображається у вигляді «І-АБО» – дерева, та є виділенням функціональних елементів кришки люка, її конструктивних ознак. Зазначена модель, представляє собою наочний, зручний засіб компактного представлення та зберігання інформації про великий фонд існуючих а також патентоспроможних виконань конструктивних складових кришок люків. В окремих випадках може бути представлена у вигляді відповідної морфологічної таблиці.

Для описання конструкції кришки люка зручно використовувати відповідне «І» – дерево. Воно являє собою сукупність вершин (темні кола) і ребер, що їх пов'язують. Описання конструкції поділене на яруси (ієрархічні рівні), а вершини на кожному ярусі відображають відповідні складові частини кришки люка, що розглядається. Єдина вершина нульового ярусу називається кореневою – це сама кришка люка. Вона з'єднується ребрами з вершинами першого ярусу, кожна з яких – з'єднується з вершинами другого ярусу (відповідними складовими частинами). Нарешті вершини n-го ярусу – листя, відповідають базовим елементам (далі не діляться на складові). Для групування

інформації про декілька конструкцій вантажних вагонів та їх складових в одному описанні доцільно використовувати «І-АБО» – дерева. На відміну від «І» – дерева в «І-АБО» – дереві кожний сусідній ярус складається з різнотипних вершин – вершин «АБО» (світлі кола) чи вершин «І» (темні кола). Використання вершин «АБО» в описанні кришки люка дозволяє урахувати можливі альтернативні проектні і конструктивні рішення їх складових. У «І-АБО»- дереві кришки люка доцільно виділяти: модулі, складові модулів, вузли, базові елементи та їх конструктивні особливості та ознаки. Глибина формування «І-АБО» - дерева визначається відповідним завданням.

Побудова загального «І-АБО» – дерева кришки люка (рисунок 2.10) виконується у наступному порядку: множину обраних конструктивних виконань кришок люків, для яких побудовані блочно-ієрархічні моделі («І» – дерева), розбивають на декілька груп, кожна з яких складається з найбільш близьких по побудові та функціям елементів; для кожної групи беруть окремі елементи, які відносяться до першого ієрархічного рівня, та будують для них свої «І-АБО» – дерева, де «І» – вершини (відображуються закрашеними колами на схемі) об'єднують обов'язкові елементи та конструктивні ознаки, а «АБО» – вершини (відображуються колами) – альтернативні елементи та ознаки. При цьому елементи та ознаки, що повторюються на «І-АБО» – дереві вказуються тільки один раз. «І-АБО» – дерева, побудовані для окремих складових кришок люків, об'єднують в одне загальне «І-АБО» – дерево. У загальному випадку при розробці «І-АБО» – дерева кришки люка необхідно дослідити її проект, виділити основні функціональні елементи та їх істотні конструктивні ознаки і особливості. При цьому доцільно виділяти наступні конструктивні ознаки та особливості:

1. Конструктивні матеріали (позначається на схемі літерами – КМ), в тому числі сталі які можливо використовувати з зазначенням їх характеристик (границя текучості, границя витривалості, корозійна стійкість та інші).



2. Конфігурації форми (позначається на схемі літерами – Ф) профілів/виконань які можливо доповнювати зазначенням характеристик (моменти опору, маса, деталі/вузла, та інші).

3. Спосіб виконання (позначається на схемі літерами – СВ), серед яких можна виділити: зварювальне з'єднання; болтове з'єднання; складально-зварювальне з'єднання; лиття; суцільний по довжині елемент; стиковий; суцільний по перерізу прокат; штамповка.

Результати виконаних попередніх досліджень засвідчили техніко-економічну доцільність впровадження попередніх корисних навантажень в несівні системи вантажних вагонів. Тому при побудові варіаційного описання кришок люків необхідно відобразити можливі застосування її несівних елементів з такими властивостями. При побудові «І-АБО» – дерева такі властивості відображаються літерами СС – стан складової.

Після розроблення загального «І-АБО» – дерева необхідно проконтролювати правильність його будови. При цьому слід керуватися тим, що «І-АБО» – дерево повинно забезпечувати зберігання всіх відомих технічних рішень відповідної кришки люка. При такому контролі беруть будь яку модель відповідної кришки люка у вигляді «І» – дерева та визначають, чи можливо його отримати із загального «І-АБО» – дерева шляхом виключення «АБО» – вершин.

Розроблене варіаційне описання може бути використане для проведення морфологічного аналізу, тобто за допомогою методів комбінаторики генерувати можливі варіанти кришок люків з втіленою головною функцією (конструктивно-орієнтованою, технологічно-орієнтованою чи ресурсно-орієнтованою).

Необхідно враховувати, що при утворенні конструктивної схеми кришки люка з використанням побудованого «І-АБО» – дерева обов'язково необхідно визначити відповідні геометричні параметри її складових елементів з комплексним урахуванням експлуатаційних навантажень та особливостей використання.

З рисунку 2.10 видно, що перший рівень «І-АБО» – дерева представлено загально конструктивними особливостями (підходами) до проектування кришки люка, а саме визначені особливості матеріального виконання, де узагальнено, розділено на мономатеріальне виконання (наприклад, сучасна сталева конструкція кришки люка) та поліматеріальне що розуміється як підбір та впровадження окремих складових конструкцій з різних матеріалів, наприклад, впровадження у відповідних місцях пружних матеріалів з максимально корисним використанням таких властивостей. Наступною гілкою є визначений підхід з застосуванням в конструкції попередньої корисної навантаженості елементів. Сказане дозволить більш ефективно протидіяти експлуатаційним навантаженням. Наступна гілка першого рівня представлена поділом за формою. При цьому виділені такі формові ознаки як з окремим каркасом та без його використання. Заключна конструктивна ознака розділяє можливі виконання кришки люка за способом виконання, де виділено складальне (складально одиниця з окремих елементів) та суцільне (наприклад, монолітна конструкція). Нижче складальний спосіб виконання також поділено на два основні варіанти, де розглянуто складально-зварювальна можливість виконання, а також беззварювальну (наприклад, зв'язувальний метод). Останнім виконання передбачає вміщення функцій підсилюючого каркасу у полотні. При цьому представлення безкаркасного виконання на нижчих ієрархічних рівнях відповідає шаровому виконанню полотна, яке деталізоване з третього ієрархічного рівня. У випадку без каркасного (перспективного) виконання кришки люка основний його конструктив буде відповідати складально-шаровому виконанню полотна з відповідними товщинами шарів та їх матеріального виконання.

В якості загальної характеристики першого ієрархічного рівня розроблене «І-АБО» – дерево можна відзначити, що його застосування дозволить генерувати патентноспроможні конструкції кришок люків, а також класифікувати узагальнюючі погляди на їх виконання.

Починаючи з другого рівня «І-АБО» – дерево розгорнуто для каркасної форми виконання кришки люка, при цьому відповідно до раніше побудованих «І» – дерев цей рівень представлено основними функціональними складовими сучасної типової кришки люка, а саме: полотном, каркасом, вузлом кріплення кришки люка до нижнього обв'язування, вузлом взаємокріплення та посилення, вузлом кріплення одного або декількох торсіонів, вузлом кріплення кришки люка до хребтової балки.

Розглянемо детальніше поділ на ієрархічних рівнях кожної складової другого рівня. Так на третьому ієрархічному рівні для полотна (рисунок 2.11) виділено можливості його виконання як суцільної або складальної одиниці.

На четвертому рівні гілка «І» суцільного полотна розділена на 3 гілки «АБО» – конструктивні матеріали (вуглецева сталь, низьколегована сталь та полімерний матеріал), форма (гофроване, плоске та у вигляді випуклої просторової фігури). А за способом виготовлення гілка має умову «І» - штампування та різання. Складальне полотно поділяється на шарове, імітація гофр окремими елементами. А також має дві гілки «АБО» – стан складової (застосування в конструкції попередньої корисної навантаженості елементів) та конструкційний матеріал (мономатеріал, поліматеріал).

На п'ятому рівні гофроване полотно може бути гофроване вздовж вагону або поперек. Форма випуклої просторової фігури може мати вигляд купола, бочкоподібна та інші. Шарове полотно поділяється на верхній лист, нижній лист та середній лист. Імітація гофр окремими елементами можливе за умови використання листа та профілів. Виконання полотна кришки люка за допомогою мономатеріала передбачає використання одного із представлених матеріалів (вуглецева сталь, низьколегована сталь та полімерний матеріал). А от при поліматеріальному виконанню можна обрати або вуглецеву сталь, або низьколеговану сталь, та обов'язковим є застосування полімерного матеріалу.

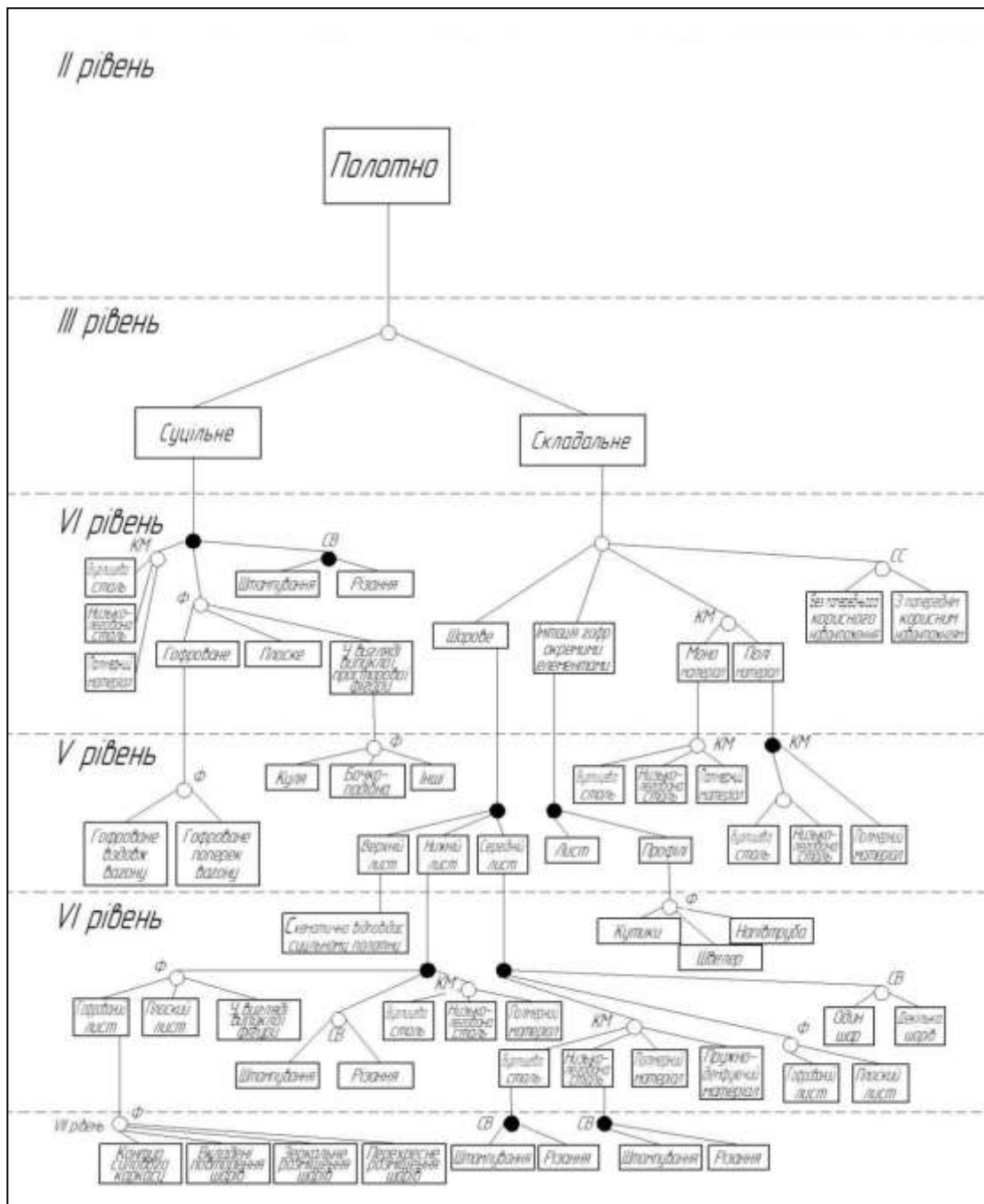


Рисунок 2.11 – «І-АБО» - дерево конструктивного виконання полотна кришки люка

У зв'язку з обмеженістю можливостей графічного детального представлення варіації верхнього листа на шостому ієрархічному рівні не наведено, але можна сказати, що він схематично відповідає суцільному полотну. При цьому варіації нижнього та середнього листів представлені на рисунку 2.6. Спосіб виготовлення одношарового або багатошарового виконання середнього шару кришки люка буде відповідати матеріалу виконання, тобто у

разі виготовлення його із сталей гофрованого типу це буде штампування та різання, а у разі виконання полімерним або ударно-демпуючим матеріалом: набивання, лиття, задування.

На цьому рівні представлені форми виконання нижнього гофрованого листа: контур силового каркасу, вкладені повторення шарів, дзеркальне розміщення шарів, перехресне розміщення шарів.

Наступна складова другого ієрархічного рівня – каркас (рисунок 2.12) на третьому рівні передбачає обов’язкове виконання підсилення периметра та центральної частини.

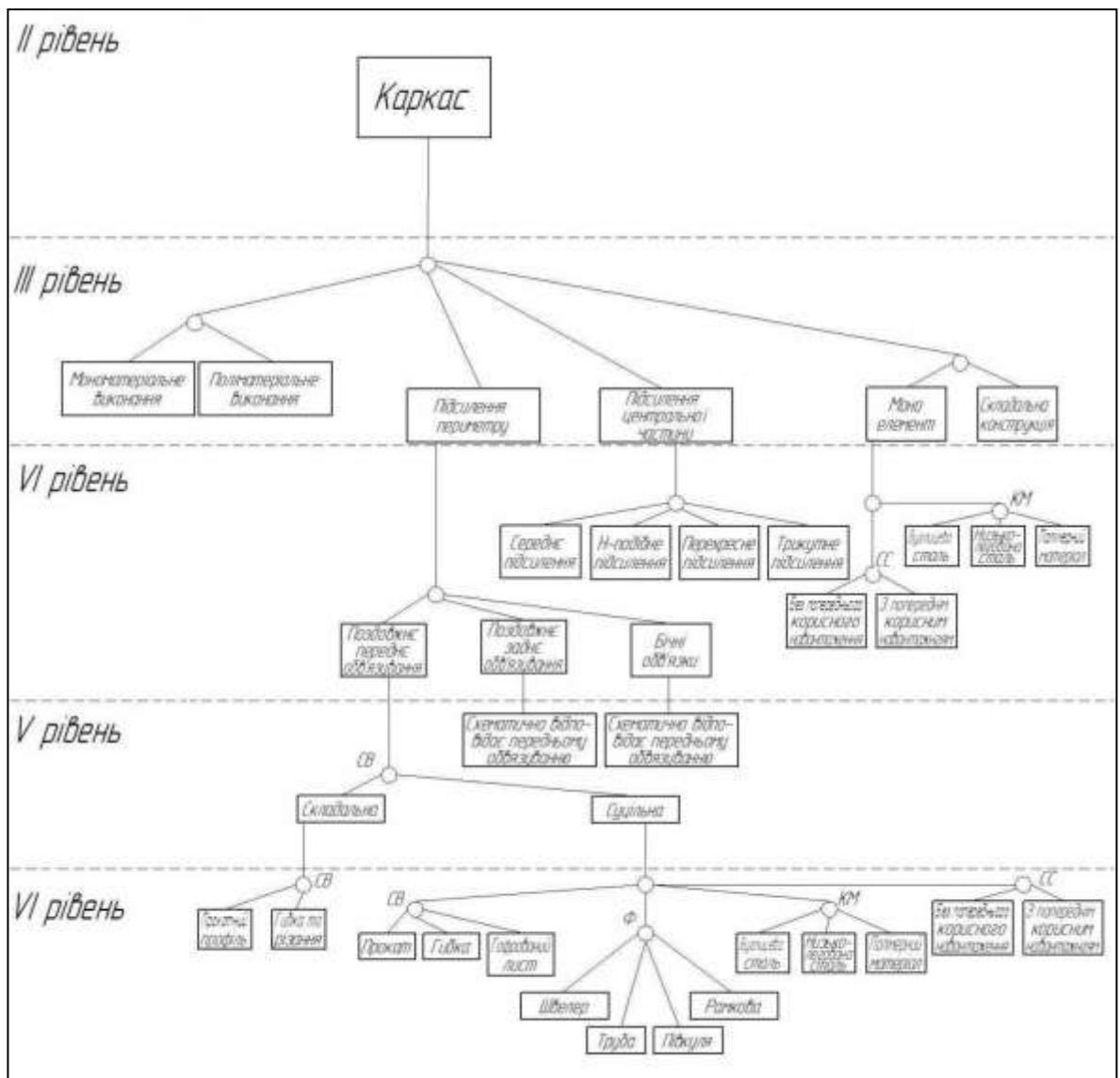


Рисунок 2.12 – «І-АБО» - дерево конструктивного виконання каркасу кришки люка

А також розділено на «АБО» - гілки – гілку по способу виготовлення (моно елемент та складальна конструкція) та на гілку, що передбачає виготовлення каркасу кришки люка або мономатеріальним, або поліматеріальним. На четвертому рівні підсилення периметра включає в себе поздовжню передню обв'язку, поздовжню задню обв'язку та бічні обв'язки. А підсилення периметра розділена на «АБО» - гілку по конфігурації форми – середнє підсилення, Н-подібне підсилення, перехресне підсилення та трикутне підсилення.

Моноелемент має дві гілки «АБО» – стан складової (застосування в конструкції попередньої корисної навантаженості елементів) та конструкційний матеріал (вуглецева сталь, низьколегована сталь та полімерний матеріал).

У зв'язку з обмеженістю можливостей графічного матеріалу детального представлення варіації поздовжньої задньої та бічних обв'язок на наступних ієрархічних рівнях не наведено, але можна сказати, що вони схематично відповідають поздовжній передній обв'язці. На п'ятому ієрархічному рівні поздовжня передня обв'язка розділена на «АБО» - гілку по способу виготовлення (суцільна, складальна). В свою чергу складальна на шостому рівні розрілена ще на одну гілку «АБО» по способу виготовлення – прокатний профіль, гібка та різання. А суцільна розділена на 4 гілки «АБО» – по способу виготовлення, формі, конструктивному матеріалу та стану складової, які представлені на рисунку 2.12.

У зв'язку із обмеженістю можливостей графічного масштабного матеріалу детального представлення варіації окремих складових кришки люка (рисунок 2.13), зокрема, вузла кріплення кришки люка до нижнього обв'язування, вузла взаємокріплення та посилення, вузла кріплення одного або декількох торсіонів (наприклад двоторсійне виконання), їх детально не розписано. Зазначені складові в своїй суті та в конструктивній побудові кришки люка з достатньою вичерпаністю можна описати ознаками характерними для окремих несучих елементів каркасу, наприклад, поздовжньої передньої обв'язки. При цьому таке варіаційне описання дозволяє вичленити існуючі їх

виконання та перспективні. Наприклад, для поздовжніх силових елементів таких, як кутник кронштейну запорного або підсилююча накладка середньої частини бічної обв'язки на сьогодні типово виконується з прокатних або гибочних профілів з низьколегованих сталей, що запропонована схема дозволяє виокремити. А елементи кріплення торсіону найчастіше є вирізаними з листового металу, а також побудова якої чітко прослідковується на зазначеній схемі.



Рисунок 2.13 – «І-АБО» - дерево конструктивного виконання окремих елементів кришки люка

Останньою складовою, представленою на другому ієрархічному рівні є вузол кріплення кришки люка до хребтової балки (рисунок 2.14). На третьому ієрархічному рівні розділена на 4 гілки «АБО» – конструктивний матеріал (мономатеріал, поліматеріал), стан складової (застосування в конструкції попередньої корисної навантаженості елементів), спосіб виготовлення (різання, лиття, прокат), а також розділена на гілку, що передбачає виконання даного вузла під стандартне або інноваційне кріплення. На четвертому рівні моно матеріал передбачає варіації виконання вузла кріплення кришки люка до хребтової балки із вуглецевої сталі, або низьколегованої сталі, або полімерного матеріалу. А при виготовленні представленого вузла під стандартне кріплення використовуються петлі.

Запропонований метод, який раніше було визначено, надає достатні можливості для автоматизації процесів параметричного та функціонального синтезу ескізних та робочих проектів кришок люків напіввагонів. Використання на практиці розроблених варіаційних описань кришок люків та їх складових дозволяє значно розширити можливості проектувальників нових їх конструкцій, модернізації вже існуючих, а також пошуку альтернативних ремонтних рішень. Розширення фондів конструктивних виконань кришок люків є важливою та актуальною задачею.

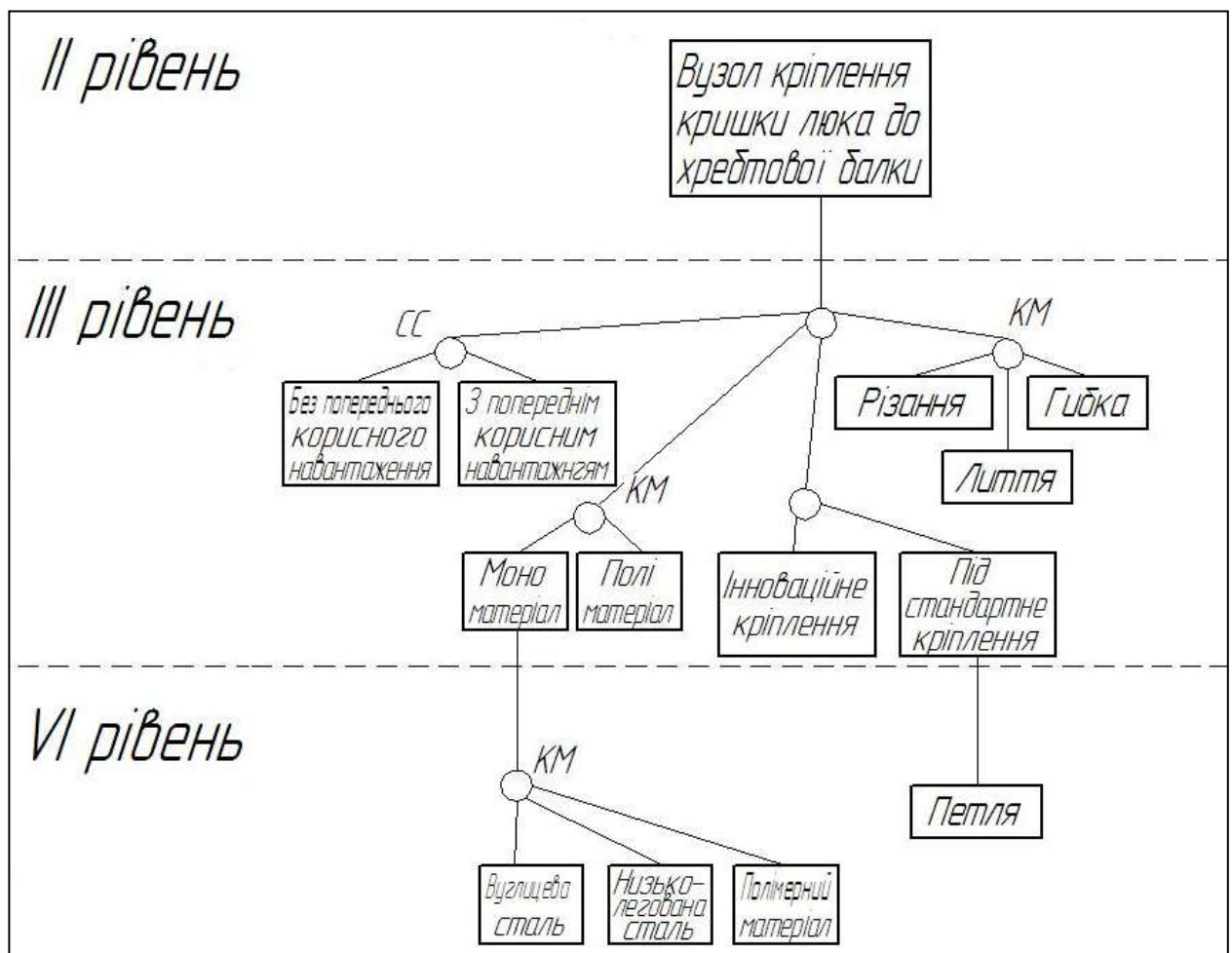


Рисунок 2.14 – «І-АБО» - дерево конструктивного виконання вузла кріплення кришки люка до хребтової балки

Запропонований метод варіаційних описань надає достатні можливості для автоматизації процесів параметричного та функціонального синтезу

ескізних та робочих проектів вантажних вагонів. Використання на практиці розроблених варіаційних описань кришки люка та її складових дозволяє значно розширити можливості проектувальників нових їх конструкцій, модернізації вже існуючих, а також пошуку альтернативних ремонтних рішень. Подальше розширення фондів конструктивних виконань кришок люків є важливою та актуальною задачею.

## **2.6 Структурно-функціональне описання конструкції кришки люка напіввагона**

На сучасному рівні розвитку науки та техніки для проектування кришок люків нового покоління чи/та для таких, що глибоко та комплексно модернізуються необхідно застосовувати (розробити та застосувати) інноваційні адаптивні методи наукової і інженерної діяльності [73-75, 121-141] на основі системного підходу. Сказане пояснюється тим, що особливістю існуючих методів проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з удосконалення кришок люків є окреме розглядання їх вузлів та деталей. Тому традиційний підхід не дозволяє враховувати особливості взаємодії складових елементів кришки люка в процесі експлуатації (в тому числі і на різних етапах їх життєвого циклу), і відповідно зробити точний аналіз функціонування основних елементів відповідних складових блоків. При цьому впровадження принципів системного підходу дозволить представити кришку люка у вигляді ряду взаємопов'язаних і взаємодіючих підсистем, які являють собою сукупність складових, виділених в її конструкції, а також з максимальною повнотою врахувати основні фактори їх функціонування: характеристики матеріалу із яких виготовлено основні складові (відбивають основні властивості матеріалу – міцність, корозійну стійкість, зварюваність, пластичність та інші), технологічні вимоги (враховують енерговитрати і

особливості технології виготовлення та ремонту), експлуатаційні умови (враховують особливості експлуатації кришок люків), та конструкційні властивості (враховують особливості форми блоків/вузлів/деталей), а також зміну/деградацію їх параметрів на етапах експлуатації (наприклад при визначенні об'ємів ремонтів чи подовженні терміну експлуатації).

При вирішенні вищеописаної проблеми першочерговим завданням є розроблення структурно-функціонального описання кришок люків – відображення його основних елементів (блоків конструкції) і функціональних зв'язків між ними, яке дозволить формалізувати (розширити) описання характеристик функціонування кришок люків напіввагонів та відповідних підсистем, а також використовувати при його конструюванні елементи творчих і пошукових методів, які забезпечують отримання нових патентоспроможних технічних рішень. Однак аналіз чисельної, відповідної до профілю досліджуваного питання, науково-технічної та довідкової літератури [1] засвідчив про відсутність інформації з проведення таких робіт.

Вирішення представленого складного науково-технічного завдання обумовлює необхідність розв'язання ряду задач, серед яких можна виділити: створення структурного описання, визначення функцій блоків/вузлів/деталей, відповідних особливих умов та обмежень при яких будуть виконуватись функції. При розробленні структурно-функціонального описання кришок люків роботи проводяться у три етапи. Перший етап включає проведення робіт з структурно-функціонального передбачає виділення трьох ієрархічних рівнів. При цьому модуль кришки люка ( $B_{1131}$ ) розглядається як елемент нульового рівня, на першому рівні розташовані основні блоки конструкції кришки люка, вузлові елементи якої належать до другого рівня, а елементи, які умовно не підлягають подальшому розділенню складають деталі третього рівня, що схематизовано на рисунку 2.15.

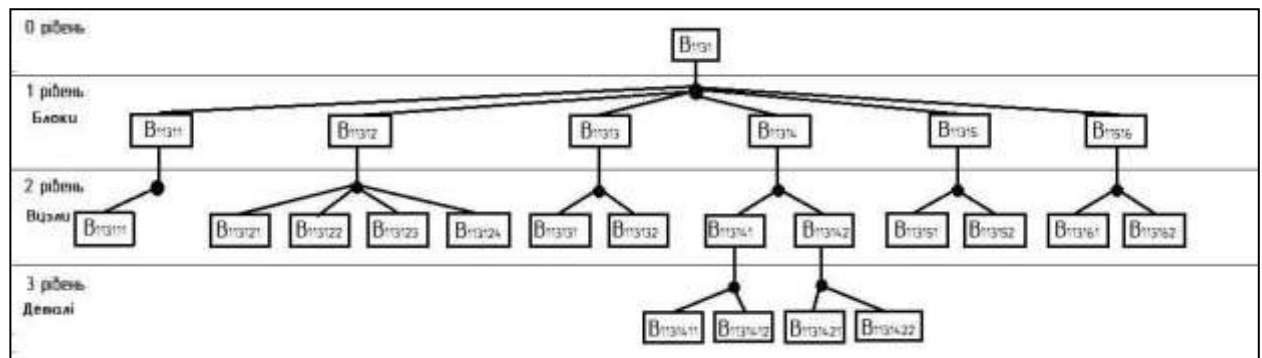


Рисунок 2.15 - Блочно-ієрархічна схема кришки люка напіввагону

На 1 рівні розділена на основні блоки: лист кришки люка ( $V_{11311}$ ), каркас ( $V_{11312}$ ), блок кріплення кришки люка до хребтової балки ( $V_{11313}$ ), блок кріплення кришки люка до нижньої обв'язки напіввагону ( $V_{11314}$ ), блок взаємокріплення та посилення ( $V_{11315}$ ), блок кріплення торсіонного пристрою ( $V_{11316}$ ).

На 2 рівні кожен з основних блоків розділені на вузли. Так лист кришки люка ( $V_{11311}$ ) має лише один вузол – полотно ( $V_{113111}$ ). Каркас ( $V_{11312}$ ) поділяється на: повздовжню передню обв'язку ( $V_{113121}$ ), повздовжню середню обв'язку ( $V_{113122}$ ), повздовжню задню обв'язку ( $V_{113123}$ ) та поперечні бічні обв'язки ( $V_{113124}$ ). Блок кріплення кришки люка до хребтової балки ( $V_{11313}$ ) має такі вузли: петлі ( $V_{113131}$ ) та заклепки ( $V_{113132}$ ). Блок кріплення кришки люка до нижньої обв'язки напіввагону ( $V_{11314}$ ) поділяється на правий кронштейн ( $V_{113141}$ ) та лівий кронштейн ( $V_{113142}$ ). Блок взаємокріплення та посилення ( $V_{11315}$ ) включає в себе посилюючу накладку ( $V_{113151}$ ) та з'єднувально-посилюючу косинку ( $V_{113152}$ ). Блок кріплення торсіонного пристрою ( $V_{11316}$ ) складається з задньої планки ( $V_{113161}$ ) та передньої планки ( $V_{113162}$ ).

На 3 рівні – «Деталі», правий кронштейн ( $V_{113141}$ ) поділяється на кутик ( $V_{1131411}$ ) та скобу ( $V_{1131412}$ ) правого виконання, а лівий кронштейн ( $V_{113142}$ ) – на кутик ( $V_{1131421}$ ) та скобу ( $V_{1131422}$ ) лівого виконання.

На другому етапі визначаються функції  $F$  кожної з виділених підсистем. Для цього доцільно використовувати наступне описання:

$$F = (D, G, H), \quad (2.6)$$

де  $D$  – дія, яку виконує кришка люка (або її підсистемна складова), що приводить до бажаного результату;

$G$  – об'єкт, на який направлена дія  $D$ ;

$H$  – особливі умови і обмеження, при яких виконується дія  $D$ .

При розробленні структурно-функціонального описання розвантажувального пристрою напіввагонів (рисунок 2.16) доцільно застосовувати принципи блочності та ієрархічності.

У відповідності до яких першочергово визначаються головні функції кришки люка, який є блоком верхнього (нульового) рівня ієрархічної структури. Після визначення головних функцій кришки люка визначаються головні корисні функції та допоміжні супутні функції блоків (перший ієрархічний рівень), які забезпечують виконання головних функцій кришки люка. В подальшому кожний елемент першого ієрархічного рівня розглядається як самостійна технічна система, що дозволяє виділити конструкційні елементи другого рівня та їх головні корисні і допоміжні супутні функції, які забезпечують функціонування елементів першого рівня. Аналогічно проводиться поділ на функціональні елементи другого та третього ієрархічних рівнів і їх розгляд. Обмеження розглядаються у відповідності до ієрархії рівнів, тобто обмеження для загальної конструкції висувають вимоги до складових модулів, які в свою чергу обумовлюють обмеження складових. Узагальнено у якості основних обмежень можна виділити: масові вимоги, геометричні/просторові/формові обмеження, обмеження з: енерговитрат, технологічного характеру, уніфікації в ремонті та виготовленні, поверхневої обробки та інші.

Та на третьому, завершальному, етапі будується блочно-ієрархічна модель кришки люка функціональної взаємодії між складовими.

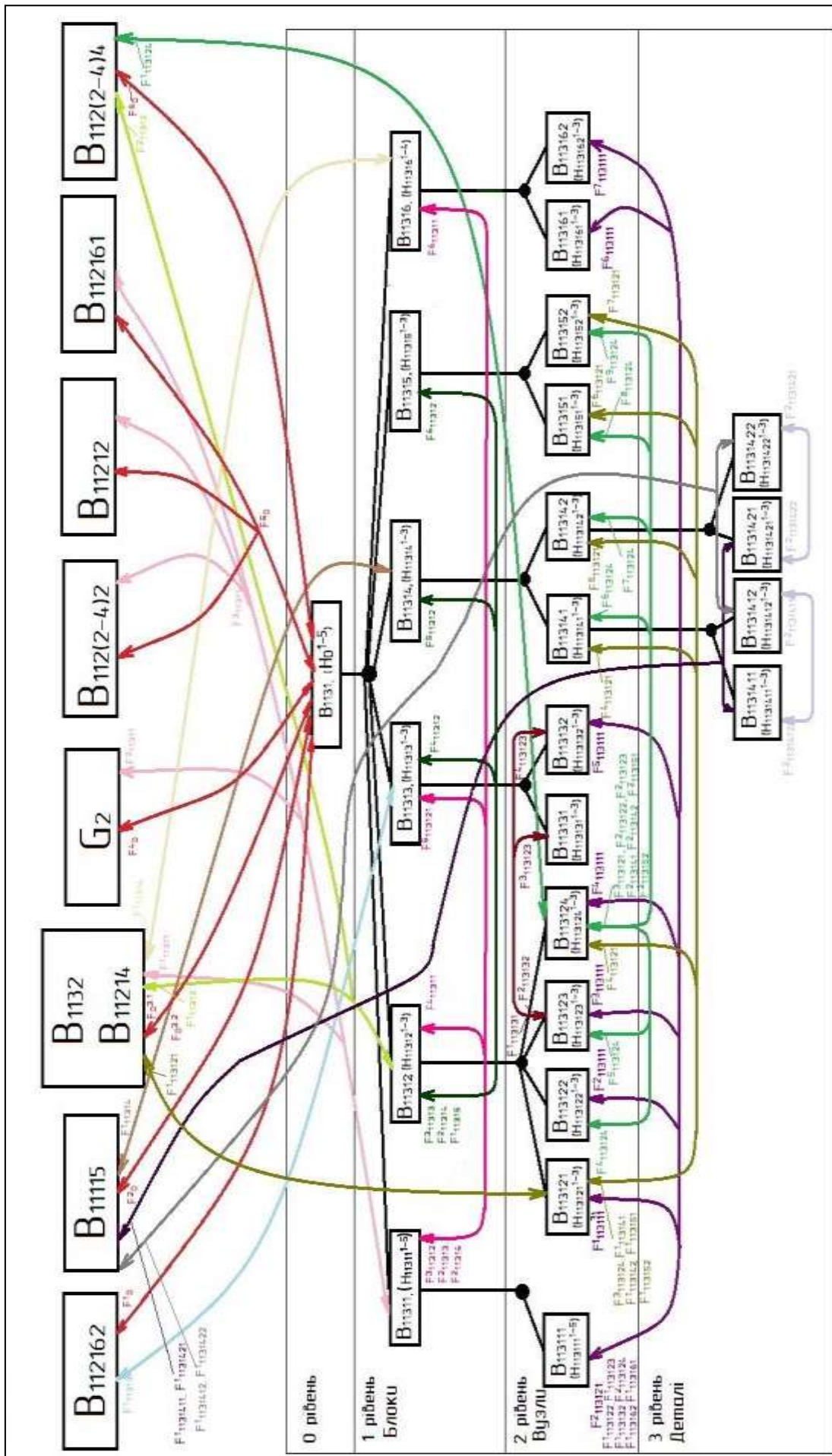


Рисунок 2.16 – Структурно-функціональна модель кришки люка напіввагону

Блоки/вузли/деталі кришки люка зазвичай виконують декілька функцій ( $k > 1$ ). В таких випадках функції позначені для першого, другого і третього рівня відповідно через:  $F^1_{1x} \dots F^k_{1x}$ ;  $F^1_{1xn} \dots F^k_{1xn}$ ;  $F^1_{1xnl} \dots F^k_{1xnl}$  і  $F^1_{1xnlm} \dots F^k_{1xnlm}$ , де  $k$  змінюється в залежності від кількості функцій складового елемента.

З точки зору розгляду конструкції кришки люка як складового блока загальної конструкції напіввагону її функціональний облік (призначення) можна охарактеризувати наступним.

Кришки люків у загальній сукупності (зазвичай 14 одиниць) утворюють в закритому положенні підлогу вагону. Вони монтуються на рамі вагона через петлі, в закритому положенні фіксуються на нижньому обв'язуванні стін бокових закидками та секторами, а у відкритому положенні спитаються на упори проміжних балок. Для полегшення закриття кришки люка після вивантаження на вагоні встановлений торсійний механізм. В закритому положенні верхня поверхня кришки люка контактує окрім відповідних елементів хребтової балки та нижнього обв'язування з сусідніми проміжними балками, утворюючи герметичний настил підлоги.

З урахуванням загального призначення та конструктивних властивостей у загальному можна виділити в якості основних функцій кришки люка наступні:

- утворення підлоги вагону з достатнім рівнем герметичності;
- сприйняття без залишкових деформацій експлуатаційних навантажень], до яких можна віднести: навантаження насипним, навалочним або штучним вантажем; сприйняття статичних і динамічних навантажень від дії зусиль, які виникають в експлуатації]; навантаження при вивантаженні (дія вантажу на кришку люка, удари при відкритті об упори);
- достатній рівень ремонтпридатності простота конструкції (простота при виготовленні, ремонтах, встановленні на вагон, закритті та відкритті).

З урахуванням всього вище зазначеного в розділі при побудові структурно-функціонального описання кришки люка було виділено

«І»-дерево конструкції кришки люка по проекту 9904.45.60 та наступні взаємодіючі з кришкою люків складові напіввагону:

- вузол кріплення кришки люка до хребтової балки (державки кришки люка) –  $V_{112162}$ ;
- засоби закриття кришки люка та її фіксації –  $V_{11115}$ ;
- вузол допомоги при закритті –  $V_{1132}$ , скоба під ломик –  $V_{11214}$ .
- вантаж –  $G_2$ ;
- бокові дотичні поверхні в закритому положенні (верхні частини проміжних балок рами) –  $V_{112(2-4)2}$ ;
- передні дотичні поверхні в закритому положенні (нижнє обв'язування – кутик 150) –  $V_{11212}$ ;
- задні дотичні поверхні в закритому положенні (балки, двотавр №19) –  $V_{11261}$ ;
- вузол опирання кришки люка на раму під час розвантаження (упори проміжних балок) –  $V_{112(2-4)4}$ ;

Зазначена конструкція кришки люка була обрана як найбільш поширена на сьогодні як конструктивно-технологічне виконання (заклепкове кріплення петель, полотно із гофрованою листом і т. д.).

З рисунку 2.11 видно, що кришка люка взаємодіє (впливає та має зворотній зв'язок) із: вузол кріплення кришки люка до хребтової балки ( $V_{112162}$ ); засоби закриття кришки люка та її фіксації ( $V_{11115}$ ); вузол допомоги при закритті ( $V_{1132}$ ), скоба під ломик ( $V_{11214}$ ); вантаж ( $G_2$ ); бокові дотичні поверхні в закритому положенні ( $V_{112(2-4)2}$ ); передні дотичні поверхні в закритому положенні ( $V_{11212}$ ); задні дотичні поверхні в закритому положенні ( $V_{11261}$ ); вузол опирання кришки люка на раму під час розвантаження ( $V_{112(2-4)4}$ ). При цьому основні функції кришки люка розподіляються через складові елементи першого ієрархічного рівня (між вузлами). Так лист кришки люка ( $V_{11311}$ ) безпосередньо взаємодіє з  $V_{1132}$ ,  $G_2$ ,  $V_{112(2-4)2}$ ,  $V_{11212}$ ,  $V_{11261}$  (функції  $F_{11311}^1$ ,  $F_{11311}^2$ ,  $F_{11311}^3$ ) та виконує функції  $F_{11311}^{4-6}$  з модулями  $V_{11312}$ ,  $V_{11313}$ ,  $V_{11316}$ , при виконанні умов –  $H_{11311}^{1-5}$ . Блок  $V_{11312}$  виконує функції  $F_{11312}^1$ ,  $F_{11312}^2$  з  $V_{11214}$ ,  $V_{112(2-4)4}$ , та взаємодіє з  $V_{11311}$ ,  $V_{11313}$ ,

$V_{11314}$ ,  $V_{11315}$  (функції  $F_{11312}^{3-6}$ ), при виконанні умов –  $H_{11312}^{1-3}$ . Блок  $V_{11313}$  взаємодіє з  $V_{112162}$  (функція  $F_{11313}^1$ ), та виконує функції  $F_{11313}^{2-3}$  з  $V_{11311}$ ,  $V_{11312}$ , при виконанні умов –  $H_{11312}^{1-3}$ . Блок  $V_{11314}$  виконує функцію  $F_{11314}^1$  з модулем  $V_{11115}$ , та функцію  $F_{11314}^2$  з блоком  $V_{11312}$ , при виконанні умов –  $H_{11314}^{1-3}$ . Блок  $V_{11315}$  виконує функцію  $F_{11315}^1$  з  $V_{113112}$ , при виконанні умов –  $H_{11315}^{1-3}$ . Блок  $V_{11316}$  виконує функцію  $F_{11316}^1$  з  $V_{1132}$ , та взаємодіє з  $V_{11311}$  (функція  $F_{11316}^2$ ), при виконанні умов –  $H_{11316}^{1-3}$ .

На другому ієрархічному рівні прослідковуються наступні функції складових кришки люка. Вузол  $V_{113111}$  виконує функції  $F_{11311}^{1-7}$  з  $V_{113121}$ ,  $V_{113122}$ ,  $V_{113123}$ ,  $V_{113124}$ ,  $V_{113132}$ ,  $V_{113161}$ ,  $V_{113162}$ , при виконанні умов –  $H_{113111}^{1-6}$ . Вузол  $V_{113121}$  виконує функцію  $F_{113121}^1$  з  $V_{11214}$ , та взаємодіє з  $V_{113121}$ ,  $V_{113124}$ ,  $V_{113141}$ ,  $V_{113142}$ ,  $V_{113151}$ ,  $V_{113152}$  (функції  $F_{11311}^{2-7}$ ), при виконанні умов –  $H_{113121}^{1-3}$ . Вузол  $V_{113122}$  взаємодіє з  $V_{113111}$ ,  $V_{113124}$  (функції  $F_{113122}^{1-2}$ ), при виконанні умов –  $H_{113122}^{1-3}$ . Вузол  $V_{113123}$  взаємодіє з  $V_{113111}$ ,  $V_{113124}$ ,  $V_{113131}$ ,  $V_{113132}$  (функції  $F_{113123}^{1-4}$ ), при виконанні умов –  $H_{113123}^{1-3}$ . Вузол  $V_{113124}$  взаємодіє з  $V_{112(2-4)4}$  (функція  $F_{113124}^1$ ), та виконує функції  $F_{113123}^{2-9}$  з  $V_{113111}$ ,  $V_{113121}$ ,  $V_{113122}$ ,  $V_{113123}$ ,  $V_{113141}$ ,  $V_{113142}$ ,  $V_{113151}$ ,  $V_{113152}$  при виконанні умов –  $H_{113124}^{1-3}$ . Вузол  $V_{113131}$  взаємодіє з  $V_{113123}$  (функція  $F_{113131}^1$ ), при виконанні умов –  $H_{113131}^{1-3}$ . Вузол  $V_{113132}$  взаємодіє з  $V_{113111}$ ,  $V_{113123}$  (функції  $F_{113132}^{1-2}$ ), при виконанні умов –  $H_{113132}^{1-3}$ . Вузол  $V_{113141}$  взаємодіє з  $V_{113121}$ ,  $V_{113124}$  (функції  $F_{113141}^{1-2}$ ), при виконанні умов –  $H_{113141}^{1-3}$ . Вузол  $V_{113142}$  взаємодіє з  $V_{113121}$ ,  $V_{113124}$  (функції  $F_{113142}^{1-2}$ ), при виконанні умов –  $H_{113142}^{1-3}$ . Вузол  $V_{113151}$  взаємодіє з  $V_{113121}$ ,  $V_{113124}$  (функції  $F_{113151}^{1-2}$ ), при виконанні умов –  $H_{113151}^{1-3}$ . Вузол  $V_{113152}$  взаємодіє з  $V_{113121}$ ,  $V_{113124}$  (функції  $F_{113152}^{1-2}$ ), при виконанні умов –  $H_{113152}^{1-3}$ . Вузол  $V_{113161}$  взаємодіє з  $V_{113111}$  (функція  $F_{113161}^1$ ), при виконанні умов –  $H_{113161}^{1-4}$ . Вузол  $V_{113162}$  взаємодіє з  $V_{113111}$  (функція  $F_{113162}^1$ ), при виконанні умов –  $H_{113162}^{1-4}$ .

Аналізуючи третій ієрархічний рівень розробленої структурно-функціональної схеми можна надати наступні коментарі.

Деталі ( $V_{1131411}$ ,  $V_{1131412}$ ,  $V_{1131421}$ ,  $V_{1131422}$ ) взаємодіють з модулем  $V_{11115}$  – функції  $F_{1131411}^1$ ,  $F_{1131412}^1$ ,  $F_{1131421}^1$ ,  $F_{1131422}^1$ , при виконанні умов –  $H_{1131411}^{1-3}$ ,  $H_{1131412}^{1-3}$ ,  $H_{1131421}^{1-3}$ ,  $H_{1131422}^{1-3}$ , Деталі  $V_{1131411}$  та  $V_{1131412}$  взаємодіють між собою (відповідно функції  $F_{1131411}^2$ ,  $F_{1131412}^2$ ), при виконанні умов –  $H_{1131411}^{1-3}$ ,  $H_{1131412}^{1-3}$ . Деталі  $V_{1131421}$  та  $V_{1131422}$  взаємодіють між собою (відповідно функції  $F_{1131421}^2$ ,  $F_{1131422}^2$ ), при виконанні умов –  $H_{1131411}^{1-3}$ ,  $H_{1131412}^{1-3}$ .

Вище наведені та зазначені на схемі взаємодії каркасу загально можна охарактеризувати як: каркас є підсилюючим елементом полотна та базою для встановлення інших, окрім торсіонного, вузлів. Його основні функції знаходяться на внутрішньорівневому (1 рівень) полі та додатково він наділений функцією опирання кришки люка на упори при відкритті.

Визначені взаємодіючі функції полотна та їх кількість характеризують його як основний елемент кришки люка, структурно-параметричні та функціональні властивості якого визначають: відносні характеристики (форма, принцип дії, матеріал та інші) інших вузлових та базових елементів її конструкції. Також про сказане свідчить інтенсивність взаємозв'язків полотна  $V_{113111}$  як елемента 2 рівня.

З метою скорочення схематичних зв'язків та врахування ідентичні взаємодії із зовнішніми (окрім кришки люка) елементами схеми з блоком  $V_{11311}$  полотно на 2 рівні має тільки внутрішньорівневі зв'язки.

Таблиця 2.1 – Аналіз функцій кришки люка напіввагона

№ з/п	Кришка люка чи блок/вузол/деталь її конструкції: об'єкт, на який спрямована дія кришки люка/блоку/вузла/деталі	Функції кришки люка/блоку/вузла/деталі з урахуванням особливих умов і обмежень Н
1	2	3
1	<p><math>V_{1131}</math> – кришка люка;</p> <p><math>V_{112162}</math> – вузол кріплення кришки люка до хребтової балки;</p> <p><math>V_{11115}</math> – засоби закриття кришки люка та її фіксації;</p> <p><math>V_{1132}</math> – вузол допомоги при закритті;</p> <p><math>V_{11214}</math> – скоба під ломик;</p> <p><math>G_2</math> – вантаж;</p> <p><math>V_{112(2-4)2}</math> – бокові дотичні поверхні в закритому положенні;</p> <p><math>V_{11212}</math> – передні дотичні поверхні в закритому положенні;</p> <p><math>V_{11261}</math> – задні дотичні поверхні в закритому положенні;</p> <p><math>V_{112(2-4)4}</math> – вузол опирання кришки люка на раму під час розвантаження.</p>	<p><math>F_0^1</math> – кріплення та взаємодія по сприйняттю експлуатаційних навантажень через <math>V_{112162}</math> до загального силового каркасу напіввагону;</p> <p><math>F_0^2</math> – надійна фіксація та запобігання саморозкриттю кришки люка з <math>V_{11115}</math> та взаємодія по сприйняттю експлуатаційних навантажень;</p> <p><math>F_0^{3.1}</math> – взаємодія з <math>V_{1132}</math> по підняттю кришки люка без залучення додаткових механізмів на відповідну висоту;</p> <p><math>F_0^{3.2}</math> – взаємодія з <math>V_{11214}</math> по підтягуванню кришки люка до рівня фіксації;</p> <p><math>F_0^4</math> – взаємодія з вантажем <math>G_2</math>, що включає навантаження, які виникають при завантаженні (в тому числі крупнокусковим вантажем), навантаження при перевезеннях</p>

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
		<p>та навантаження при вивантаженнях (в тому числі абразивної природи);</p> <p><math>F_0^5</math> – виконання функції підлоги шляхом взаємодії з <math>B_{112(2-4)2}</math>, <math>B_{11212}</math>, <math>B_{11261}</math> за умови забезпечення герметичності на достатньому рівні при перевезенні вантажів (в тому числі насипних);</p> <p><math>F_0^6</math> – взаємодія з елементом <math>B_{112(2-4)4}</math> по сприйняттю навантажень, які виникають при вивантаженнях динамічного та статичного характеру.</p> <p>В якості основних умов роботи кришки люка можна виділити: <math>H_0^1</math> – сприйняття експлуатаційних навантажень без залишкових деформацій; <math>H_0^2</math> – формування герметичної поверхні поверхні;</p> <p><math>H_0^3</math> – корозійна стійкість;</p> <p><math>H_0^4</math> – абразивна стійкість;</p> <p><math>H_0^5</math> – технологічність виготовлення та ремонтів.</p>

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
2	<p><math>V_{11311}</math> – лист кришки люка;</p> <p><math>V_{1132}</math> – вузол допомоги при закритті;</p> <p><math>G_2</math> – вантаж;</p> <p><math>V_{112(2-4)2}</math> – бокові дотичні поверхні в закритому положенні;</p> <p><math>V_{11212}</math> – передні дотичні поверхні в закритому положенні;</p> <p><math>V_{11261}</math> – задні дотичні поверхні в закритому положенні;</p> <p><math>V_{11312}</math> – каркас;</p> <p><math>V_{11313}</math> – вузол кріплення кришки люка до хребтової балки;</p> <p><math>V_{11316}</math> – вузол кріплення одного або декількох торсіонів.</p>	<p><math>F_{11311}^1 = F_0^{3,1}</math></p> <p><math>F_{11311}^2 = F_0^4</math></p> <p><math>F_{11311}^3 = F_0^5</math></p> <p><math>F_{11311}^4</math> – взаємодія з <math>V_{11212}</math> по сприйняттю та перерозподілу експлуатаційних навантажень;</p> <p><math>F_{11311}^5</math> – взаємодія з <math>V_{11313}</math> та сприйняття відповідних експлуатаційних навантажень;</p> <p><math>F_{11311}^6</math> – взаємодія з <math>V_{11216}</math> по сприйняттю відповідних навантажень (в закритому та відкритому положенні).</p> <p>При виконанні відповідних умов:</p> <p><math>H_{11311}^{1-5} = H_0^{1-5}</math></p>
3	<p><math>V_{11312}</math> – каркас;</p> <p><math>V_{11214}</math> – скоба під ломик;</p> <p><math>V_{112(2-4)4}</math> – вузол опирання кришки люка на раму під час розвантаження;</p> <p><math>V_{11311}</math> – лист кришки люка;</p> <p><math>V_{11313}</math> – вузол кріплення кришки люка до хребтової балки;</p> <p><math>V_{11314}</math> – вузол кріплення кришки люка до нижнього обв'язування;</p>	<p><math>F_{11312}^1 = F_0^{3,2}</math>;</p> <p><math>F_{11312}^2 = F_0^6</math></p> <p><math>F_{11312}^3 = F_{11311}^4</math></p> <p><math>F_{11312}^4</math> – взаємодія з <math>V_{11313}</math> та сприйняття відповідних експлуатаційних навантажень;</p> <p><math>F_{11312}^5</math> – розташування та взаємодія з <math>V_{11314}</math> та сприйняття відповідних експлуатаційних навантажень;</p>

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
	<p><math>V_{11315}</math> – вузол взаємокріплення та посилення;</p>	
4	<p><math>V_{11313}</math> – вузол кріплення кришки люка до хребтової балки;  <math>V_{112162}</math> – вузол кріплення кришки люка до хребтової балки;  <math>V_{11311}</math> – лист кришки люка;  <math>V_{11312}</math> – каркас.</p>	<p><math>F_{11313}^1 = F_{11312}^6</math> – взаємодія з <math>V_{11315}</math> по сприйняттю відповідних експлуатаційних навантажень.                      При виконанні відповідних умов:  <math>H_{11312}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5 \cdot F_0^1</math>  <math>F_{11313}^1 = F_{11312}^4</math>                      При виконанні відповідних умов:  <math>H_{11313}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5</math>.</p>
5	<p><math>V_{11314}</math> – вузол кріплення кришки люка до нижнього обв'язування;  <math>V_{11115}</math> – засоби закриття кришки люка та її фіксації;  <math>V_{11312}</math> – каркас.</p>	<p><math>F_{11314}^1 = F_0^2</math>  <math>F_{11314}^2 = F_{11312}^5</math>                      При виконанні відповідних умов:  <math>H_{11314}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5</math>.</p>
6	<p><math>V_{11315}</math> – вузол взаємокріплення та посилення;  <math>V_{11312}</math> – каркас.</p>	<p><math>F_{11315}^1 = F_{11313}^6</math>                      При виконанні відповідних умов:  <math>H_{11315}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5</math>.</p>
7	<p><math>V_{11316}</math> – вузол кріплення одного або декількох торсіонів;  <math>V_{1132}</math> – вузол допомоги при закритті;  <math>V_{11311}</math> – лист кришки люка.</p>	<p><math>F_{11316}^1 = F_0^{3,1}</math>  <math>F_{11316}^2 = F_{11311}^6</math>                      При виконанні відповідних умов:  <math>H_{11316}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5</math>,  <math>H_{11316}^4</math> – можливість накопичення та вивільнення у певних обставинах потенційної енергії.</p>

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
8	<p>В<sub>113111</sub> – полотно;  В<sub>113121</sub> – передня обв’яка;  В<sub>113122</sub> – середня обв’яка;  В<sub>113123</sub> – задня обв’яка;  В<sub>113124</sub> – бічні обв’яки;  В<sub>113132</sub> – заклепки;  В<sub>113161</sub> – задня планка;  В<sub>113162</sub> – передня планка.</p>	<p><math>F_{113111}^{1-4}</math> – взаємодія відповідно з В<sub>113124</sub>, В<sub>113123</sub>, В<sub>113122</sub>, В<sub>113121</sub> по сприйняттю експлуатаційних навантажень;  <math>F_{113111}^5 = F_{11311}^5</math>, <math>F_{113111}^6 = F_{11311}^6</math>  <math>F_{113111}^7 = F_{11311}^6</math>  При виконанні відповідних умов:  <math>H_{113111}^{1-5} = H_0^{1-5}</math>, <math>H_{113111}^6 = H_{11316}^4</math>.</p>
9	<p>В<sub>113121</sub> – передня обв’яка;  В<sub>11214</sub> – скоба під ломик;  В<sub>113111</sub> – полотно;  В<sub>113124</sub> – бічні обв’яки;  В<sub>113141</sub> – правий кронштейн; В<sub>113142</sub> – лівий кронштейн; В<sub>113151</sub> – накладка;</p>	<p><math>F_{113121}^1 = F_0^{3,2}</math>  <math>F_{113121}^2 = F_{113111}^1</math>  <math>F_{113121}^3</math> – взаємодія з В<sub>113124</sub> по сприйняттю експлуатаційних навантажень;</p>
	<p>В<sub>113152</sub> – косинка.</p>	<p><math>F_{113121}^{4-7}</math> – взаємодія з В<sub>113141</sub>, В<sub>113142</sub>, В<sub>113151</sub>, В<sub>113152</sub> по сприйняттю відповідних експлуатаційних навантажень.</p>
10	<p>В<sub>113122</sub> – середня обв’яка;  В<sub>113111</sub> – полотно;  В<sub>113124</sub> – бічні обв’яки.</p>	<p><math>F_{113122}^1 = F_{113111}^2</math>  <math>F_{113122}^2</math> – взаємодія з В<sub>113124</sub> по сприйняттю відповідних експлуатаційних навантажень.  При виконанні відповідних умов:  <math>H_{113122}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5</math>.</p>

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
11	<p><math>V_{113123}</math> задня обв'яка:</p> <p><math>V_{113111}</math> – полотно;</p> <p><math>V_{113124}</math> – бічні обв'яки.</p> <p><math>V_{113131}</math> – петлі;</p> <p><math>V_{113132}</math> – заклепки.</p>	<p><math>F_{113123}^1 = F_{113111}^3</math></p> <p><math>F_{113123}^2</math> – взаємодія з <math>V_{113124}</math> по сприйняттю відповідних експлуатаційних навантажень.</p> <p><math>F_{113123}^3</math> – взаємодія з <math>V_{113131}</math> по сприйняттю відповідних експлуатаційних навантажень.</p> <p><math>F_{113123}^4</math> – взаємодія з <math>V_{113132}</math> по сприйняттю навантажень, що передаються від петель.</p> <p>При виконанні відповідних умов:</p> <p><math>H_{113123}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5</math>.</p>
12	<p><math>V_{113124}</math> – бічні обв'яки:</p> <p><math>V_{112(2-4)4}</math> – вузол опирання кришки люка на раму під час розвантаження;</p> <p><math>V_{113111}</math> – полотно;</p> <p><math>V_{113121}</math> – передня обв'яка;</p> <p><math>V_{113122}</math> – середня обв'яка;</p> <p><math>V_{113123}</math> – задня обв'яка;</p> <p><math>V_{113141}</math> – правий кронштейн;</p> <p><math>V_{113142}</math> – лівий кронштейн;</p> <p><math>V_{113151}</math> – накладка;</p> <p><math>V_{113152}</math> – косинка.</p>	<p><math>F_{113124}^1 = F_0^6</math></p> <p><math>F_{113124}^2 = F_{113111}^4</math></p> <p><math>F_{113124}^3 = F_{113122}^2</math></p> <p><math>F_{113124}^4 = F_{113121}^3</math></p> <p><math>F_{113124}^5 = F_{113123}^2</math></p> <p><math>F_{113124}^{6-7}</math> – взаємодія з <math>V_{113141}</math>, <math>V_{113142}</math> по сприйняттю відповідних експлуатаційних навантажень закритому положенні.</p> <p><math>F_{113124}^{8-9}</math> – взаємодія з <math>V_{113151}</math>, <math>V_{113152}</math> по сприйняттю відповідних експлуатаційних навантажень.</p> <p>При виконанні відповідних умов:</p> <p><math>H_{113124}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5</math>.</p>

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
13	<p><math>V_{113131}</math> – петлі;  <math>V_{113123}</math> – задня обв’яка;</p>	<p><math>F_{113131}^1 = F_{113123}^3</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:  <math>H_{113131}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5.</math></p>
14	<p><math>V_{113132}</math> – заклепки;  <math>V_{113111}</math> – полотно;  <math>V_{113123}</math> – задня обв’яка.</p>	<p><math>F_{113132}^1 = F_{113111}^5</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:  <math>H_{113132}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5.</math></p>
15	<p><math>V_{113141}</math> – правий кронштейн;  <math>V_{113121}</math> – передня обв’яка;  <math>V_{113124}</math> – бічні обв’яки.</p>	<p><math>F_{113141}^1 = F_{113121}^4</math></p> <p><math>F_{113141}^2 = F_{113124}^6</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:  <math>H_{113141}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5.</math></p>
16	<p><math>V_{113142}</math> – лівий кронштейн  <math>V_{113121}</math> – передня обв’яка;  <math>V_{113124}</math> – бічні обв’яки.</p>	<p><math>F_{113142}^1 = F_{113121}^5</math></p> <p><math>F_{113142}^2 = F_{113124}^7</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:  <math>H_{113142}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5.</math></p>
17	<p><math>V_{113151}</math> – накладка;  <math>V_{113121}</math> – передня обв’яка;  <math>V_{113124}</math> – бічні обв’яки.</p>	<p><math>F_{113151}^1 = F_{113121}^6</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:  <math>H_{113151}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5.</math></p>
18	<p><math>V_{113152}</math> – косинка;  <math>V_{113121}</math> – передня обв’яка;  <math>V_{113124}</math> – бічні обв’яки.</p>	<p><math>F_{113152}^1 = F_{113121}^7</math></p> <p><math>F_{113152}^2 = F_{113124}^9</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:  <math>H_{113152}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5.</math></p>
19	<p><math>V_{113161}</math> – задня планка;  <math>V_{113111}</math> – полотно.</p>	<p><math>F_{113161}^1 = F_{113111}^6</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:  <math>H_{113161}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5,</math>  <math>H_{113161}^4 = H_{113116}^4.</math></p>

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
20	<p><math>V_{113162}</math> – передня планка.  <math>V_{113111}</math> – полотно.</p>	<p><math>F_{113162}^1 = F_{11311}^6</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:</p> <p><math>H_{113162}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5,</math></p> <p><math>H_{113162}^4 = H_{11316}^4.</math></p>
21	<p><math>V_{1131411}</math> – кутик:  <math>V_{11115}</math> – засоби закриття кришки люка та її фіксації;  <math>V_{1131412}</math> – скоба.</p>	<p><math>F_{1131411}^1</math> – взаємодія з <math>V_{11115}</math> по сприйняттю відповідних навантажень та фіксації без додаткового устаткування у закритому положенні.</p> <p><math>F_{1131411}^2</math> – взаємодія з <math>V_{1131412}</math> для додаткового запобігання саморозкриттю кришки люка.</p> <p>При виконанні відповідних умов:</p> <p><math>H_{1131411}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5.</math></p>
22	<p><math>V_{1131412}</math> – скоба:  <math>V_{11115}</math> – засоби закриття кришки люка та її фіксації;  <math>V_{1131411}</math> – кутик.</p>	<p><math>F_{1131412}^1 = F_{1131411}^1</math></p> <p><math>F_{1131412}^1 = F_{1131411}^2</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:</p> <p><math>H_{1131412}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5.</math></p>
23	<p><math>V_{1131421}</math> – кутик:  <math>V_{11115}</math> – засоби закриття кришки люка та її фіксації;  <math>V_{1131422}</math> – скоба.</p>	<p><math>F_{1131421}^1 = F_{1131411}^1</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:</p> <p><math>H_{1131421}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5.</math></p>
24	<p><math>V_{1131422}</math> – скоба:  <math>V_{11115}</math> – засоби закриття кришки люка та її фіксації;  <math>V_{1131421}</math> – кутик.</p>	<p><math>F_{1131422}^1 = F_{1131411}^1</math></p> <p><math>F_{1131422}^2 = F_{1131411}^2</math></p> <p>При виконанні відповідних умов:</p> <p><math>H_{1131422}^{1-3} = H_0^1, H_0^3, H_0^5.</math></p>

Розроблена структурно-функціональна модель дозволяє використовувати при створенні сучасних кришок люків відомі методи проектування і конструювання. Окрім того запропоноване описання доцільно використовувати як основу для отримання нових технічних рішень, спрямованих на розробку кришок люків нового покоління.

До того ж у таблиці 2.1 наведені функції  $F$  базових елементів кришки люка з урахуванням особливих умов  $H$ .

Таким чином, подану структурно-функціональну модель кришки люка напіввагона доцільно використовувати під час застосування сучасних наукових та інженерних підходів, творчих і пошукових методів для дослідження наявних і створення перспективних зразків.

## **2.7 Математичне описання для визначення деформованого стану базових та перспективних кришок люків напіввагонів**

З метою зменшення навантаженості кришки люка напіввагона при дії на неї експлуатаційних навантажень пропонується удосконалення її конструкції шляхом підвищення жорсткості її перетину.

Для визначення прогину кришок люків типової та удосконаленої конструкції проведемо розрахунок. Будемо розглядати кришку люка як прямокутну пластину, дві суміжні частини якої защемлені (зона розміщення запірної механізми), а дві інші – шарнірно обперті (закріплення кришки люка до рами вагона).

Розрахункові схеми кришок люків наведені на рисунках 2.17 та 2.18.

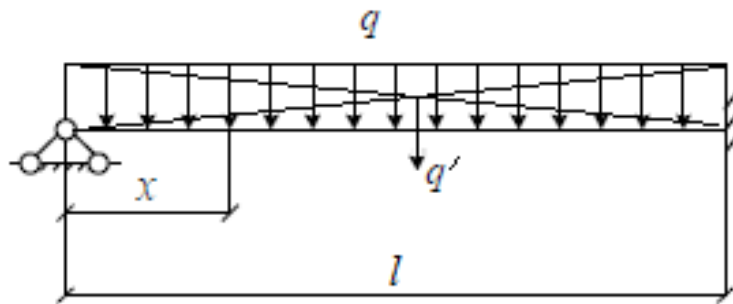


Рисунок 2.17 – Розрахункові схема типової кришки люка

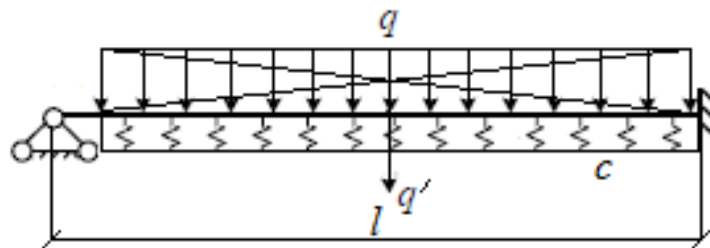


Рисунок 2.18 – Розрахункові схема удосконаленої кришки люка

Прогин  $V_i$  в перетині  $x$  визначається:

$$V_i = \frac{l^4 \cdot (1 - \nu_{np}^2)}{24E_{np} \cdot J_{np}} \cdot \left( \frac{x}{l} - 2\frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} \right) - \frac{l^3 \cdot (1 - \nu_{np}^2)}{48E_{np} \cdot J_{np}} \cdot x \cdot \left( 1 - \frac{x^2}{l^2} \right), \quad (2.7)$$

де  $E_{np} \cdot J_{np}$  – згинна жорсткість;  $\nu_{np}$  – коефіцієнт Пуасона.

Для середини прольоту можна скористатися формулою:

$$v_i = \frac{l^4 \cdot (1 - \nu_{np}^2)}{192E_{np} \cdot J_{np}} \quad (2.8)$$

Прогин кришки під дією зовнішнього навантаження  $q' = 1$  визначається:

$$\frac{E_{non} \cdot J_{non}}{1 - \nu_{non}^2} \cdot \delta = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot (3 \cdot \xi^2 - 8 \cdot \xi^3 + 6 \cdot \xi^4 - \xi^6), \quad (2.9)$$

де  $\xi = \frac{y}{b}$  – відносна відстань до точки прикладення навантаження.

Проведені розрахунки переміщень кришки люка при дії на неї зовнішнього рівномірно розподіленого навантаження  $q$ , рівнодіюча якого  $q' = 1$  прикладена в середній частині кришки люка показали, що для типової кришки люка переміщення майже на 40% більше ніж для удосконаленої. При цьому для типової кришки люка прийняті такі вхідні параметри  $E_{non} = 2,1 \cdot 10^5$  Па,  $\nu_{non} = 0,28$  та  $J_{non} = 0,0041$  м<sup>4</sup>, а для удосконаленої –  $E_{non} = 2,1 \cdot 10^5$  Па,  $\nu_{non} = 0,28$  та  $J_{non} = 0,0071$  м<sup>4</sup> (без урахування жорсткості пружного елемента). Тобто запропонована конструкція є більш раціональною з технологічної точки зору.

## **2.8 Математичні залежності для визначення довговічності базової та перспективних конструкцій кришок люків**

Довговічність кришки люка (в циклах навантаження) при симетричному циклі навантаження можна визначити за коефіцієнтом запасу опору втоми:

$$N = N_0 \cdot n^m, \quad (2.10)$$

де  $N_0$  – база випробувань;

$n$  – коефіцієнт запасу опору втоми;

$m$  – параметр кривої втоми.

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a}, \quad (2.11)$$

де  $\sigma_{-1}$  – межа витривалості, МПа;

$\sigma_a$  – амплітудне напруження, МПа.

$$m = \frac{\ln N_0 - \ln N}{\ln \sigma_a - \ln \sigma_{-1}}, \quad (2.12)$$

де  $N$  – число циклів до руйнування.

Для сталі значення межі витривалості можна визначити:

$$\sigma_{-1} \approx (0,1 - 0,5) \cdot \sigma_{BP}, \quad (2.13)$$

де  $\sigma_{BP}$  – межа міцності, МПа.

Для удосконаленої кришки люка при  $\sigma_{-1} = 245$  МПа,  $\sigma_a = 218,4$  МПа (прийнято рівним максимальному еквівалентному напруженню в кришці люка при падінні на неї вантажу масою 150 кг з висоти 3000 мм),  $N_0 = 10^7$  циклів та  $N = 12^7$  циклів отримано значення параметра кривої втоми  $m = 10,7$ .

Тоді,  $n = 1,12$ , а  $N = 3,36 \cdot 10^7$ , тобто довговічність кришки люка при симетричному циклі навантаження забезпечується.

Вважаючи, що такою ж властивістю буде володіти коефіцієнт запасу і при несиметричному навантаженні, можна записати:

$$N = \begin{cases} N_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a + \psi_1 \cdot \sigma_m} \right)^m, & \text{при } 0 \leq \sigma_m \leq \sigma^*, \quad \sigma_{-1} - \psi_1 \cdot \sigma_m < \sigma_a \leq \sigma_{T.P.} - \sigma_m; \\ N_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a + \psi_1 \cdot \sigma_m} \right)^m, & \text{при } 0,5\sigma_{-\infty} \leq \sigma_m \leq \sigma_{\Delta}, \quad \sigma_{-1} - \psi_2 \cdot \sigma_m < \sigma_a \leq \sigma_m + \\ + |\sigma_{T.CЖ.}|, & \text{а також при: } \sigma_{\Delta} < \sigma_m \leq 0; \quad \sigma_{-1} - \psi_1 \cdot \sigma_m < \sigma_a < \sigma_{T.P.} - \sigma_m, \end{cases} \quad (2.14)$$

де  $\sigma_m$  – середнє значення напруження, МПа;

$\psi_1$  – величина, чисельне значення якої можна визначити  $\psi_1 = \frac{2 \cdot \sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0}$ ;

$\psi_2$  – величина, чисельне значення якої можна визначити  $\psi_2 = \frac{\sigma_{-\infty} - 2 \cdot \sigma_{-1}}{|\sigma_{-\infty}|}$ ;

$\sigma_{T.P.}$  – межа плинності при розтягненні, МПа;

$\sigma_{T.CЖ.}$  – межа плинності при стисненні, МПа;

$\sigma_{-\infty}$  – межа витривалості при віднульовому від'ємному режимі навантаження, МПа;

$\sigma_{\Delta}$  – максимальне значення напруження, МПа;

$\sigma^*$  – напруження, яке визначається виразом:  $\sigma^* = \frac{\sigma_{T.P.} - \sigma_{-1}}{\sigma_0}$ , МПа;

$\sigma_0$  – межа витривалості при віднульовому додатному режимі навантаження, МПа.

Якщо межі витривалості  $\sigma_0$  та  $\sigma_{-\infty}$  невідомі, то будується спрощена діаграма межових амплітуд. У цьому випадку

$$\psi_1 = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{BP}}. \quad (2.15)$$

На підставі проведених теоретичних розрахунків на міцність удосконаленої конструкції кришки люка на міцність дослідження довговічності будемо здійснювати за формулою:

$$N = N_0 \cdot \left( \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a + \psi_1 \cdot \sigma_m} \right)^m. \quad (2.16)$$

Тоді, при  $\psi_1 = 0,5$  отримаємо значення  $N = 3,09 \cdot 10^6$  циклів. Отже довговічність кришки люка при несиметричному циклі навантаження не забезпечується.

## **2.9 Запропоновані до врахування додаткові експлуатаційні режими навантаження кришки люка**

Розглянуті такі додаткові схеми навантаження розвантажувального пристрою (рисунок 2.19) напіввагону .

1) імітація розкриття кришки люка при вивантаженні вантажу – безторсійний (без урахування роботи торсіону (-ів)) неодноразовий (спочатку на один із упорів) удар кришки люка об упори проміжних балок рами вагону з максимальним кутом відкриття. В результаті функціонування кришки люка зазначеним образом виникають а розвиваються тріщини в її середній обв'язці (рисунок 2.20).

2) неодноразове відкриття закидок – обпирання кришки люка завантаженого вагону на одну закидку за один кронштейн (випадок коли вже вибили одну закидку, а іншу ще не встигли);

3) абразивний знос поверхні кришки люка при вивантаженні насипного вантажу;

4) підтягування (закриття) кришки люка вивантаженого вагону ломиком.

Першочергово за додатковими розрахунковими режимами проведено міцнісні розрахунки для базової конструкції кришки люка.



Рисунок 2.19 – Розвантажувальний пристрій напіввагону в закритому стані зі стрингерною кришкою люка



Рисунок 2.20 – Пошкодження бокового обв'язування типової конструкції кришки люка

Модель міцності кришки люка при її безторсійному неодноточасному ударі по упорах проміжних балок рами вагону наведена на рисунку 2.21. Розрахунок на міцність проведений в статиці. При цьому закріплення кришки люка здійснювалося за петлі, вертикальне навантаження прийняте рівним  $P_6 = 69,6$  кН, навантаження від удару  $P_{yo}$  по упору проміжної балки рами прикладалося до зони контакту кришки люка з ним.

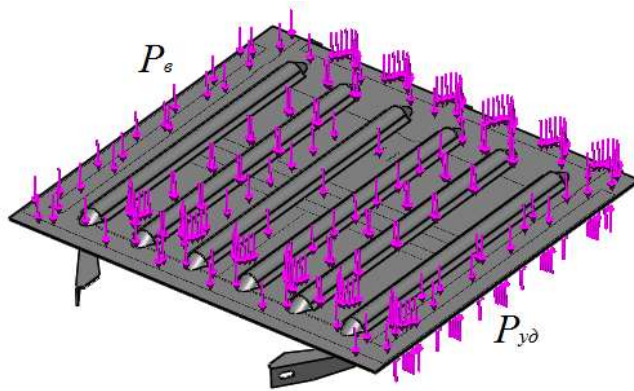
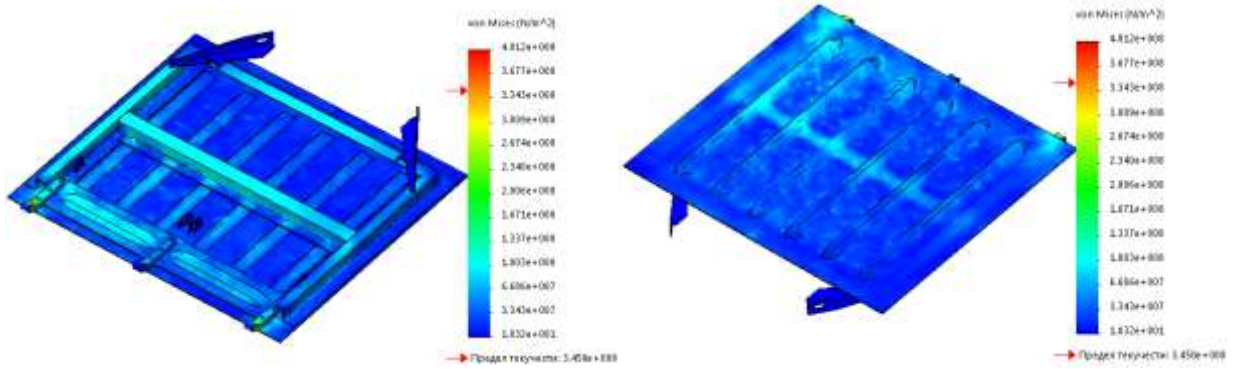


Рисунок 2.21 – Модель міцності кришки люка

$P_e$  – вертикальне навантаження;  $P_{y\delta}$  – ударне навантаження

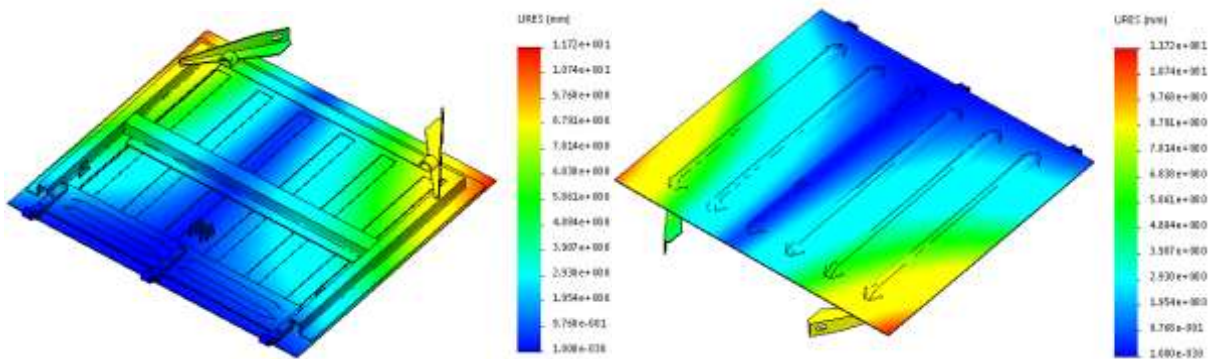
Результати розрахунку наведені нижче.



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 2.22 – Напружений стан кришки люка



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 2.23 – Переміщення в вузлах кришки люка

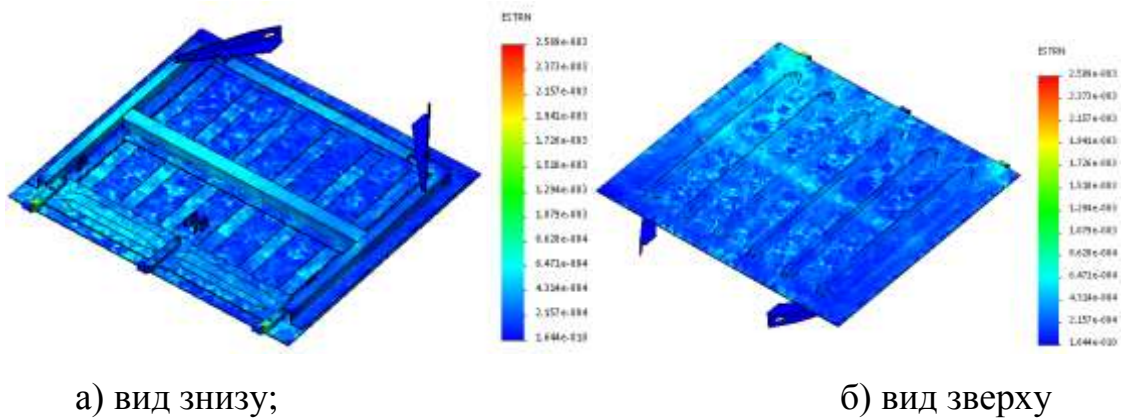


Рисунок 2.24 – Деформації кришки люка

Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у петлі кришки люка та складають близько 215,3 МПа, максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у кутах кришки люка з боку розташування кронштейнів запірних та складають 3,1 мм, максимальні деформації склали  $2,6 \cdot 10^{-3}$ .

Модель міцності кришки люка при неодноразовому відкриванні закидок (обпирання кришки люка завантаженого вагону на одну закидку за один кронштейн) наведена на рисунку 2.25.

Закріплення моделі здійснювалося за петлі. Вертикальне навантаження прийняте рівним  $P_e = 69,6$  кН, реакція  $P_p$  у кронштейні на дію вертикального навантаження  $P_e$  прикладалося до кронштейна запірною за зоною контакту його з закидкою запірною пристрою.

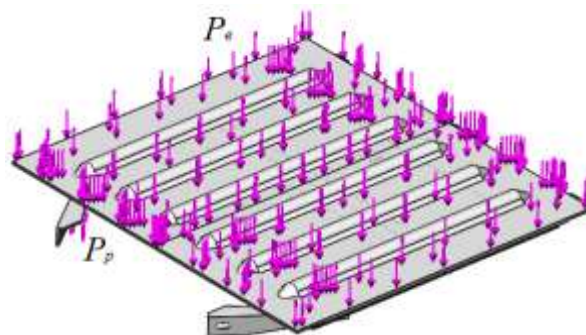


Рисунок 2.25– Комп’ютерна модель міцності кришки люка

$P_e$  – вертикальне навантаження;  $P_p$  – реакція у кронштейні запірному на дію навантаження  $P_e$

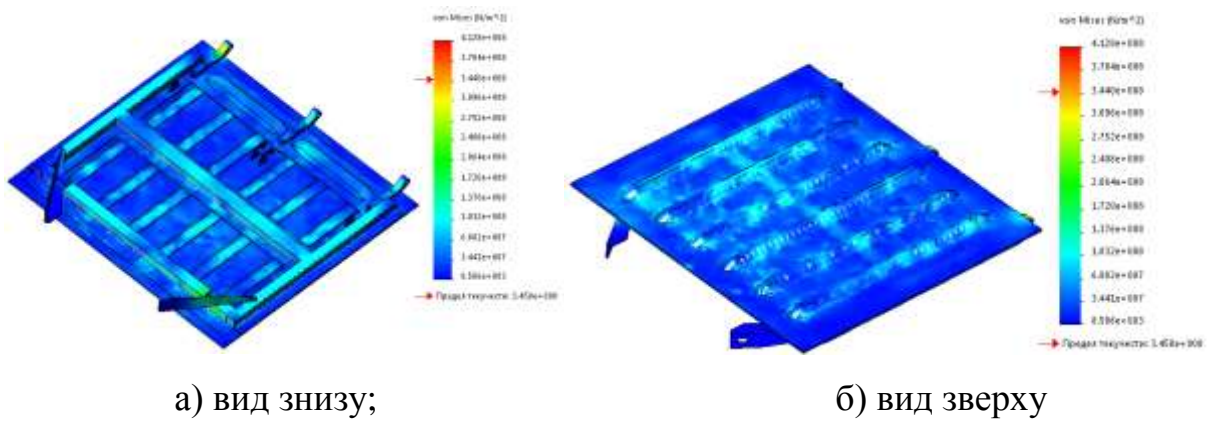


Рисунок 2.26 – Напружений стан кришки люка

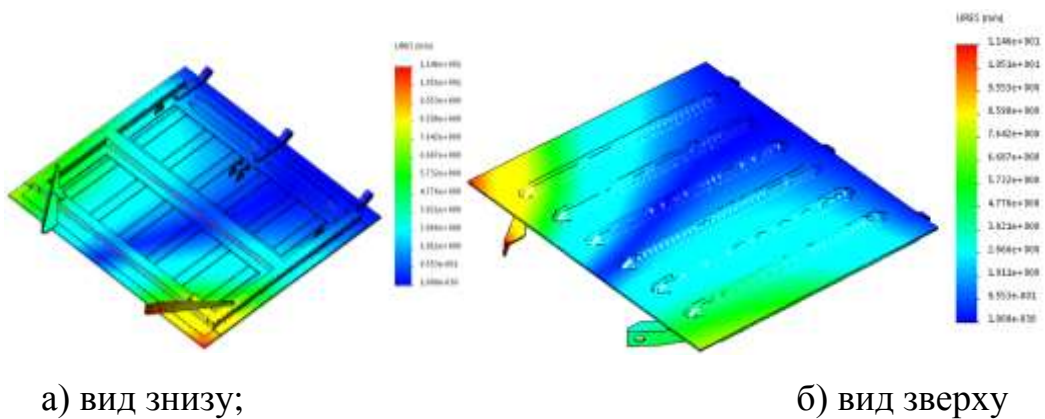


Рисунок 2.27 – Переміщення в вузлах кришки люка

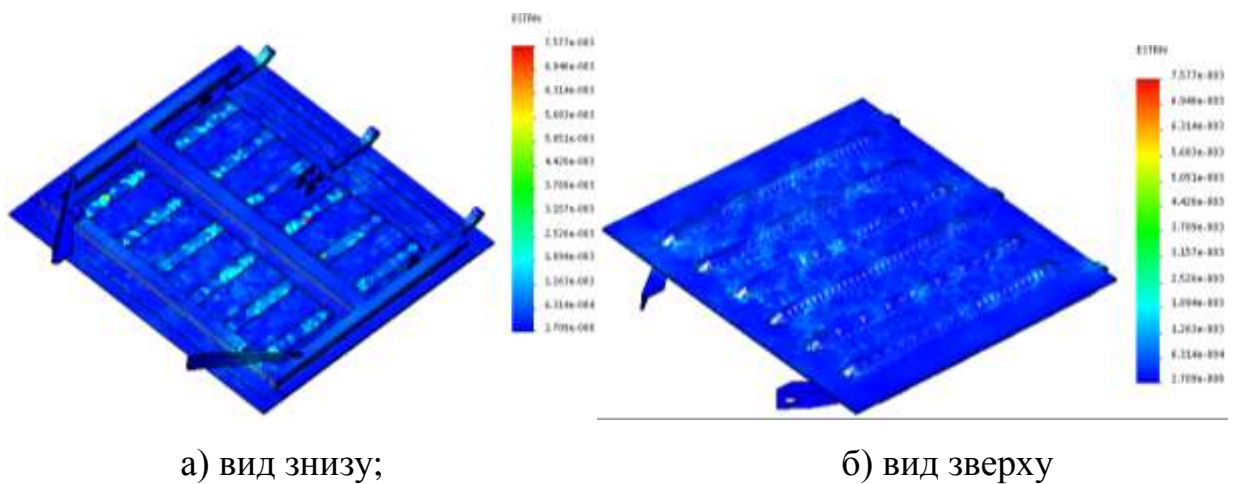


Рисунок 2.28 – Деформації кришки люка

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у петлі, що діаметрально розміщена до кронштейна запірного, механізм якого знаходиться у закритому положенніта

складають близько 90 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у кутах кришки люка з боку розташування кронштейнів запірних та складають 1,3 мм.

Для випадку підтягування (закриття) кришки люка вивантаженого вагону ломиком модель міцності наведена на рисунку 2.29.

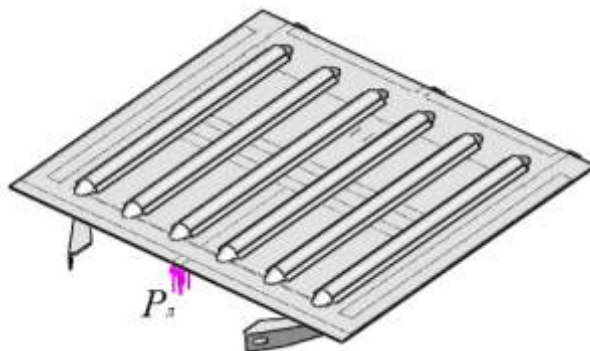


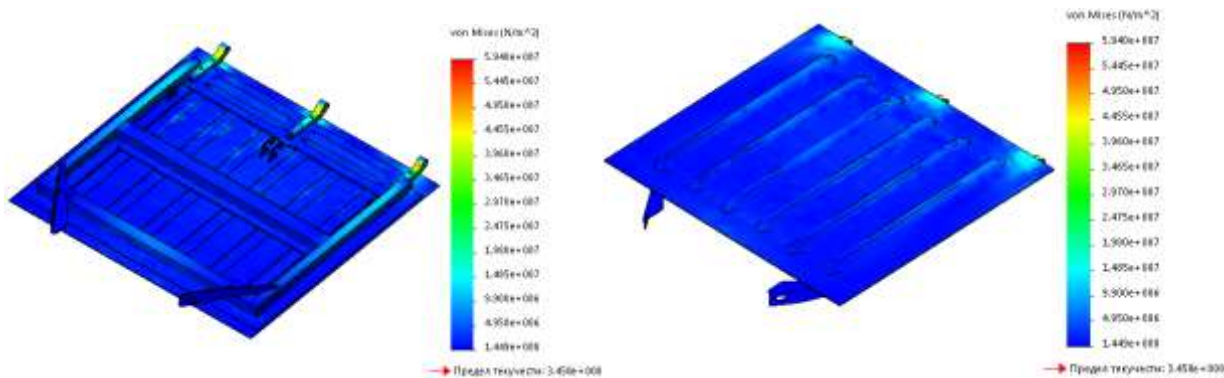
Рисунок 2.29 – Комп’ютерна модель міцності кришки люка

$P_d$  – навантаження, яке діє на кришку люка від підтягування ломиком

Закріплення моделі здійснювалося за вушка петель. Кришка люка навантажувалася власною вагою. Навантаження від ломака  $P_d$  прикладалося по центру кінцевої частини кришки люка з боку розміщення кронштейнів запірних. Для прикладення навантаження  $P_d$  до кришки люка на ній встановлювалася накладка (рисунок 2.30).



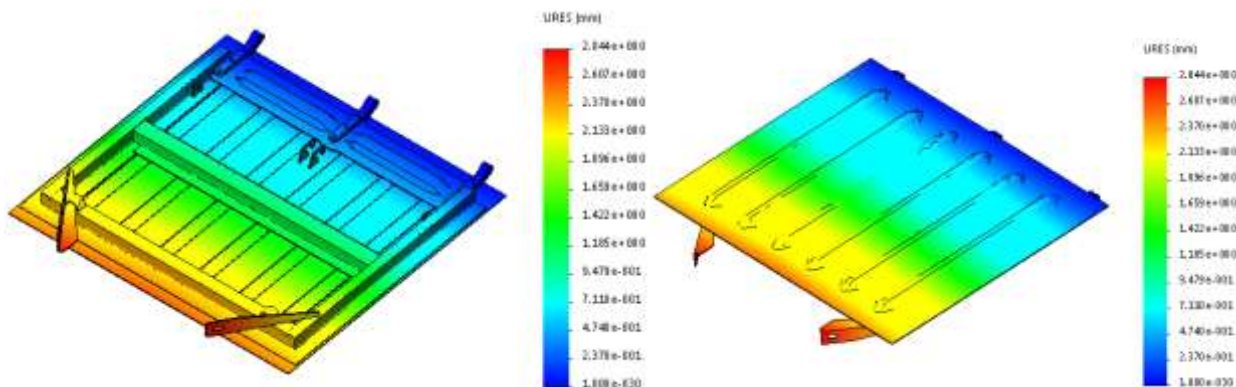
Рисунок 2.30 – Розміщення накладки для моделювання прикладення навантаження до кришки люка від підтягування ломиком



а) вид знизу;

б) вид зверху

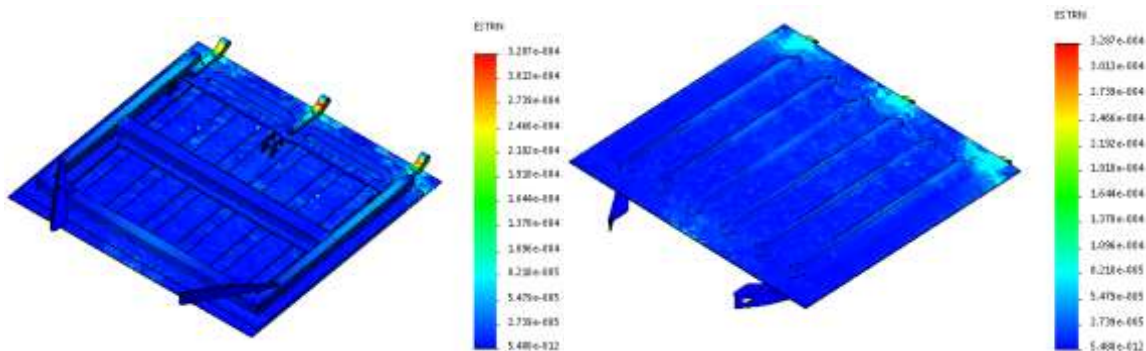
Рисунок 2.31 – Напружений стан кришки люка



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 2.32 – Переміщення в вузлах кришки люка



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 2.33 – Деформації кришки люка

Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у петлях та складають близько 60 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у зоні розміщення кронштейнів запірних та складають 0,87 мм.

### **3 КОНЦЕПТИ ТА ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ АДЕКВАТНО-СПРЯМОВАНОГО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ВАГОНОКОНСТРУКЦІЙ З МОЖЛИВОСТЯМИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ШИРОКОГО МАШИНОБУДІВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ**

В даному розділі наведено описання запропонованих авторами та захищених патентами [85-108] мультифункціональних концептів вантажних вагонів.

#### **3.1 Мультифункціональний корисно попередньо напружений і / або деформований концепт критого вагона-хопера для перевезення цементу**

Мультифункціональний корисно попередньо напружений і / або деформований концепт критого вагона-хопера для перевезення цементу відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень насипних та навалочних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема цементу.

В основу концепту поставлено задачу удосконалення критого вагона-хопера для перевезення цементу за рахунок удосконалення конструкції основних елементів модулів рами та кузова, на основі виконання хребтової, кінцевих, шворневих, середніх проміжних балок модуля рами, обв'язування верхнього і стійок вертикальних стін бокових, обв'язування верхнього, стійок бокових та проміжних стін торцевих із напівтруб (рисунок 3.1) з натягнутими (корисно попередньо напруженими) у їх середині тросами, балка хребтова (рисунок 3.2), каркаси (рисунок 3.3) бокових та торцевих (рисунок 3.4) стін

вигнуті параболоподібно (корисно попередньо) вигнуті у середину кузова, при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності, що дозволить знизити його матеріалоємність і зношуваність несівних елементів, та як наслідок цього знизити собівартість виготовлення та експлуатації критого вагона-хопера для перевезення цементу.

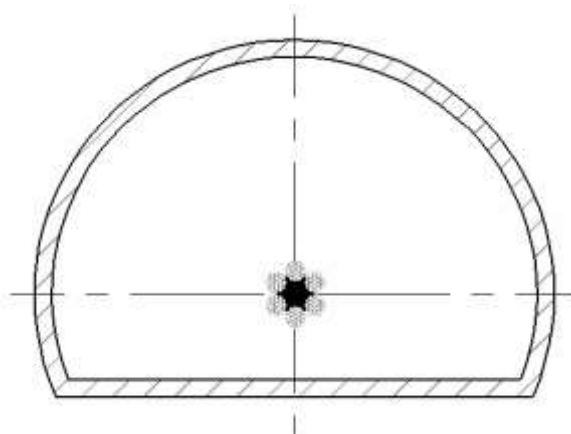


Рисунок 3.1 – Переріз напівтруби з натягнутими в середині тросами



Рисунок 3.2 – Вид збоку на корисно попередньо деформовану балку хребтову концепта критого вагона-хопера для перевезення цементу



Рисунок 3.3 – Вид зверху на корисно попередньо деформовану стіну бокову концепта критого вагона-хопера для перевезення цементу

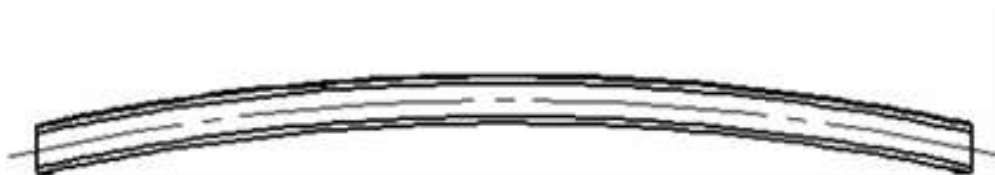


Рисунок 3.4 – Вид зверху на корисно попередньо деформовану стіну торцеву концепта критого вагона-хопера для перевезення цементу

### 3.2 Мультифункціональний корисно попередньо напружений і / або деформований концепт окатишевозу

Мультифункціональний корисно попередньо напружений і / або деформований концепт окатишевозу відноситься до вагонобудування та може бути використаним для здійснення залізничних перевезень гарячих окатишів і агломерату з температурою до 700°C з місця виробництва на приймальні бункери доменної печі.

В основу концепту поставлено задачу удосконалення залізничного напіввагону-хоперу для гарячих окатишів та агломерату за рахунок удосконалення конструкції основних елементів модулів рами та кузова, на основі виконання хребтової, кінцевих, шворневих, середніх проміжних балок модуля рами, обв'язування верхнього і стійок вертикальних стін бокових, обв'язування верхнього, стійок бокових та проміжних стін торцевих із напівтруб (рисунок 3.1) з натягнутими (корисно попередньо напруженими) у їх серединах тросами, балка хребтова (рисунок 3.5), каркаси (рисунок 3.6) бокових та торцевих (рисунок 3.7) стін вигнуті параболоподібно (корисно попередньо) вигнуті у середину кузова, при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності, що дозволить знизити його матеріалоемність і зношуваність несівних елементів, та як наслідок цього знизити собівартість виготовлення та експлуатації.



Рисунок 3.5– Вид збоку на корисно попередньо деформовану балку хребтову концепта окатишевозу



Рисунок 3.6 – Вид зверху на корисно попередньо деформовану стіну бокову концепта окатишевозу

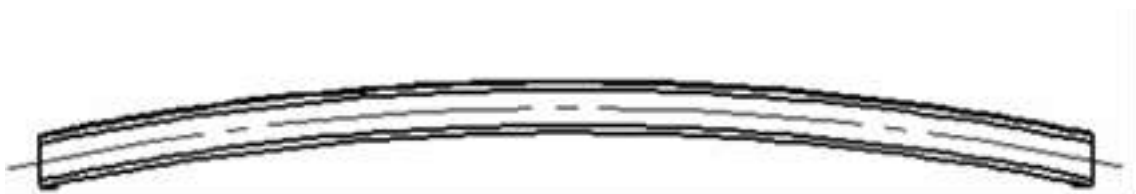


Рисунок 3.7 – Вид зверху на корисно попередньо деформовану стіну торцеву концепта окатишевозу

### **3.3 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-платформи з листових ресор**

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-платформи з листових ресор відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень колісних і гусеничних машин, штучних, лісових і довгомірних вантажів, вантажів в ящикової упаковці, контейнерів та інших вантажів, які не потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення вагона-платформи шляхом виконання середньої частини хребтової балки (рисунок 3.8), поперечних та кінцевих балок у вигляді листових ресор (рисунок 3.9).

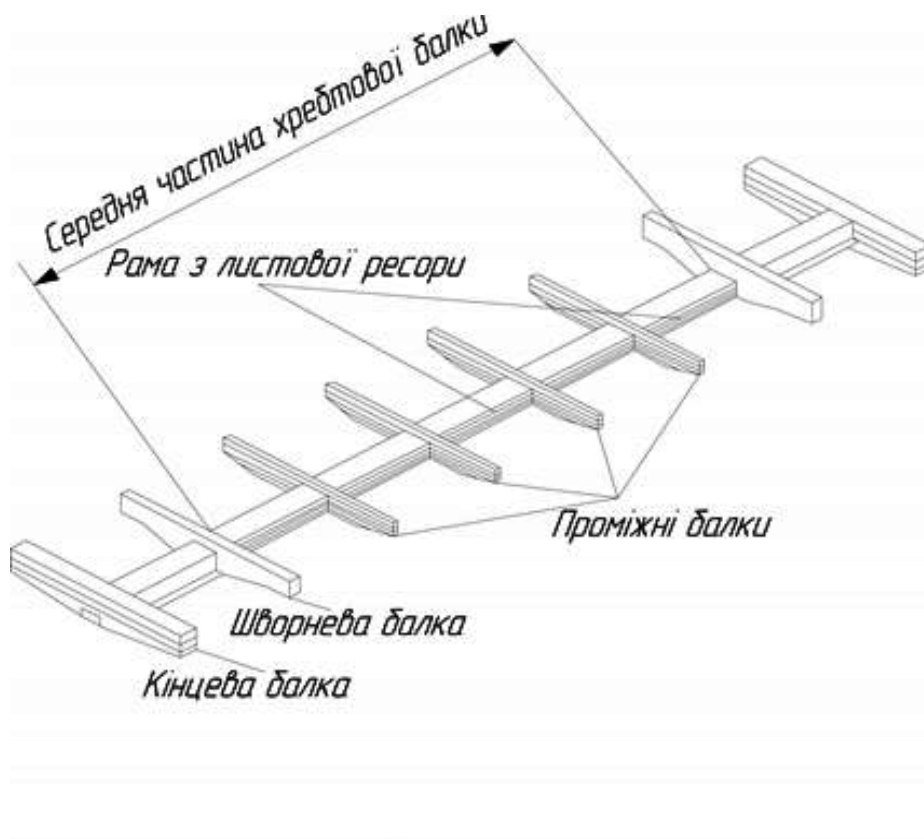


Рисунок 3.8 – Концепт рами вагона-платформа з листових ресор



Рисунок 3.9 – Переріз концепту поперечних балок рами з листових ресор

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань та ударів, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-платформ, забезпечує зменшення матеріалоємності відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### 3.4 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема зерна.

В основу концепту поставлена задача удосконалення вагона-хопера для перевезення зерна шляхом виконання середньої частини хребтової балки (рисунок 3.10), кінцевих балок, середніх проміжних балок та вертикальних стійок стін бокових та проміжних стійок торцевих стін (рисунок 3.11) у вигляді листових ресор.

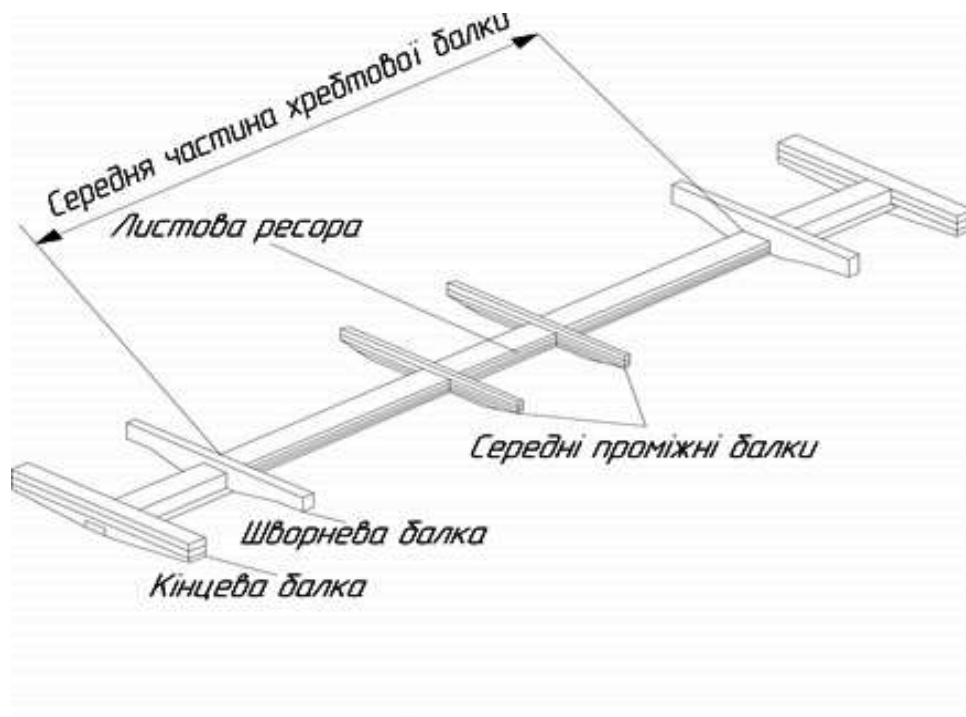


Рисунок 3.10 – Концепт рами вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор

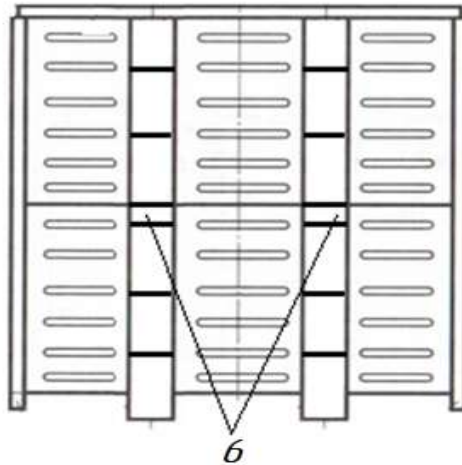


Рисунок 3.11– Концепт стіни торцевої вагона-хопера для перевезення зерна з листових ресор

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення зерна, забезпечує зменшення матеріалоємності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### **3.5 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив з листових ресор**

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив з листових ресор відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема мінеральних добрив.

В основу концепту поставлена задача удосконалення вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив шляхом виконання середньої частини хребтової балки (рисунок 3.12), кінцевих балок, середньої проміжної балки та вертикальних стійок стін бокових та проміжних стійок торцевих стін (рисунок

3.13) у вигляді листових ресор. Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив, забезпечує зменшення матеріалоємності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

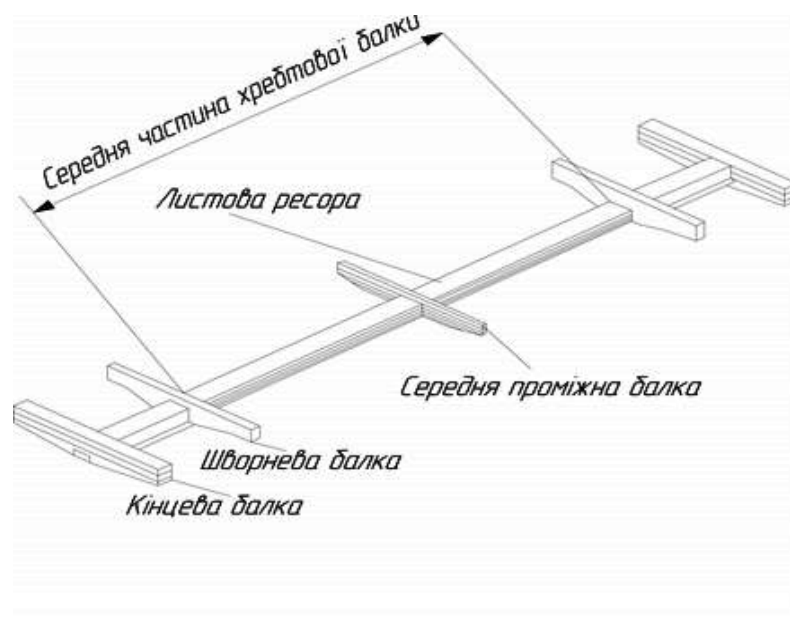


Рисунок 3.12 – Концепт рами вагона-хопера для перевезення для перевезення мінеральних добрив з листових ресор

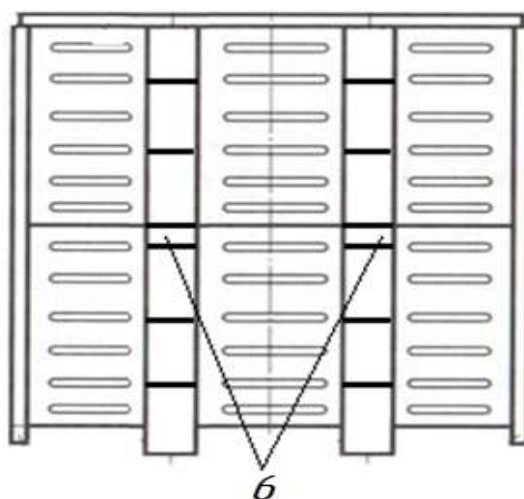


Рисунок 3.13 – Концепт стіни торцевої вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив з листових ресор

### 3.6 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт напіввагона глухонного з листових ресор

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт напіввагона глухонного з листових ресор відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень насипних та навалочних вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення напіввагона глухонного шляхом виконання середньої частини хребтової балки (рисунок 3.14), проміжних балок, вертикальних стійок бокових стін та горизонтальні пояси стін торцевих (рисунок 3.15) у вигляді листових ресор.

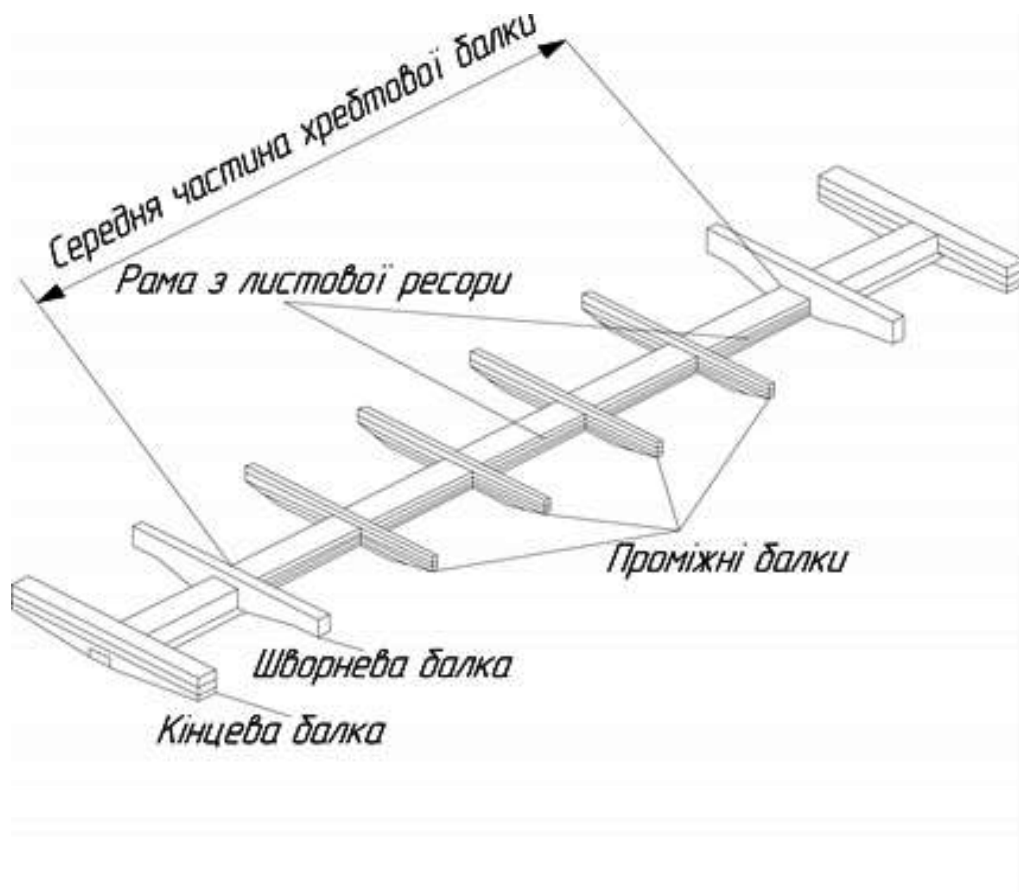


Рисунок 3.14 – Концепт рами напіввагона з листових ресор

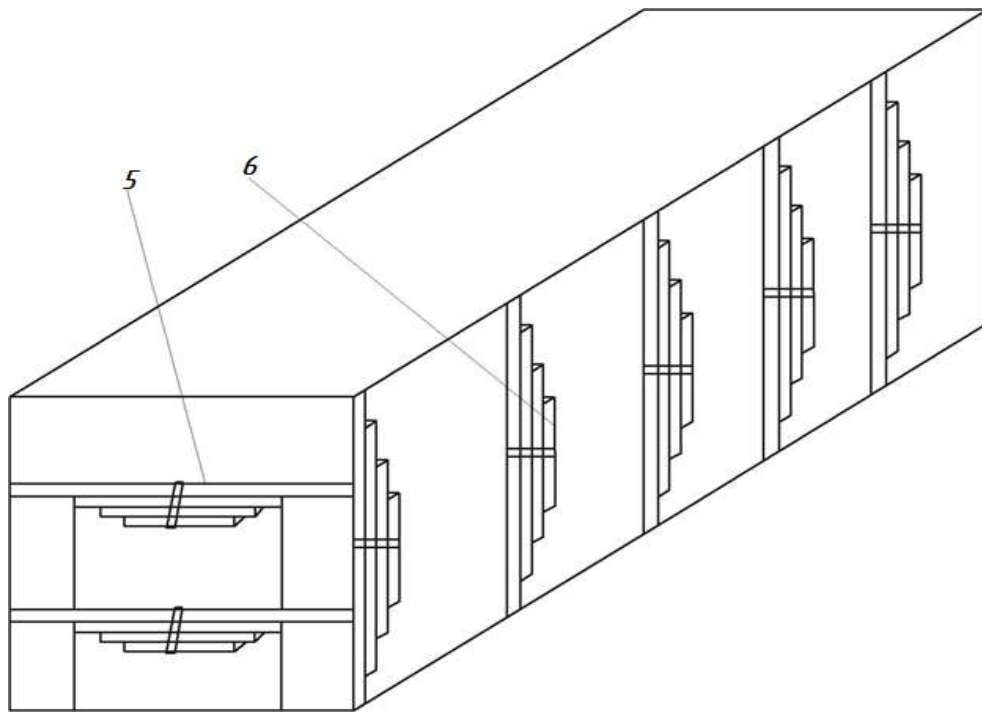


Рисунок 3.15 – Концепт кузова напіввагона з листових ресор

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують поглинання енергії коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності напіввагона глуходонного, забезпечує зменшення матеріалоємності відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### **3.7 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального критого вагона зі стійками з демпфуючими властивостями**

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального критого вагона зі стійками з демпфуючими властивостями відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача покращення техніко-економічних показників універсального критого вагона шляхом виконання частин модуля кузова штампованим способом, а саме виконання бокових стін та проміжних стійок стін бокових суцільними, штампованим способом, з додатковими ребрами жорсткості (рисунок 3.16); виконання торцевих стін та торцевих стійок суцільними, штампованим способом, з додатковими ребрами жорсткості; виконання даху вагона суцільним штампованим способом з додатковими ребрами жорсткості.

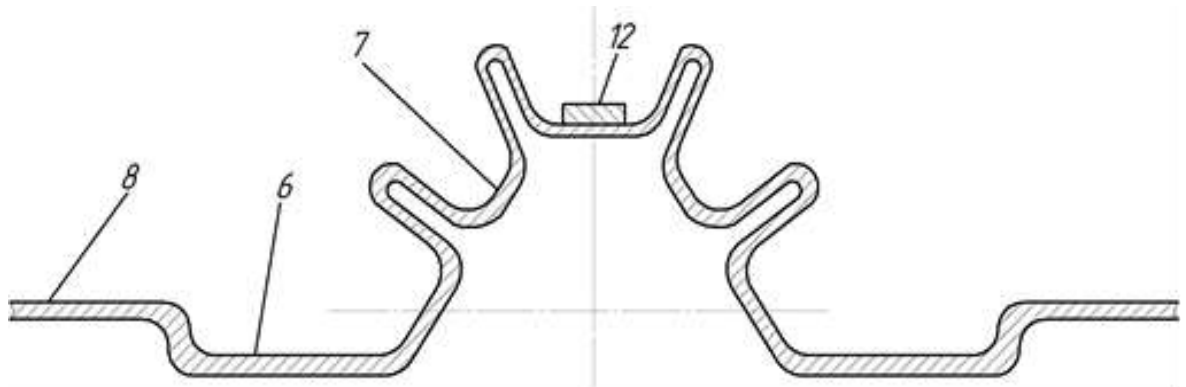


Рисунок 3.16 – Переріз штампованої стійки з демпфуючими властивостями

Введення нових ознак при взаємодії з відомими, забезпечує появу демпфування конструкції модуля кузова, що реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому, або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності універсального критого вагона, зменшення маси матеріалу для виготовлення універсального критого вагона, спрощення технологічного процесу виготовлення універсального критого вагона, збільшення вантажопідйомності, та його строку служби.

### **3.8 Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального вагона-хопера для перевезення зерна зі стійками з демпфуючими властивостями**

Мультифункціональний пружно-дисипативний концепт універсального вагона-хопера для перевезення зерна зі стійками з демпфуючими властивостями відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема зерна.

В основу концепту поставлена задача покращення техніко-економічних показників вагона-хопера для перевезення зерна шляхом виконання частин модуля кузова штампованим способом, а саме виконання бокових стін та проміжних стійок стін бокових суцільними, штампованим способом, з додатковими ребрами жорсткості (рисунок 3.16); виконання торцевих стін та торцевих стійок суцільними, штампованим способом, з додатковими ребрами жорсткості; виконання даху вагона суцільним штампованим способом з додатковими ребрами жорсткості. Введення нових ознак при взаємодії з відомими, забезпечує появу демпфування конструкції модуля кузова, що реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому, або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення зерна, зменшення маси матеріалу для виготовлення вагона-хопера для перевезення зерна, спрощення технологічного процесу виготовлення вагона-хопера для перевезення зерна, збільшення вантажопідйомності, та його строку служби.

### 3.9 Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді листових ресор

Корисна модель належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використаний для перевезення рідких вантажів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення залізничної цистерни шляхом заміни опор, які знаходяться між котлом і рамою на листові ресори, які поглинають енергію коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки залізничної цистерни.

Поставлена задача досягається тим, що у залізничній цистерні, яка містить візки, раму, гальмівне обладнання, автозчепні пристрої, котел, кріплення котла до рами та опори котла на раму, згідно концепту, опори котла на раму виконано у вигляді листових ресор (рисунок 3.17).

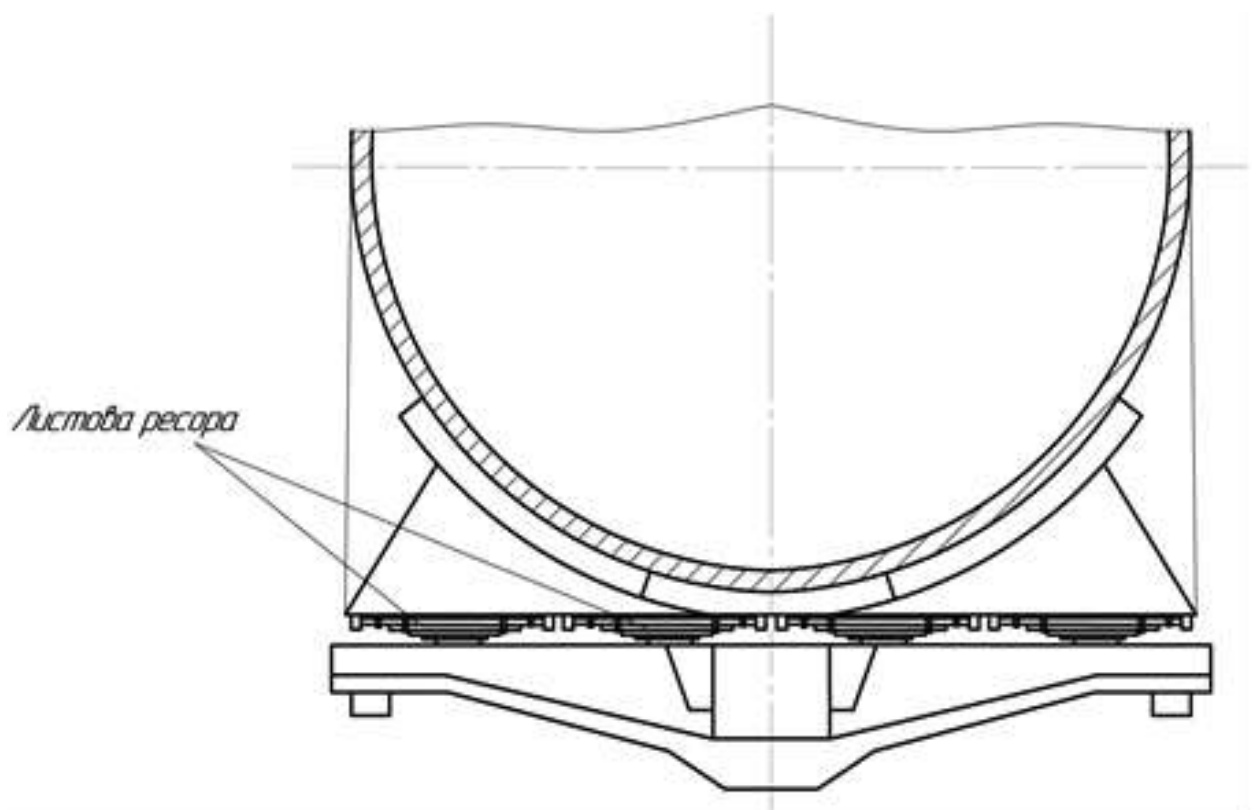


Рисунок 3.17 – Концепт залізничної цистерни з опорами котла на раму у вигляді листових ресор

### 3.10 Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді тарілчастих пружин

Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді тарілчастих пружин належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використаний для перевезення рідких вантажів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення залізничної цистерни шляхом заміни опор, які знаходяться між котлом і рамою на тарілчасті пружини, які поглинають енергію коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки залізничної цистерни.

Поставлена задача досягається тим, що у залізничній цистерні, яка містить візки, раму, гальмівне обладнання, автозчепні пристрої, котел, кріплення котла до рами та опори котла на раму, згідно концепту, опори котла на раму виконано у вигляді тарілчастих пружин (рисунок 3.18).

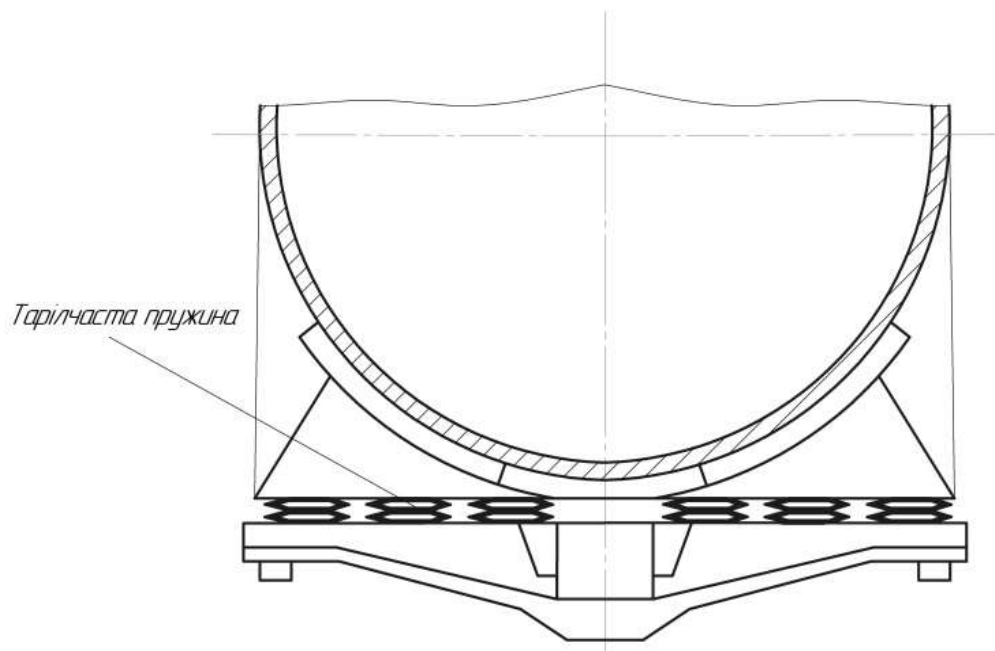


Рисунок 3.18– Концепт залізничної цистерни з опорами у вигляді тарілчастих пружин

### 3.11 Мультифункціональний шарнірний концепт 4-х вісного думпкара

Мультифункціональний шарнірний концепт 4-х вісного думпкара відноситься до вагобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів та їх механічного розвантаження.

В основу концепту поставлена задача удосконалення думпкара шляхом наявності шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме наявність шарнірного елемента в середній частині хребтової балки (рисунок 3.19), наявність шарнірних елементів (рисунок 3.20) в місцях з'єднання хребтової балки з: буферними стінками, шворневими та циліндровими балками. Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності думпкара, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби думпкара.

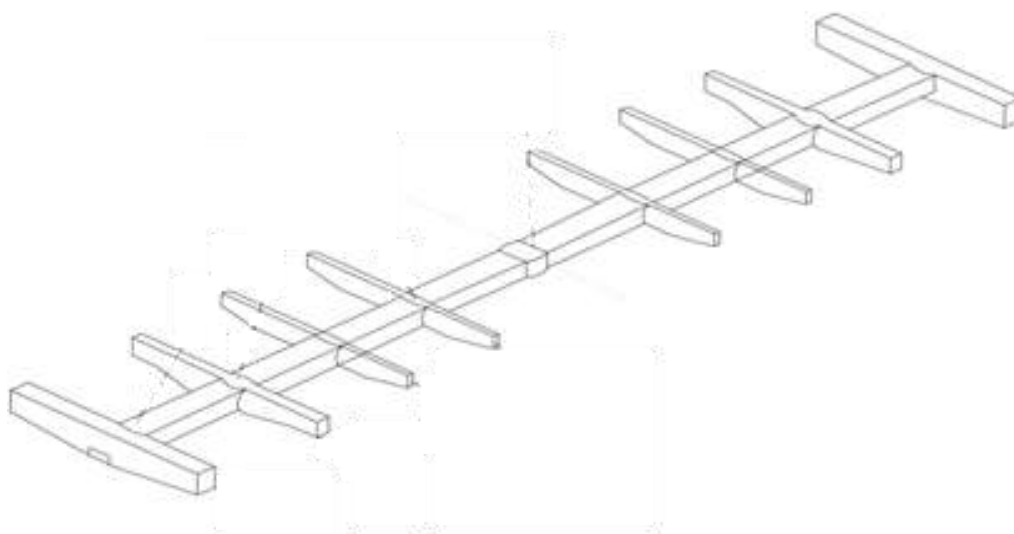


Рисунок 3.19 – Мультифункціональний шарнірний  
концепт рами 4-х вісного думпкару

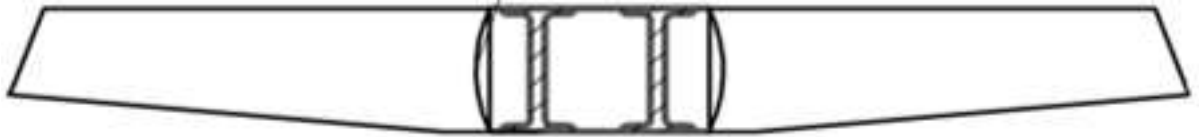


Рисунок 3.20 – Концепт шарнірного зєднання балок рами 4-х вісного думпкару

### **3.12 Мультифункціональний шарнірний концепт вагона-хопера для перевезення зерна**

Мультифункціональний шарнірний концепт вагона-хопера для перевезення зерна відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема зерна.

В основу концепту поставлена задача удосконалення вагона-хопера для перевезення зерна шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки (рисунок 3.21), встановлення шарнірних елементів (рисунок 3.22) в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та середніх проміжних балок.

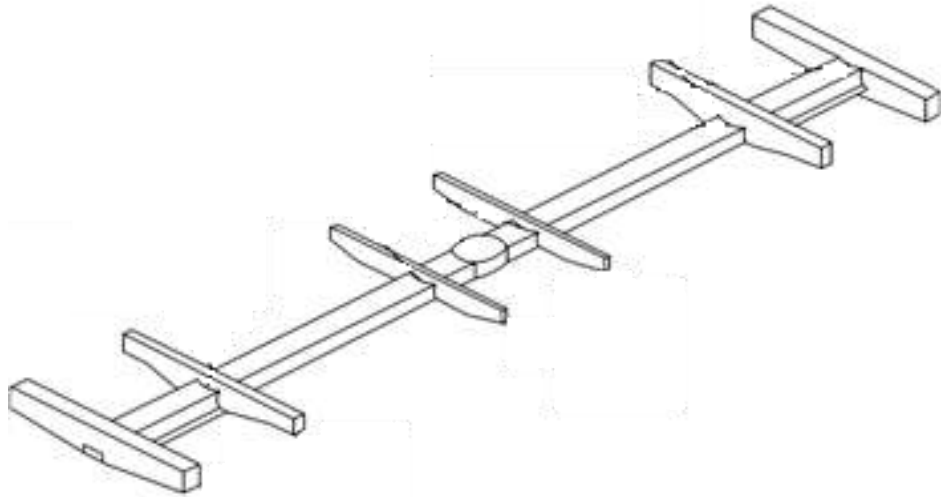


Рисунок 3.21 – Мультифункціональний шарнірний концепт рами вагона-хопера для перевезення зерна

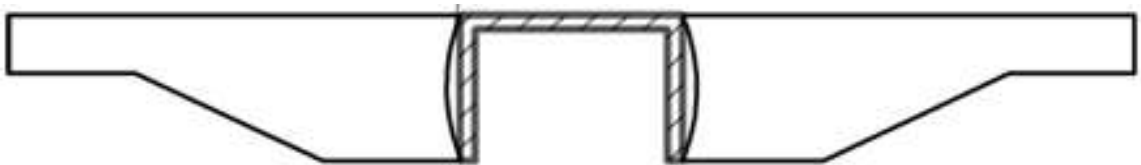


Рисунок 3.22 – Концепт шарнірного з'єднання балок рами вагона-хопера для перевезення зерна

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення зерна, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### 3.13 Мультифункціональний шарнірний концепт вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив

Корисна модель відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень насипних вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів, зокрема мінеральних добрив.

В основу концепту поставлена задача удосконалення вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки (рисунок 3.23), встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та центральної проміжної балки.

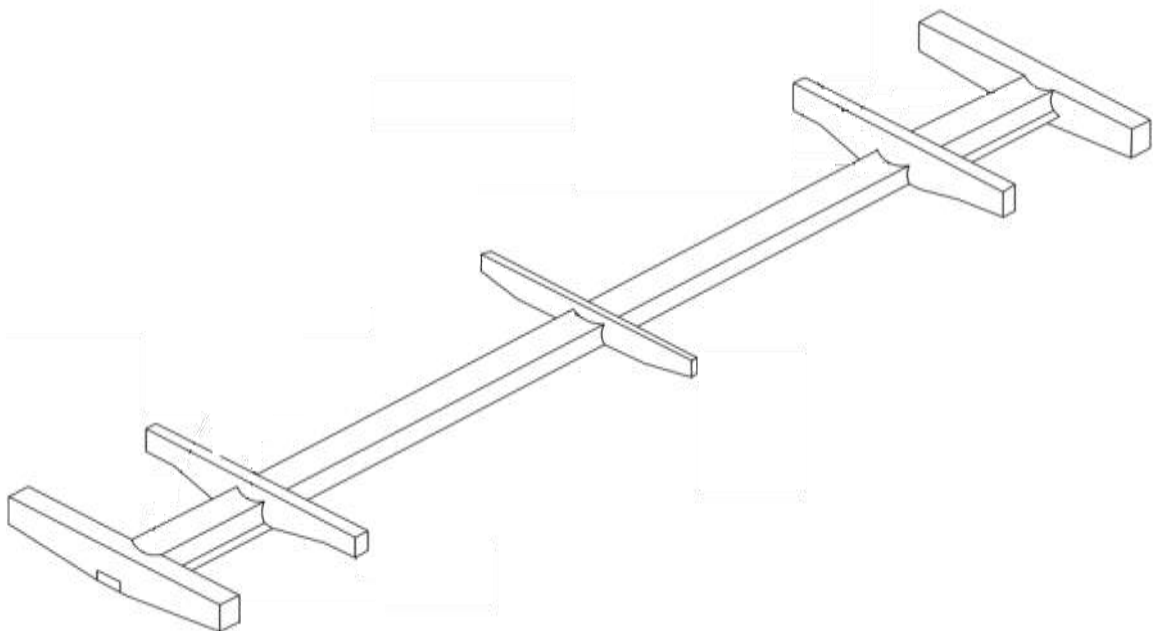


Рисунок 3.23 – Мультифункціональний шарнірний концепт рами вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності вагона-хопера для перевезення мінеральних добрив, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### **3.14 Мультифункціональний шарнірний концепт універсального вагона-платформи**

Мультифункціональний шарнірний концепт універсального вагона-платформи відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень колісних і гусеничних машин, довгомірних, штучних, лісних та інших вантажів, контейнерів та обладнання, яке не потребує захисту від атмосферних впливів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення універсального вагона-платформи шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки (рисунок 3.24), встановлення шарнірних (рисунок 3.22) елементів в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та основних поперечних балок.

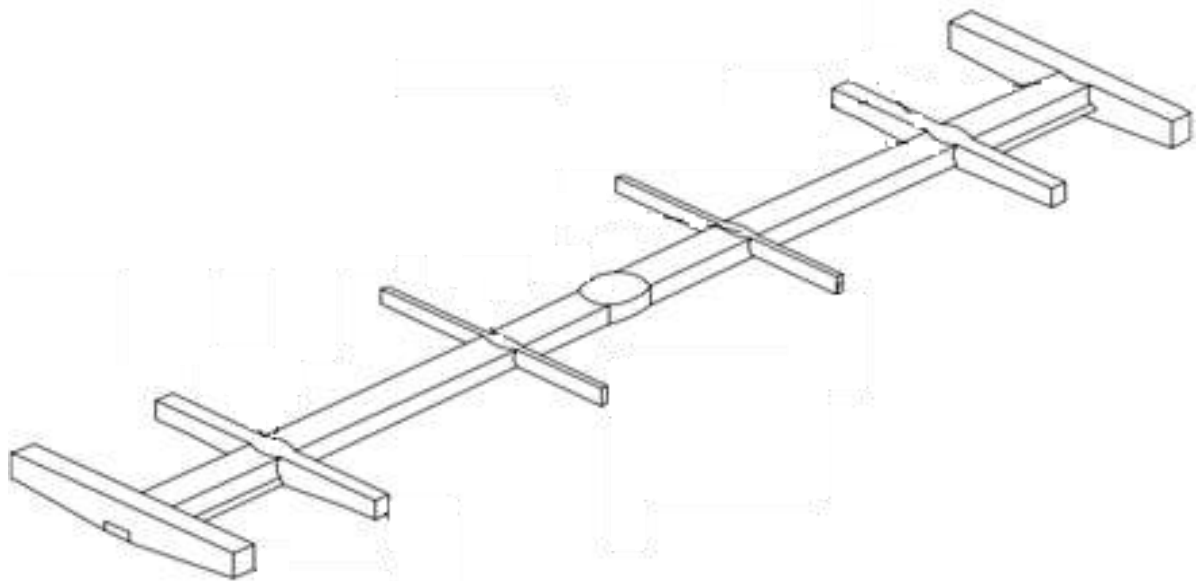


Рисунок 3.24 – Мультифункціональний шарнірний концепт рами універсального вагона-платформи

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності універсального вагон-платформи, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### **3.15 Мультифункціональний шарнірний концепт універсального критого вагона**

Корисна модель відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення вантажних залізничних перевезень вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення універсального критого вагона шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції (рисунки 3.25 та 3.26) замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме наявність шарнірного елемента в середній частині хребтової балки, наявність шарнірних елементів в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та основних балок, наявність шарнірних елементів в місцях з'єднання стійок стін бокових з нижньою обшивкою та в місцях з'єднання даху з стійками стін бокових.



Рисунок 3.25 – Мультифункціональний шарнірний концепт кузова універсального критого вагона



Рисунок 3.26 – Переріз мультифункціонального шарнірного концепту кузова універсального критого вагона

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності універсального критого вагона, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.

### **3.16 Мультифункціональний шарнірний концепт напіввагону глуходонного**

Винахід відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень насипних та навалочних вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення напіввагона глуходонного шляхом застосування шарнірних елементів в його конструкції (рисунки 3.27-3.29) замість існуючих нерухомих елементів (суцільні балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки; встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання хребтової балки з: кінцевими, шворневими та проміжними балками; встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання балок кінцевих, шворневих та проміжних з стінами боковими; встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання стійок вертикальних стін бокових з верхнім обв'язуванням. Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності напіввагона глуходонного, забезпечує зменшення матеріалоємності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби вагона.



Рисунок 3.27 – Мультифункціональний шарнірний концепт рами напіввагону глухонного



Рисунок 3.28 – Переріз мультифункціонального шарнірного концепту кузова напіввагону глухонного

## Шарнірні з'єднання

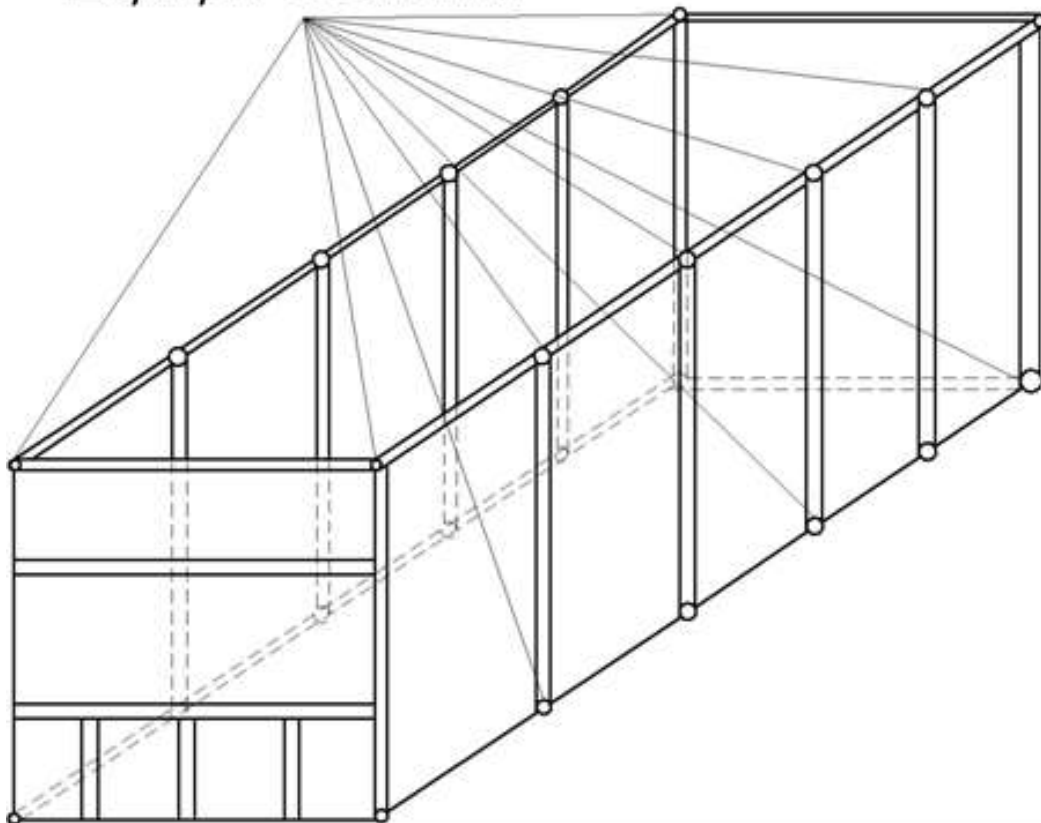


Рисунок 3.29 – Мультифункціональний шарнірний концепт кузова напіввагону глуходонного

### 3.17 Мультифункціональний шарнірний концепт залізничної цистерни

Мультифункціональний шарнірний концепт залізничної цистерни належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використаний для перевезення рідких вантажів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення залізничної цистерни для перевезення рідких вантажів шляхом застосування шарнірних елементів в її конструкцію (рисунок 3.30) замість існуючих нерухомих елементів (суцільні

балки, зварні з'єднання), а саме встановлення шарнірного елемента в середню частину хребтової балки, встановлення шарнірних елементів в місцях з'єднання балок кінцевих та шворневих.

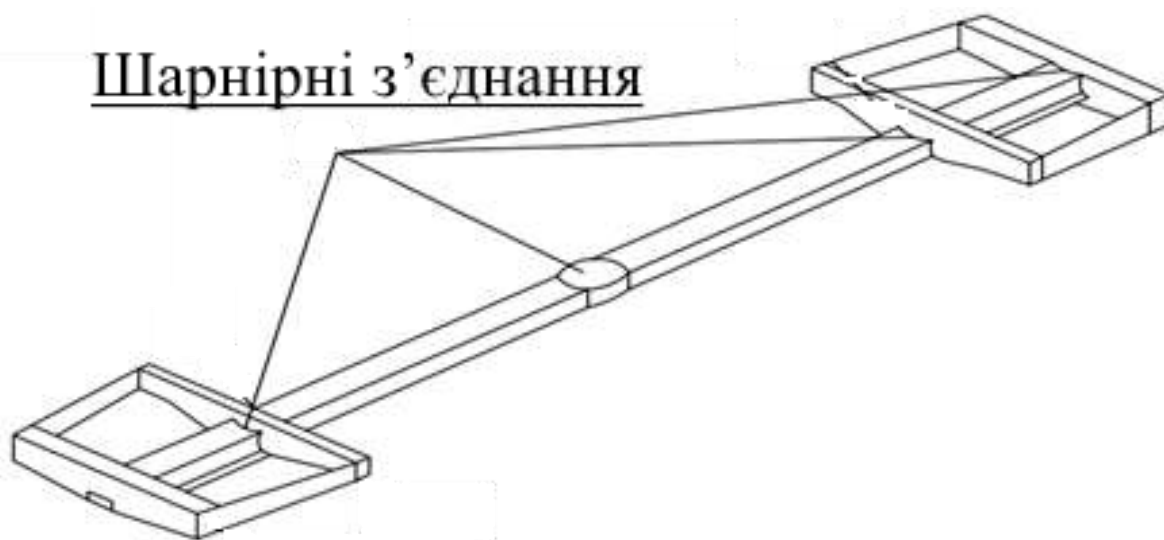


Рисунок 3.30 – Мультифункціональний шарнірний концепт рами залізничної цистерни

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечує появу додаткових ступенів вільності конструкції та реалізує в ній принцип адаптивного сприймання експлуатаційних навантажень в завантаженому або вивантаженому станах, що, як наслідок, покращує показники динаміки та міцності залізничної цистерни для перевезення рідких вантажів, забезпечує зменшення матеріалоемності і відповідно підвищує вантажопідйомність та збільшує строк служби залізничної цистерни для рідких вантажів.

### 3.18 Мульти матеріальний концепт критого вагона

Мульти матеріальний концепт критого вагона (рисунок 3.31) відноситься до вагонобудування та може бути використаний для здійснення залізничних перевезень і призначена для перевезення штучних, зернових та інших вантажів широкої номенклатури, які потребують захисту від атмосферних впливів.

В основу концепту поставлено задачу удосконалення критого вагона для підвищення ефективності його використання, а саме: зменшення матеріалоемності, збільшення вантажопідйомності та навантажувального об'єму кузова та зменшення корозійної зношуваності модуля кузова (рисунок 3.32), за рахунок удосконалення його конструкції, на основі виконання модуля кузова суцільним із композитного матеріалу та конфігураціями перерізів рівного спротиву діям сумарних відповідних експлуатаційних навантажень, при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності.

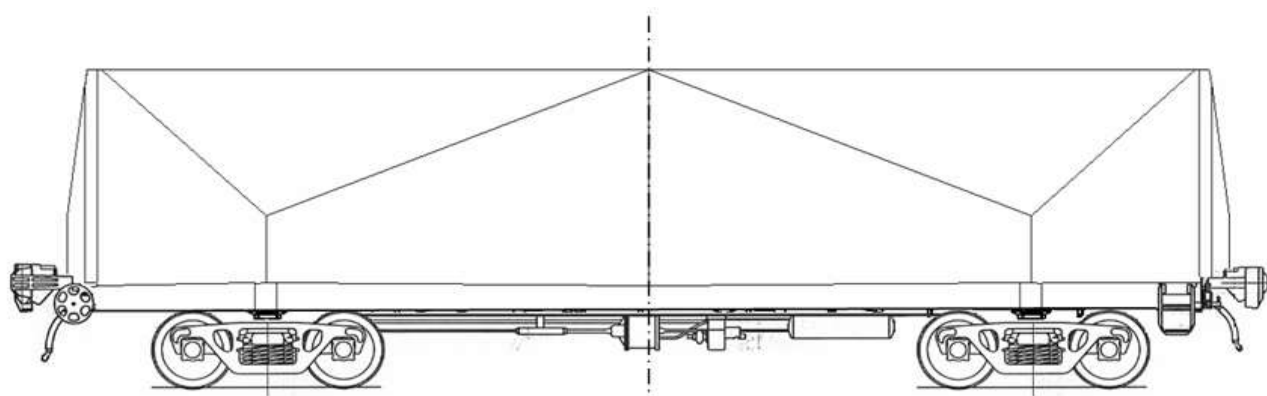


Рисунок 3.31 – Мульти матеріальний концепт критого вагона

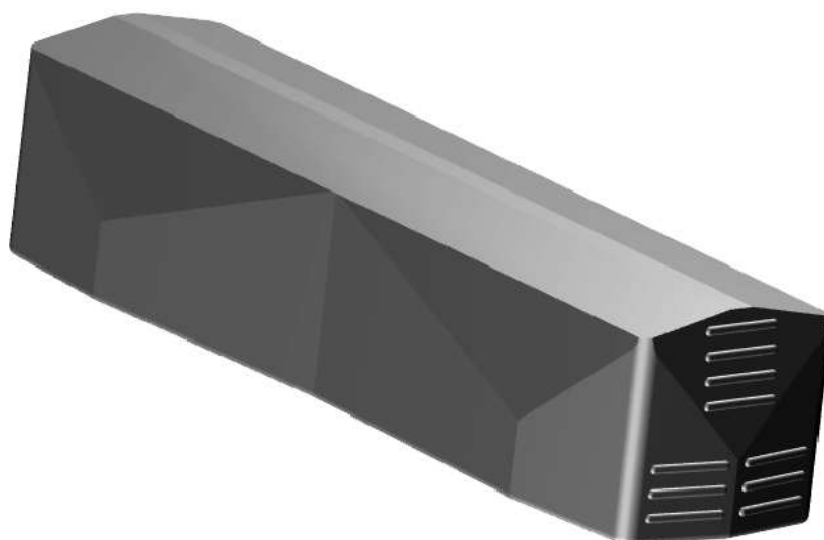


Рисунок 3.32 – Мульти матеріальний концепт кузова критого вагона

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують зниження матеріалоемності, збільшення вантажопідйомності та навантажувального об'єму кузова, підвищення корозійної стійкості модуля кузова і як наслідок усього вищезазначеного зниження собівартості виготовлення та експлуатації критого вагону.

### **3.19 Мульти матеріальний концепт залізничної цистерни**

Мульти матеріальний концепт залізничної цистерни (рисунок 3.33) належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використаний для перевезення рідких вантажів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення залізничної цистерни для перевезення рідких вантажів, а саме: зменшення матеріалоемності, збільшення вантажопідйомності та навантажувального об'єму кузова та зменшення корозійної зношуваності модуля кузова (рисунок 3.34), за рахунок удосконалення його конструкції, на основі виконання котла суцільним із

композитного матеріалу та конфігураціями перерізів рівного спротиву діям сумарних відповідних експлуатаційних навантажень, при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності.

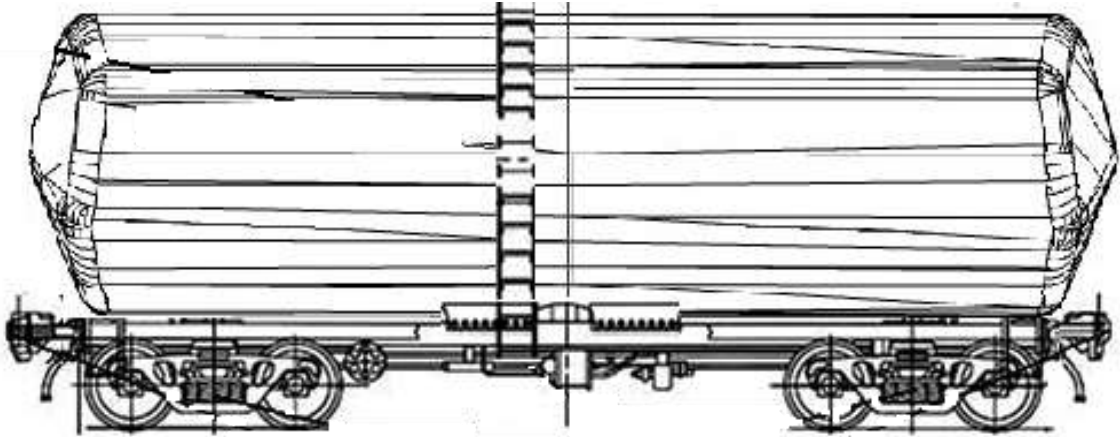


Рисунок 3.33 – Мульти матеріальний концепт залізничної цистерни

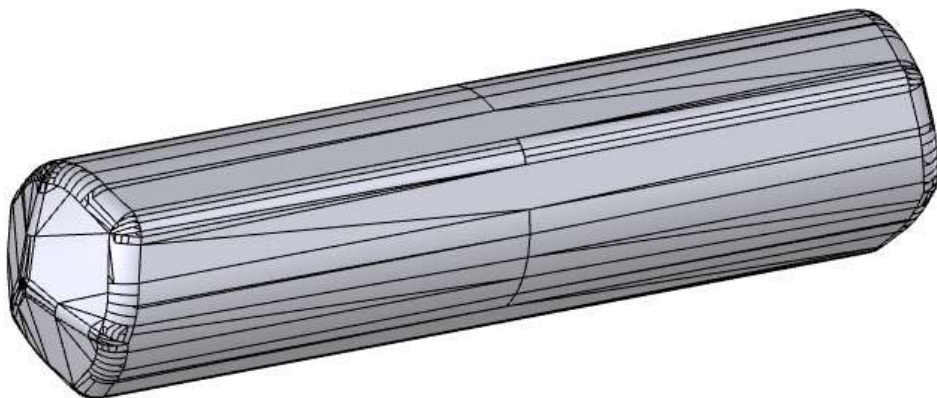


Рисунок 3.34 – Мульти матеріальний концепт котла залізничної цистерни

Введення нових ознак при взаємодії з відомими забезпечують зниження матеріалоемності, збільшення вантажопідйомності та навантажувального об'єму кузова, підвищення корозійної стійкості модуля кузова і як наслідок усього вищезазначеного зниження собівартості виготовлення та експлуатації залізничної цистерни для перевезення рідких вантажів.

### 3.20 Залізнична цистерна з мультиматеріальним концептом опор

Залізнична цистерна з мультиматеріальним концептом опор належить до залізничного транспорту, а саме залізничних цистерн і може бути використана для перевезення рідких вантажів.

В основу концепту поставлена задача удосконалення залізничної цистерни шляхом заміни опор, які знаходяться між котлом і рамою на гумометалеві елементи, які поглинають енергію коливань, що, як наслідок, покращує показники динаміки залізничної цистерни.

Поставлена задача досягається тим, що у залізничній цистерні, яка містить візки, раму, гальмівне обладнання, автозчепні пристрої, котел, кріплення котла до рами та опори котла на раму, згідно концепту, опори котла на раму виконано у вигляді, гумометалевих елементів (рисунок 3.35).

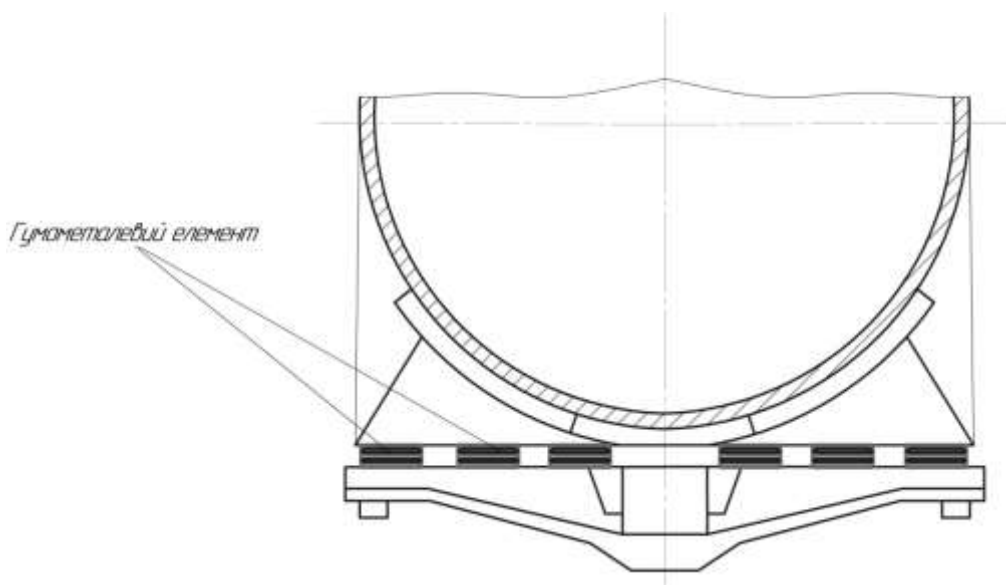


Рисунок 3.35 – Переріз залізничної цистерни з мультиматеріальним концептом опор

### 3.21 Комплексний розрахунок запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону

Особливістю конструкції напіввагона з глухим кузовом (рисунок 3.36), який обрано в якості вагона-прототипа (аналог моделі 12-197-02), є наявність нахилу бокових стін, закруглені сполучення бічної стіни і підлоги, гладка обшивка бічних і торцевих стін. Ці зміни в конструкції дозволяють без залишку вивантажувати вантажі, що перевозяться. Для попередження пошкоджень кузова при розвантаженні на вагоноперекидачах виконано посилення обв'язки бічних стін, а також збільшена кількість проміжних стійок. Стійки для підвищення запасу міцності мають шпангоутною конструкцією. У напіввагонах застосований плоский штампований п'ятник висотою 90 мм, що знизило центр ваги і поліпшило динамічні характеристики вагонів. Основні несучі елементи рами виконані з ванадієвої сталі марки 12Г2ФД класу міцності 390 ГОСТ 19281–2014.



Рисунок 3.36 – Загальний вигляд напіввагона-прототипа

Технічні характеристики напіввагона напіввагона-прототипа наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики напіввагона-прототипа

Технічна характеристика	Значення
Вантажопідйомність, т	76
Маса тари, т	23,5
Об'єм кузова, м <sup>3</sup>	90
Питомий об'єм, м <sup>3</sup> /т	1,18
Довжина за осями зчеплення автозчепу, мм	13920
Довжина по кінцевим балкам рами, мм	12700
База напіввагона, мм	8650
Ширина максимальна, мм	3175
Внутрішні розміри кузова, мм	
ширина по верхнім обв'язкам	3013
довжина по верхнім обв'язкам	12442
висота	2573
Висота від рівня головок рейок до верхньої обв'язки, мм	3810
Назначений термін служби, роки	32
Тип автозчепу	СА-3
Габарит кузова ГОСТ 9283	1-ВМ
Модель візка	18-194-1

Основні геометричні параметри представлені на рисунку 3.37

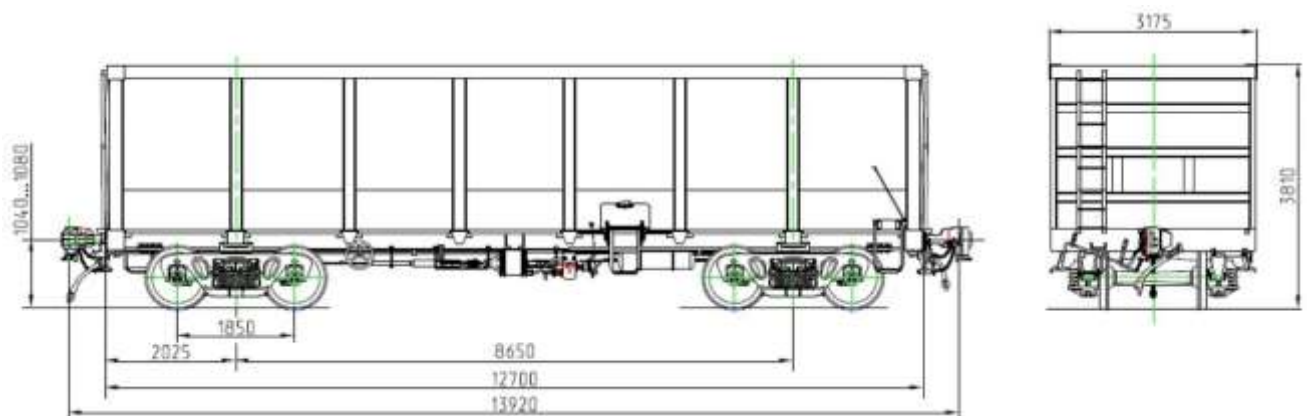


Рисунок 3.37 – Основні геометричні параметри напіввагона-прототипа

Для зручності ремонту, підготовки напіввагона до перевезень є два технологічних люка в підлозі та один в торцевій стіні. Люки відкриваються всередину. Вертикальні силові стійки бічних стін, верхня обв'язка і силовий каркас торцевих стін виконані з гнутих профілів, а кутові стійки – з листів товщиною 12 мм.

Далі описано визначення зусиль, які діють на вагон в експлуатації.

Під час експлуатації вагона, він випробовує дію ряду зусиль: вертикальне статичне, обумовлене вагою вантажу та конструкції вагона; вертикальне динамічне; відцентрове; вітрове навантаження; вертикальна складова від дії бокових зусиль; бокові зусилля, що діють на вагон через автозчепний пристрій; повздовжні зусилля; тиск розпору насипного вантажу.

Вертикальна сила, що зумовлена вагою тари та корисним навантаженням, називається вертикальною статичною і визначається (кН) за формулою:

$$P_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{бр}} - P_{\text{ч}}}{m}, \quad (3.1)$$

де  $P_{\text{бр}} = (T + P)g$  – вага бруто вагона; □

$P_{\text{ч}}$  – вага частин вагона, що передають навантаження на рейки від тих частин, що розраховуються, кН; В даному випадку – вага двох візків;  $P_{\text{ч}} = 96,1$  кН;

$m$  – число однойменних паралельно навантажених частин, що розраховується;

$T$  – тара вагона,  $T = 23,5$  т;

$P$  – вантажопідйомність вагона,  $P = 76$  т;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

$$P_{\text{бр}} = (23,5 + 76) \cdot 9,81 \approx 976,1 \text{ кН}$$

$$P_6^{cm} = \frac{976,1 - 96,1}{1} = 880 \text{кН}$$

Вертикальне динамічне навантаження

$$P_6^d = P_6^{cm} \cdot K_{d,6}, \quad (3.2)$$

де  $K_{d,6}$  - коефіцієнт вертикальної динаміки.

Коефіцієнт вертикальної динаміки дорівнює:

$$K_{d,6} = \frac{\overline{K_{d,6}}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi}} \ln \frac{1}{1 - P(K_{d,6})}, \quad (3.3)$$

де  $\overline{K_{d,6}}$  – математичне очікування  $K_{d,6}$ ,

$\beta$  – параметр розподілення, для вантажних вагонів  $\beta = 1,13$ .

В розрахунках на міцність можна прийняти  $P(K_{d,6}) = 0,97$ . За умови, що швидкість руху вагона  $V \geq 15$  м/с, маємо:

$$\overline{K_{d,6}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} b \frac{V - 15}{f_{cm}}, \quad (3.4)$$

де  $a$  – безрозмірний коефіцієнт, для елементів кузова  $a = 0,05$ ;

$b$  – коефіцієнт осності

$$b = \frac{n' + 2}{2n'}, \quad (3.5)$$

$V$  – конструкційна швидкість вагона,  $V = 33$  м/с;

$f_{cm}$  – статичний прогин ресорного підвішування вагона,  $f_{cm} = 0,065$  м;

$n'$  – число осей у візку або у групі візків під одним кінцем вагона,  $n' = 2$ .

$$b = \frac{2+2}{2 \cdot 2} = 1.$$

$$\bar{K}_{\partial,s} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \left( \frac{33-15}{0,065} \right) = 0,15.$$

$$K_{\partial,s} = \frac{0,15}{1,13} \sqrt{\frac{4}{3,14} \ln \frac{1}{1-0,97}} = 0,28.$$

$$P_s^{\partial} = 880 \cdot 0,28 = 246,4 \text{ кН.}$$

Відцентрова сила. Бокові навантаження в загальному випадку перпендикулярні повздовжній площини симетрії вагона. До них відносяться відцентрова сила тиску вітру, сили динамічної взаємодії вагона та колії в горизонтальній площині поперек колії. Відцентрова сила виникає в кривих дільницях колії, направлена по горизонталі перпендикулярно повздовжній осі вагона і прикладена в центрі мас вагона. Вона визначається за відомою формулою:

$$H_y = P_{сп} \cdot \eta. \quad (3.6)$$

де  $\eta$  – безрозмірний коефіцієнт.

Для вантажних вагонів  $\eta = 0,075$

$$H_y = 976,1 \cdot 0,075 = 73,2 \text{ кН.}$$

Вітрове навантаження. Рівнодіюча сила тиску вітру прикладається в центрі мас площі бокової поверхні кузова з вантажем паралельно поперечній осі вагона. Вона вважається квазистатичною і знаходиться за формулою:

$$H_{\epsilon} = \omega_{\epsilon} \cdot F_{\delta}, \quad (3.7)$$

де  $\omega_{\epsilon}$  – питомий тиск вітру на бокову стіну,  $\omega_{\epsilon} = 0,5 \text{ кН/м}^2$ ;

$F_{\delta}$  – площа бокової поверхні кузова,  $\text{м}^2$ .

$$F_{\delta} = 2L_p \cdot H_k, \quad (3.8)$$

де  $2L_p$ ,  $H_k$  – відповідно довжина вагона по рамі та зовнішня висота кузова, м

$$F_{\delta} = 12,7 \cdot 2,573 = 32,7 \text{ м}^2.$$

$$H_{\epsilon} = 0,5 \cdot 32,7 = 16,3 \text{ кН.}$$

Вертикальна складова від дії бокових сил. Цей вид навантаження виникає переважно під час вписування вагона в криву ділянку колії за рахунок нахилу кузова вбік, та завантаження ковзунів вагона з одного боку. Значення вертикальної складової від дії бокових сил визначається за формулою:

$$P_{\epsilon}^{\delta} = \frac{H_{\epsilon} \cdot h}{m' \cdot b}, \quad (3.9)$$

де  $h$  – вертикальна відстань між центром ваги кузова та місцем додаткового завантаження, для розрахунків приймаємо рівним,  $h \approx 1,7 \text{ м}$ ;

$m'$  – число однойменних, паралельно завантажених вузлів,  $m' = 2$ ;

$b$  – горизонтальна відстань між точками додаткового завантаження та розвантаження,  $b = 0,76 \text{ м}$ .

$$P_{\varepsilon}^{\delta} = \frac{73,2 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,76} = 81,9 \text{ кН.}$$

Поперечна складова повздовжньої квазістатичної сили  $N_{кв}$  обумовлена поворотом осі автозчепу в кривих ділянках колії. В цьому випадку в плані між віссю вагона та віссю автозчепу з'являється кут і пов'язана з ним проекція в горизонтальній площині повздовжньої сили на перпендикуляр до осі вагона. В режимі стиснення при перекосі осі вагона (гребені коліс одного візка притиснена до зовнішньої рейки, а другого – до внутрішньої) зусилля  $P_N$  визначається з схеми рисунок 3.38.

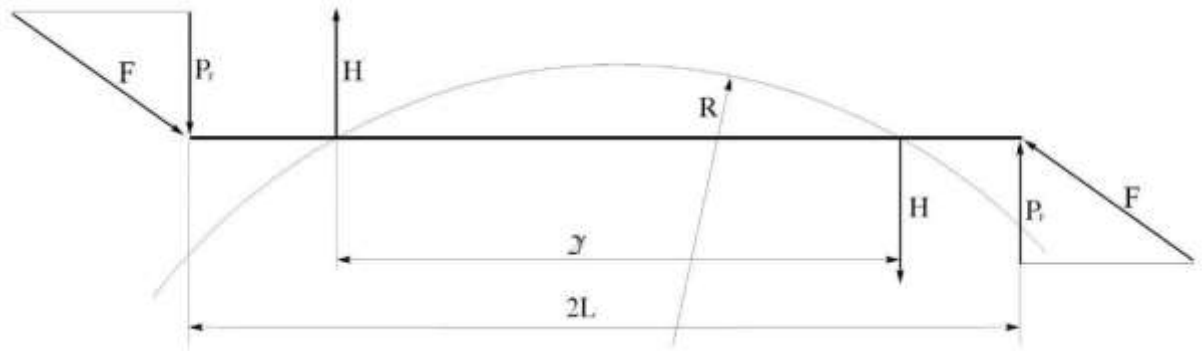


Рисунок 3.38 – Розрахункова схема для визначення зусилля  $P_N$  (стиснення)

Бокове зусилля, що діє на вагон через автозчепний пристрій (при стисненні вагона в кривій ділянці колії), визначається за наступною формулою:

$$P_N = N_{кв} \left( \frac{\delta L}{l^2} \left( 1 + \frac{L}{a} \right) + \frac{L_a}{R} \right) \frac{l}{L}, \quad (3.10)$$

де  $N_{кв}$  – повздовжнє зусилля, що направлене у внутрішню частину вагона, прикладене до опорних поверхонь задніх упорів автозчепного пристрою з обох боків,  $N_{кв} = 2500 \text{ кН}$ ;

$\delta$  – можливе однобічне бокове зміщення шворневого перерізу кузова вагона за рахунок зазорів колісної пари в рейковій колії, зазорів між буксою

(адаптером) колісної пари та пройомом для колісної пари в боковій рамі, зазорів між п'ятником і підп'ятником, пружних бокових деформацій ресорного підвішування,  $\delta = 0,04$  м;

$2L$  – відстань між опорними поверхнями задніх упорних кутників,  $2L \approx 10,66$  м;

$2l$  – база вагона,  $2l = 8,65$  м;

$a$  – розрахункова довжина корпусу автозчепу,  $a = 1,0$  м;

$2L_a$  – довжина вагона за осями зчеплення автозчепів,  $2L_a = 13,92$  м;

$R$  – радіус кривої, приймаємо рівним 250 м.

$$P_N = 2500 \left( \frac{0,04 \cdot 5,33}{4,325^2} \left( 1 + \frac{5,33}{1} \right) + \frac{6,96}{250} \right) \frac{4,325}{5,33} = 202,8 \text{ кН.}$$

Схема дії повздовжнього квазістатичного зусилля зображена на рисунку 3.39.

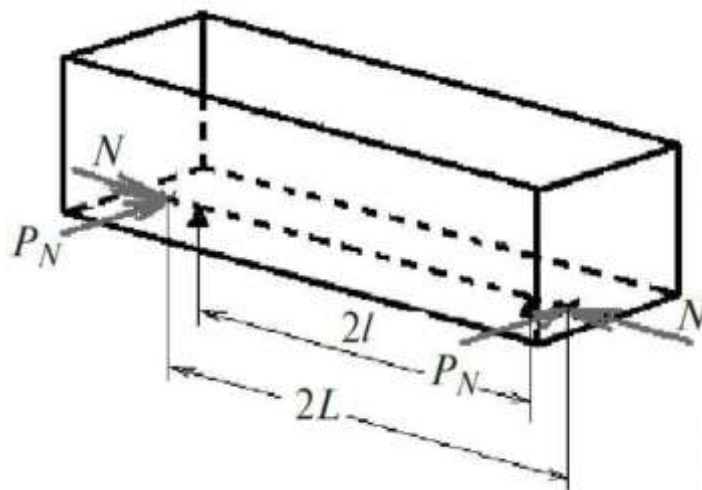


Рисунок 3.39 – Схема дії поперечних квазістатичних зусиль при русі в кривій дільниці колії малого радіусу

Повздовжні навантаження представляють собою сили розтягування та стискування (квазістатичні та динамічні), що виникають при взаємодії вагона і

локомотива при різних режимах руху поїзда та маневрових роботах, а також виникаючі при цьому сили інерції, що сприймаються у вузлах вагонів. Сили розтягування та стискування прикладаються відповідно до передніх та задніх упорів автозчепного пристрою. Величини їх приймаються як нормативні для певних розрахункових режимів і наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Величини повздовжніх сил, МН

Тип вагону	Розрахункові режими			
	I квазистатична сила	I удар, ривок	III квазистатична сила	III удар, ривок
Вантажні основних типів	-2,5	-3,5	-1,0	-1,0
	+2,5	+2,5	+1,0	+1,0

Знаком «+» позначаються зусилля розтягування, ривка, а «-» зусилля стискування, удару. Час дії імпульсних зусиль приймається 0,3 с. Встановлені такі схеми дії повздовжніх сил:

- квазистатичні розтягування чи стискування прикладені до упорів автозчепу з обох боків вагона;
- сили удару чи ривка, прикладені до упорів автозчепу одного кінця вагона й урівноважуються силами інерції мас вагона.

Розпірні самоурівноважуючі навантаження здійснюють суттєвий вплив на напружено-деформований стан вузлів з'єднання кузова напіввагона з елементами рами. Цей вид навантаження однаково важливий для кузовів з глухою підлогою і люками у підлозі. Нормативні документи рекомендують, для навалочних вантажів при завантаженні «без шапки» визначати зусилля розпору (поверхневі, що приходяться на одиницю площі стіни за формулою:

$$p_a = (1 + k_{oa}) \gamma \cdot g \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (3.11)$$

де  $k_{oa}$  – коефіцієнт вертикальної динаміки, за I розрахунковим режимом,  $k_{oa} = 0,1$ , для III розрахункового режиму за формулою (3.3);

$\gamma$  – насипна щільність вантажу, т/м<sup>3</sup>;

$z$  – відстань від верху навантаження до перерізу, що розглядається, м;

$\alpha$  – кут природного скосу, який утворений поверхнею вільно насипаного вантажу та горизонтальною площиною, радіани, при розрахунку за I розрахунковим режимом приймається повна його величина, а по режиму III – 0,2 від повної величини.

За вантаж, що перевозиться, приймаємо кам'яне вугілля з наступними параметрами  $\gamma = 0,85 \text{ т/м}^3$ ,  $\alpha = 0,62$ . В якості перерізу приймаємо максимально віддалений від верху кузова вагона  $z = 2,573 \text{ м}$ .

Для:

$$p_a^{pp} = (1 + 0,1) \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 2,573 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{0,62}{2} \right) = 6,25 \text{ кПа.}$$

$$p_a^{mpp} = (1 + 0,28) \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 2,573 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{0,2 \cdot 0,62}{2} \right) = 21,4 \text{ кПа.}$$

Зусилля розпору насипного вантажу на бокові та торцеві стіни кузова напіввагону, визначені за методикою. Згідно цієї методики приймається, що навантаження розпору насипного вантажу на бокові стіни кузова вагону розподілене за законом трикутника з максимумом у його основи, а на торцеву – за законом трапеції. Схема дії зусиль розпору насипного вантажу на торцеві та бокові стіни зображена на рисунку 3.40.

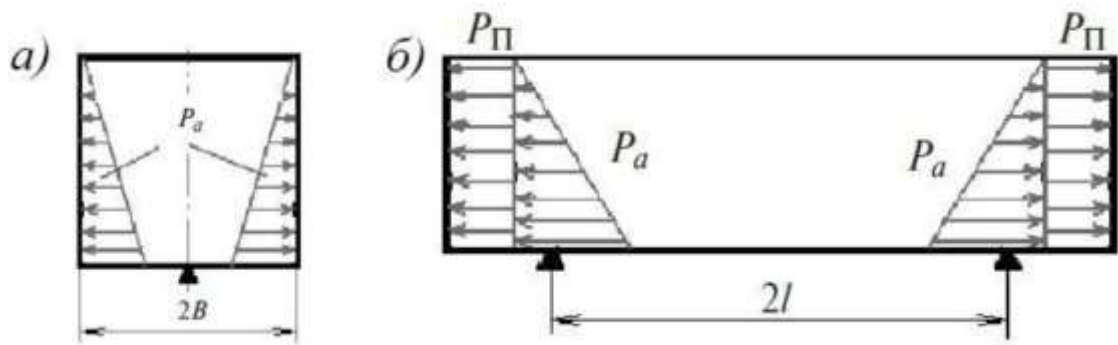


Рисунок 3.40 – Схема дії зусилля розпору насипного вантажу на бокові стіни а) та торцеві б)

Тиск нерівномірнорозподіленого навантаження, яке прикладене до торцевої стіни визначається за формулою:

$$P = P_a + P_n, \quad (3.12)$$

де  $p_n$  – пасивний тиск насипного вантажу, який визначається за формулою (3.10), в якій квадрат тангенса різності двох кутів замінюється квадратом тангенса їх суми та з урахуванням коефіцієнту вертикальної динаміки, а також кута природного відкосу

$$p_n^{Ipp} = (1 + 0,1) \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 2,573 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{0,62}{2} \right) = 89 \text{ кПа.}$$

$$p_n^{IIIpp} = (1 + 0,28) \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 2,573 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{0,2 \cdot 0,62}{2} \right) = 35,2 \text{ кПа.}$$

Зводимо розрахункові значення до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Загальні зусилля, що діють на вагон, згідно розрахункових режимів, кН

Тип зусилля	I розрахунковий режим	III розрахунковий режим
Вертикальне статичне	880	880
Вертикальне динамічне		246,4
Відцентрове		73,2
Вітрове		16,3
Вертикальне складове від дії відцентрового зусилля		81,9
Бокові складові повздожньої квазістатичної сили (в кривих)	202,8	
Максимальні повздожні зусилля, що передаються через автозчеп:		
- удар;	-3500	-1000
- ривок	+2500	+1000

Дослідження напружено-деформованого стану несучої конструкції кузова напіввагона-прототипа. Основні несучі елементи кузова вагона виготовляються зі сталі марки 12Г2ФД класу міцності 390 ГОСТ 19281–2014 з наступними механічними властивостями:

- межа текучості  $\sigma_T = 390\text{МПа}$ ;
- тимчасовий опір  $\sigma_B = 510\text{МПа}$ ;
- відносне подовження  $\delta_5 = 19\%$ .

Допустимі напруження дорівнюють:

- для першого розрахункового режиму:

$$[\sigma] = 0,95\sigma_T, \quad (3.13)$$

$$[\sigma] = 0,95 \cdot 390 = 370,5 \text{ МПа.}$$

- для третього розрахункового режиму  $[\sigma] = 250 \text{ МПа}$ .

Геометрична тривимірна модель кузова напіввагона-прототипа представлена на рисунку 3.41.

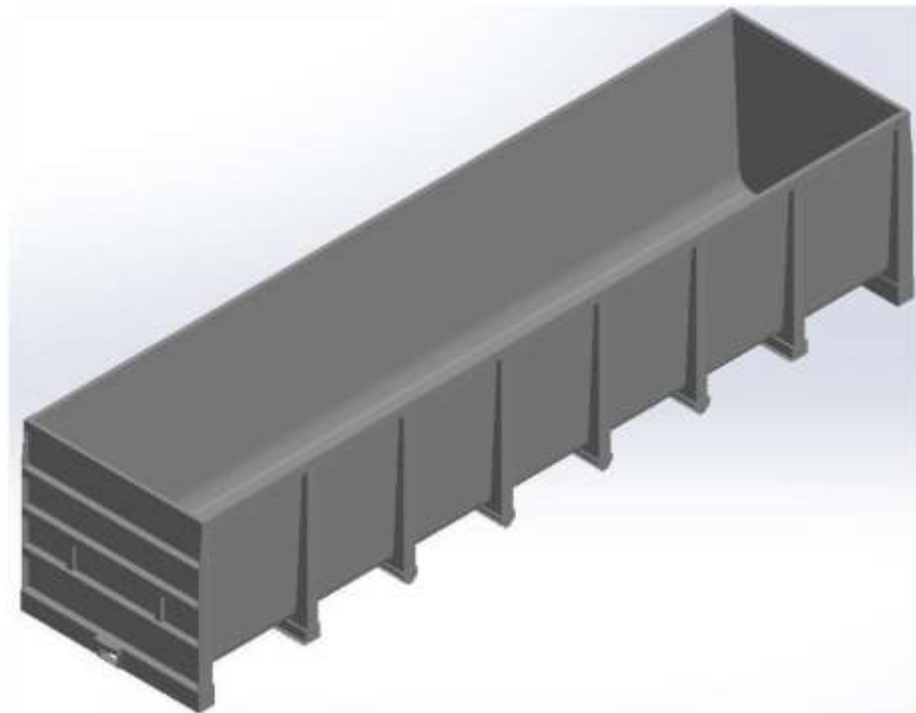


Рисунок 3.41 – Тривимірна геометрична модель кузова напіввагона-прототипа

Розрахункова модель для першого розрахункового режиму (I pp.), з урахуванням зусиль, що розраховані в другому розділі наведена на рисунку 3.42.

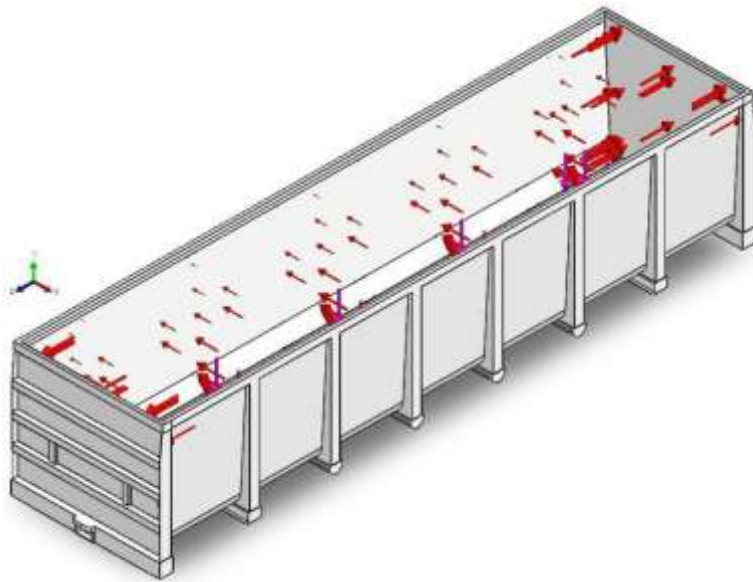


Рисунок 3.42 – Розрахункова модель кузова напіввагона-прототипа I pp.

Для третього режиму розрахункова модель буде мати вигляд як на рисунку 3.43.

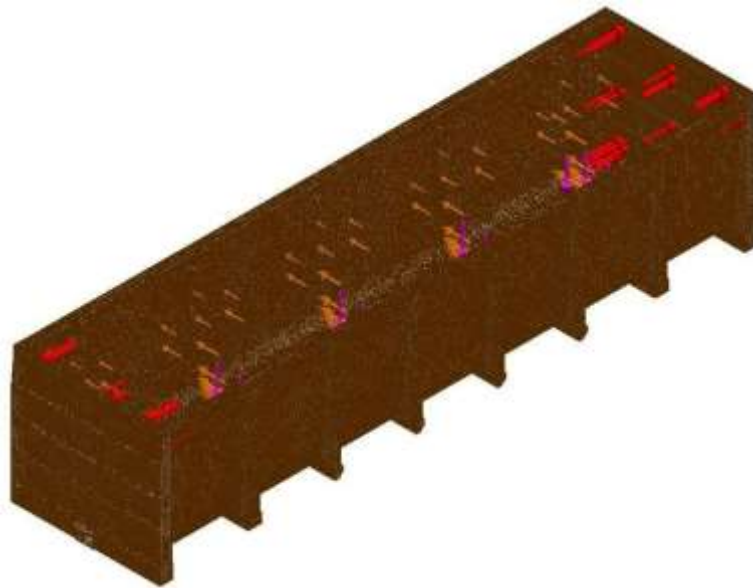


Рисунок 3.43 – Скінченно-елементна розрахункова модель кузова напіввагона-прототипа за I pp.

Розрахунки виконувалися в програмному середовищі SolidWorks. Параметри скінченно-елементних розрахункових моделей наведені в таблиці.

Результати дослідження напружено-деформованого стану кузова напіввагона-прототипа наведені на рисунках 3.44-3.55.

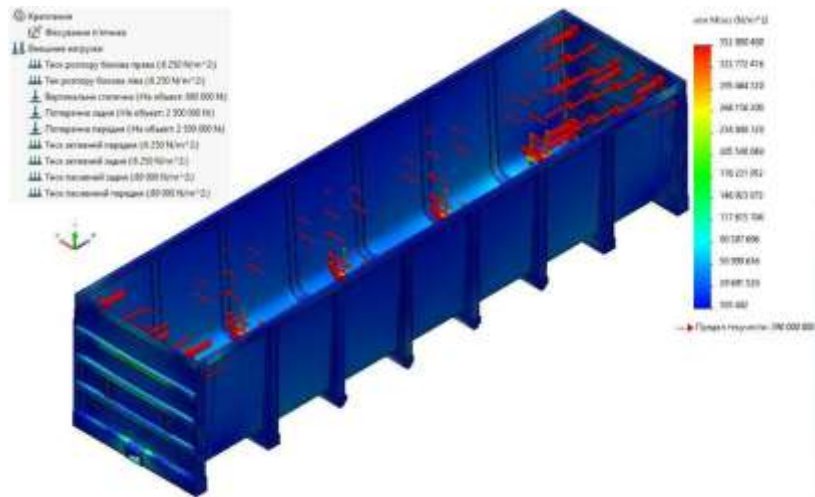


Рисунок 3.44 – Розподіл напружень по Мізесу для першого розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд зверху)

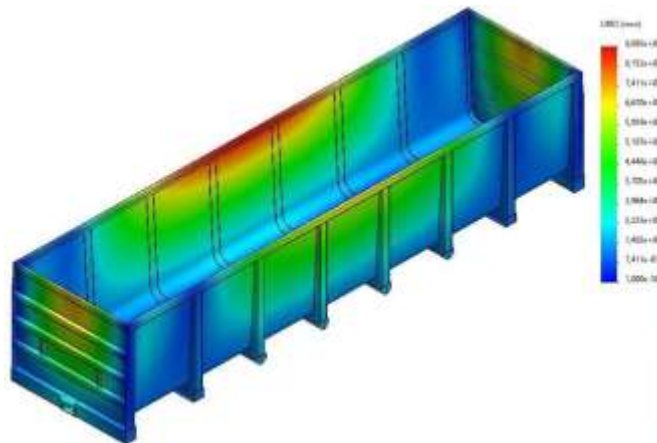


Рисунок 3.45 – Розподіл переміщень в вузлах для першого розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд зверху)

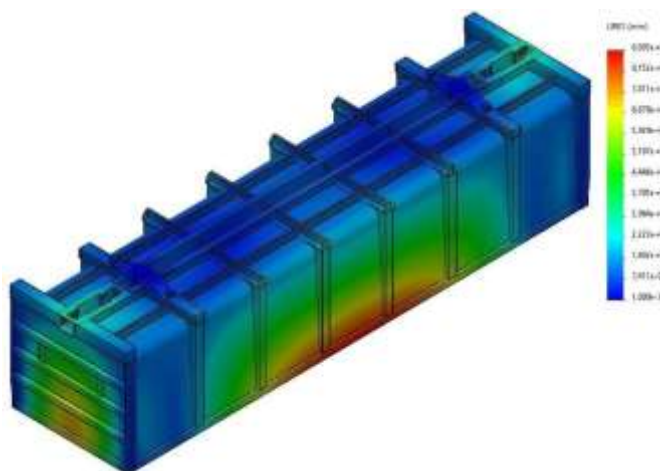


Рисунок 3.46 – Розподіл переміщень в вузлах для першого розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд знизу)

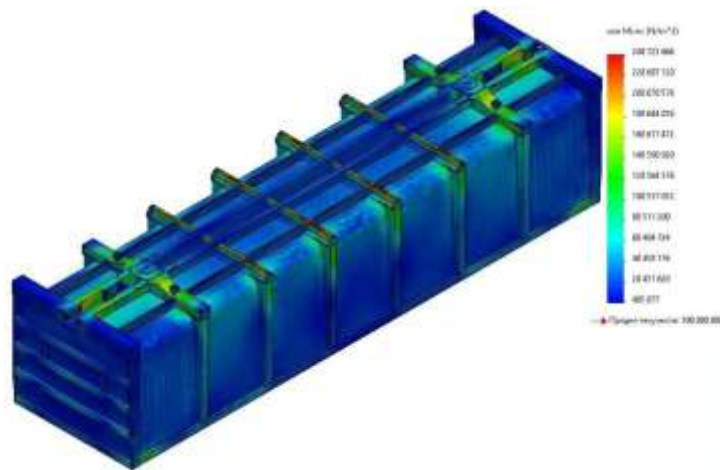


Рисунок 3.47 – Розподіл напружень по Мізесу для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд знизу)

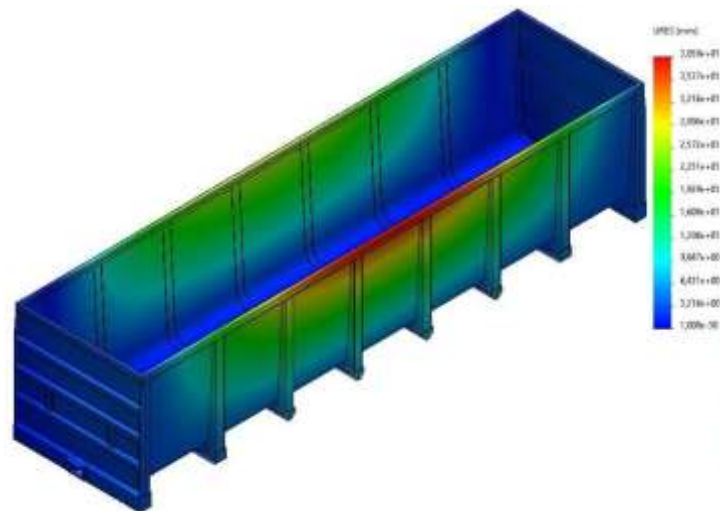


Рисунок 3.48 – Розподіл переміщень в вузлах для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд зверху)

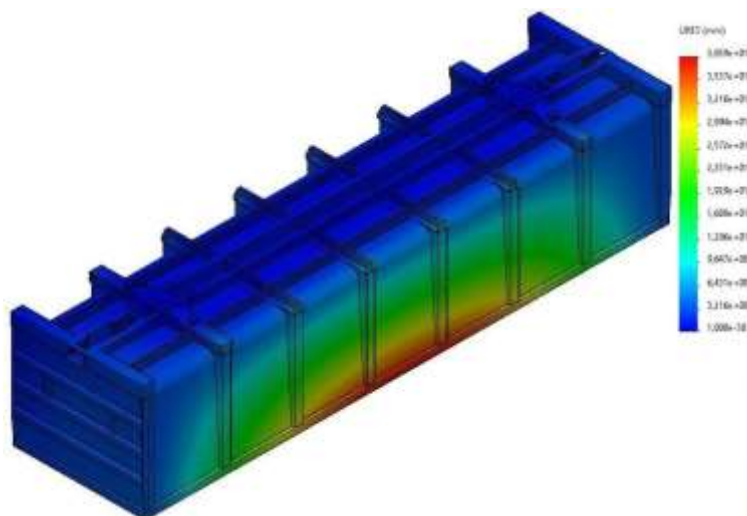


Рисунок 3.49 – Розподіл переміщень в вузлах для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд знизу)

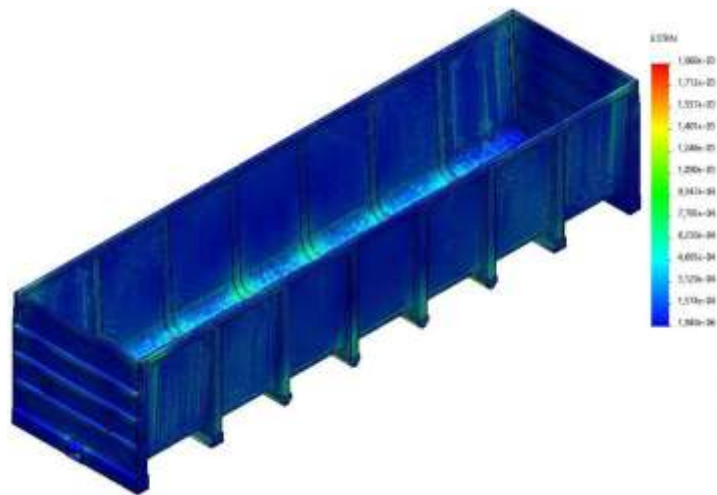


Рисунок 3.50 – Розподіл деформацій для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення)

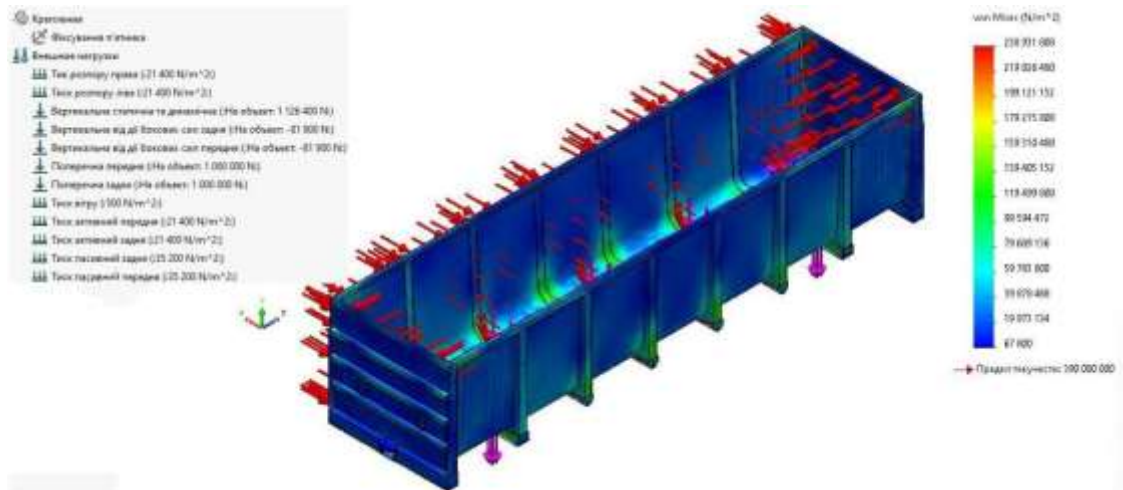


Рисунок 3.51 – Розподіл напружень по Мізесу для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (стиснення, вигляд зверху)

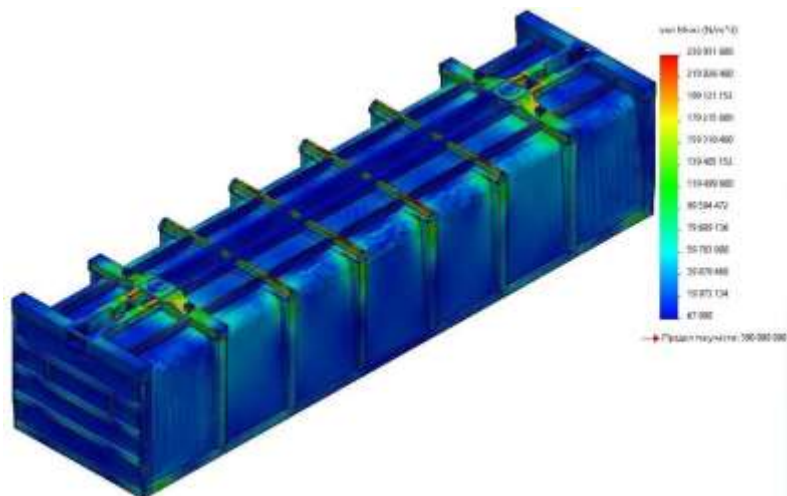


Рисунок 3.52 – Розподіл напружень по Мізесу для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (стиснення, вигляд знизу)

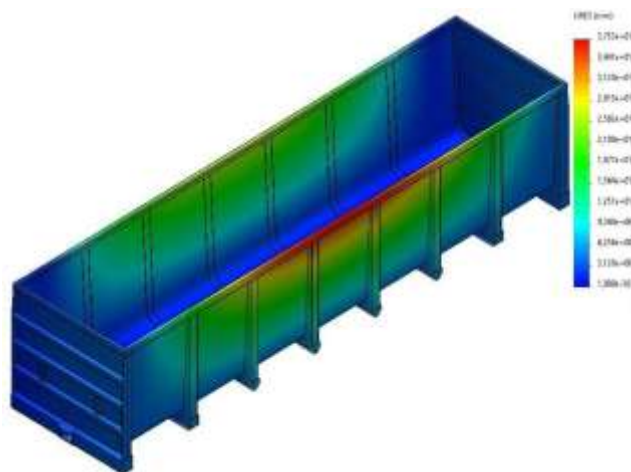


Рисунок 3.53 – Розподіл переміщень в вузлах для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (стиснення, вигляд зверху)

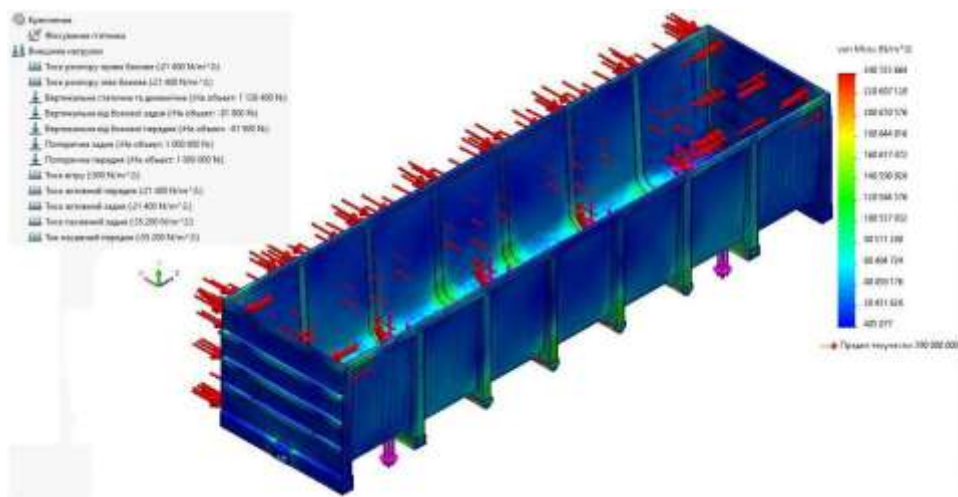


Рисунок 3.54 – Розподіл напружень по Мізесу для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (розтягнення, вигляд зверху)

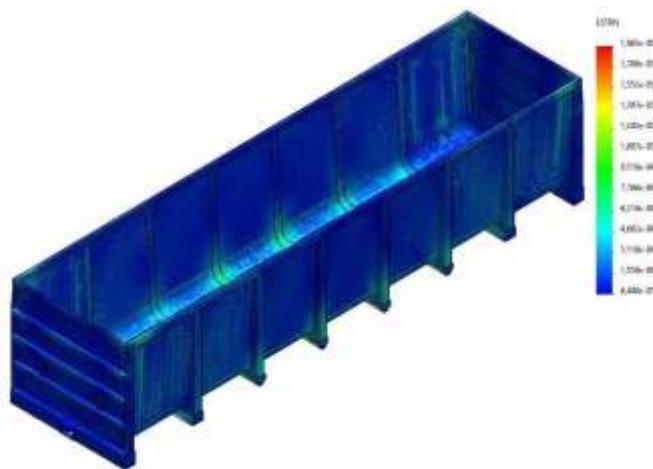


Рисунок 3.55 – Розподіл деформацій для третього розрахункового режиму напіввагона-прототипа (стиснення)

Таблиця 3.4 – Параметри розрахункових моделей для I та III розрахункових режимів

Параметр	Стиснення
Максимальний розмір елемента, мм	50
Мінімальний розмір елемента, мм	10
Кількість вузлів	183578
Кількість елементів	565373
Відсоток елементів з відношенням сторін більше 10	22,5
Точки Якобіана для сітки	4

Визначення геометричних параметрів вагона, що проектується. Як показує досвід експлуатації вагонів, найбільш розповсюдженим видом деформації елементів кузова напіввагона є деформація згинання. З опору матеріалів відомо, що величина напруження у певному перерізі від дії згинального моменту дорівнює:

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (3.14)$$

де  $M$  – згинальний момент у перерізі, кНм;

$W$  – момент опору перерізу, м<sup>3</sup>. Згідно довідкових даних момент опору овального перерізу (рисунок 3.56) дорівнює для відповідних осей

$$W_x = \frac{\pi b a^2}{32}, W_y = \frac{\pi a b^2}{32}, \quad (3.15)$$

де  $a, b$  – розміри овального перерізу, м.

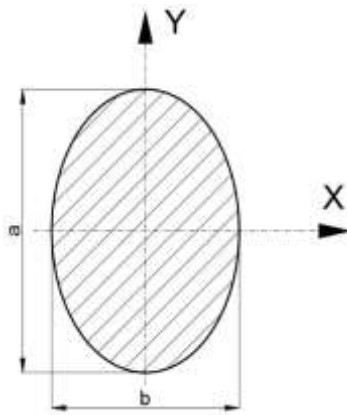


Рисунок 3.56 – Вигляд овального перерізу з параметрами

Для полого овального перерізу з параметрами, як на рисунку 3.57, значення моменту опору перерізу можна визначити наступним чином

$$W_x = \frac{I_x - I_{x_0}}{a}, W_y = \frac{I_y - I_{y_0}}{b}, \quad (3.16)$$

де  $I_x, I_{x_0}$  – відповідно момент інерції перерізу, та момент інерції овального отвору відносно осі X, м<sup>4</sup>;

$I_y, I_{y_0}$  – відповідно момент інерції перерізу, та момент інерції овального отвору відносно осі Y, м<sup>4</sup>.

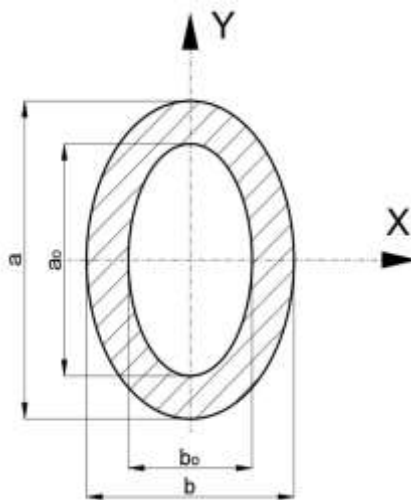


Рисунок 3.57 – Вигляд полого овального перерізу

Формули (3.17) також можна записати у наступному вигляді:

$$W_x = \frac{\pi}{32} \left( ba^2 - b_0 \frac{a^3}{a} \right), W_y = \frac{\pi}{32} \left( ab^2 - a_0 \frac{b^3}{b} \right), \quad (3.17)$$

де  $a_0, b_0$  – розміри осей полого отвору овальної форми, м.

Розрахунок геометричних параметрів перерізів зведений у таблицю 3.5.

Загальний вигляд вагону з використанням овальних труб зображений на рисунку 3.58-3.60.



Рисунок 3.58 – Загальний вигляд запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону, без урахування обшивки





Рисунок 3.59 – Вигляд запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону з розрізом посередині



Рисунок 3.60 – Чверть кузова запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону

Вигляд запропонованого вагона з обшивкою бокових та торцевих стін та настилом підлоги у вигляді гофрів зображений на рисунках 3.61-3.64.

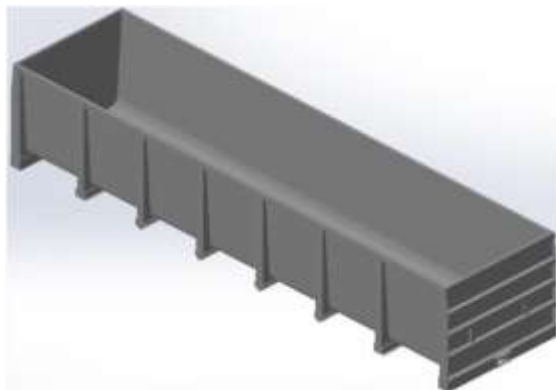


Рисунок 3.61 – Кузов запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону з обшивкою



Рисунок 3.62 – Розріз запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону посередині

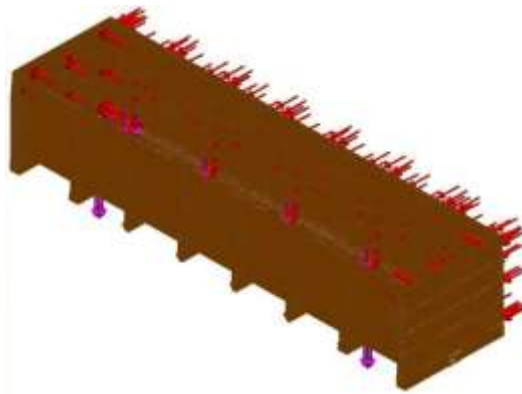


Рисунок 3.63– Скінченно-елементна розрахункова модель кузова запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону

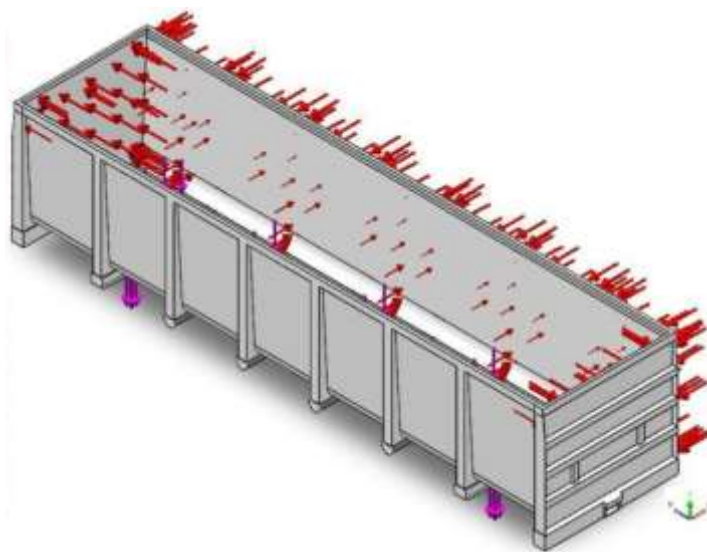


Рисунок 3.64 – Розрахункова модель кузова запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону

Результати дослідження напружено-деформованого стану кузова вагона моделі запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону наведені на рисунках 3.65-3.70.

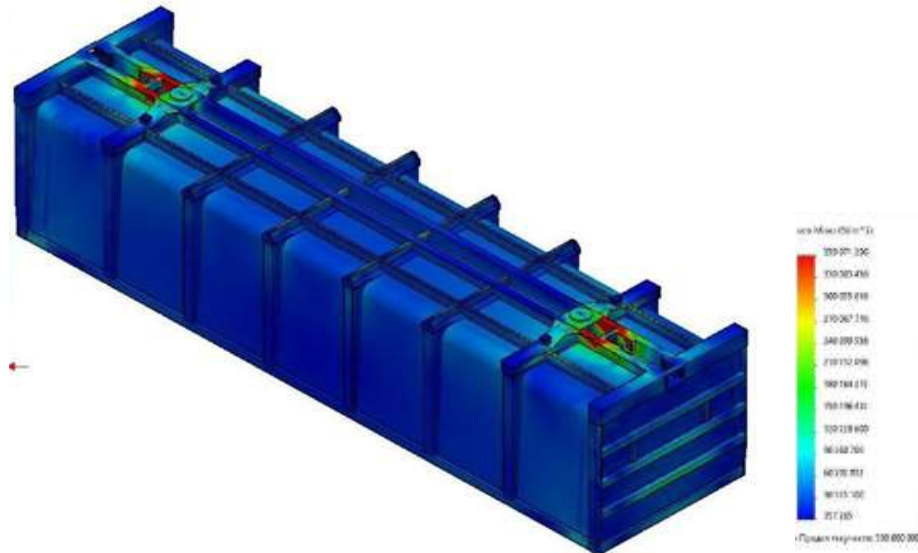


Рисунок 3.65 – Розподіл напружень по Мізесу для першого розрахункового режиму (стиснення, вигляд зверху) кузова запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону

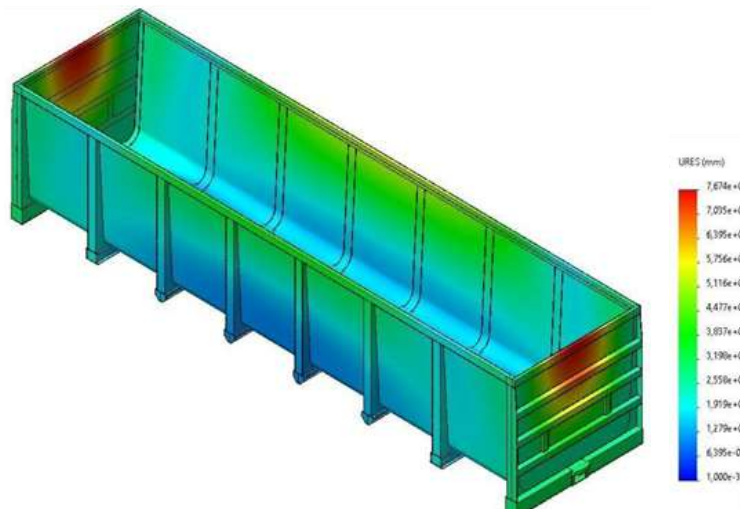


Рисунок 3.66 – Розподіл переміщень в вузлах для першого розрахункового режиму (стиснення, вигляд зверху) кузова запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону



Рисунок 3.67 – Розподіл деформацій для першого розрахункового режиму запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону (розтягнення)

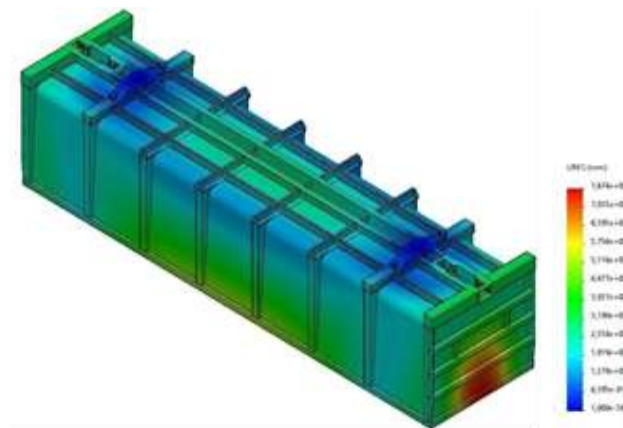


Рисунок 3.68 – Розподіл переміщень в вузлах для першого розрахункового режиму запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону (стиснення, вигляд знизу)

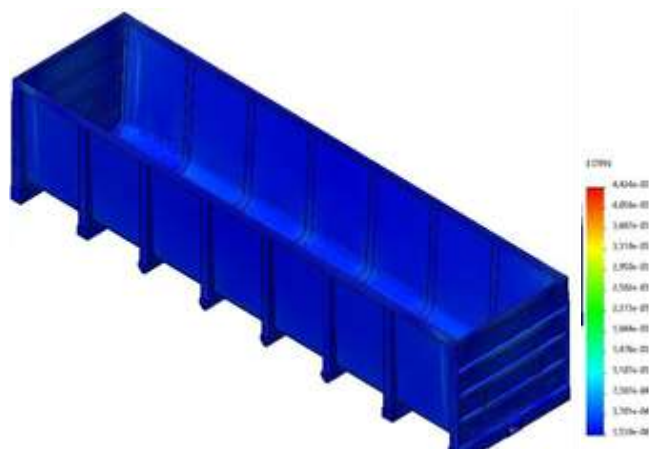


Рисунок 3.69 – Розподіл деформацій для першого розрахункового режиму запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону (стиснення)

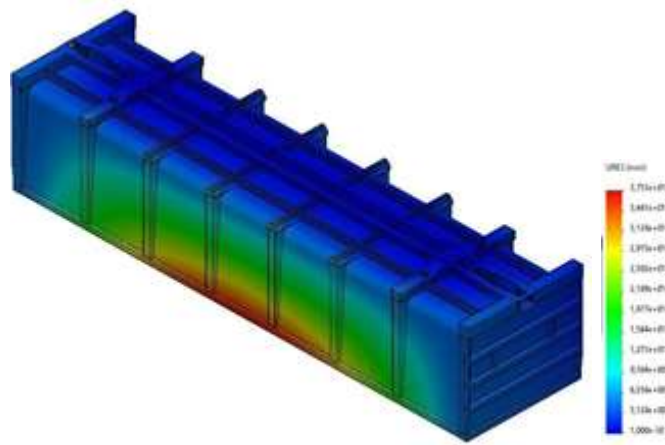


Рисунок 3.70 – Розподіл переміщень в вузлах для третього розрахункового режиму запропонованого мультифункціонального концепту напіввагону (стиснення, вигляд знизу)

Розроблений практичний концепт реалізації мультифункціонального підходу спрямований на створення рівноміцнісного конструктиву вантажного вагону. Його комплексний розрахунок (на основі порівняння з сучасним базовим аналогом) дозволив встановити, що показники міцності та втомної міцності покращується на 10-25%. Слід зазначити, що створення такого конструктиву було орієнтовано на сучасні вітчизняні вагонобудівні виробничі можливості, проте існуючий потенціал впровадження мультифункціональних складових в вагоній конструкції дозволить поліпшити їх техніко-економічні та експлуатаційні характеристики більше ніж на 60 %.

Аналіз втомної міцності [66-73] конструкції напіввагона. Оцінка втомної міцності проводилася по коефіцієнту запасу опору втомі за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,E}} \geq [n], \quad (3.18)$$

де  $\sigma_{a,N}$  – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі в разі симетричного циклу і сталого режиму навантаження на базі випробувань  $N_0$  (для корпусних несних деталей вагонів зазвичай вважають, що база випробувань становить  $N_0 = 10^7$  циклів, Па;

$\sigma_{a,e}$  – розрахункове значення амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, зведене до бази  $N_0$ , еквівалентне за пошкоджувальною дією значенню амплітуд у реальному режимі експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного терміну служби деталі, Па;

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі. Значення границі витривалості за амплітудою натурної деталі можна визначити за формулою:

$$\sigma_{a,N} = \overline{\sigma_{a,N}} \left( 1 - z_p \cdot v_{\sigma_{a,N}} \right), \quad (3.19)$$

де  $\overline{\sigma_{a,N}}$  – середнє (медіанне) значення границі витривалості натурної деталі, Па;

$z_p$  – квантиль розподілу, що відповідає однобічній ймовірності  $P$ , якщо вважати, що  $\sigma_{a,N}$  – випадкова величина, яка має нормальний закон розподілу, то для основних несних деталей вагонів рекомендовано такі значення  $P=0,95$  ( $z_p = 1,645$ );

$v_{\sigma_{a,N}}$  – коефіцієнт варіації границі витривалості, приймається рівним:

$$v_{\sigma_{a,N}} = 0,07.$$

Значення  $\overline{\sigma_{a,N}}$  розраховується наступним чином:

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\overline{\sigma_{-1}}}{\left( \overline{k_{\sigma}} \right)_k}, \quad (3.20)$$

де  $\overline{\sigma_{-1}}$  – середнє (медіанне) значення границі витривалості гладкого стандартного зразка з матеріалу деталі (згідно з ГОСТ 25.502) у разі симетричного циклу згинання на базі  $N_0$ , Па.

Для прокату 12Г2ФД  $\overline{\sigma_{-1}} = 235$  МПа;

$\left( \overline{k_{\sigma}} \right)_k$  – середнє значення загального коефіцієнта зниження границі витривалості даної натурної деталі відносно границі витривалості гладкого

стандартного зразка. Значення  $(\bar{k}_\sigma)_k$  приймаємо 1.7. Для визначення  $\sigma_{a,e}$ , використовувалась формула,:

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{N_c^I}{N_0} \sum_{i=1}^n (\sigma_{ai}^I)^m p_i + \frac{N_c^{II}}{N_0} \sum_{i=1}^n (\sigma_{ai}^{II})^m p_i + \frac{N_c^{III}}{N_0} \sum_{i=1}^n (\sigma_{ai}^{III})^m p_i}, \quad (3.21)$$

де  $m$  – показник ступеню в рівнянні кривої втоми в амплітудах;

$N_c^I$  – сумарна кількість циклів вертикальних динамічних сил за розрахунковий строк служби вагона;

$N_c^{II}$  – сумарна кількість циклів поздовжнього ударного навантаження за розрахунковий строк служби вагона;

$N_c^{III}$  – сумарна кількість циклів завантаження-розвантаження за розрахунковий строк служби вагона;  $N_0$  – базова кількість циклів;

$\sigma_{ai}^I, \sigma_{ai}^{II}, \sigma_{ai}^{III}$  – рівень амплітуд напружень від дії відповідно вертикальних динамічних сил, поздовжньої ударної сили, зусиль завантаження-розвантаження в інтервалі  $i$ ;

$p_i$  – ймовірність появи амплітуди з рівнем  $\sigma_{ai}$ .

Показник степеня  $m$  визначають за даними статистичного оброблення стендових випробувань на втому зразків певної деталі або оцінюють за узагальненими даними випробувань подібних, близьких по конструкції та матеріалу, деталей. Для зварних балок показник дозволено визначати за формулою:

$$m = \frac{A}{(\bar{k}_\sigma)_k}, \quad (3.22)$$

де  $A = 18$  – для низьколегованих сталей.

Рівні амплітуд напружень від дії вертикальних динамічних сил визначалися за формулою:

$$\sigma_{ai}^I = \sigma_{cm} \cdot \overline{k_{\partial e}}, \quad (3.23)$$

де  $\sigma_{cm}$  – статичне напруження від сили тяжіння бруто вагона, Па;

$\overline{k_{\partial e}}$  – середній коефіцієнт вертикальної динаміки в інтервалі  $i$ .

Статичні напруження від сили тяжіння бруто вагона були отримані з розрахунку методом скінчених елементів (до скінчено-елементної моделі прикладалися тільки сили тяжіння рами та вантажу). За розрахунками  $\sigma_{cm} = 200$  МПа. Значення математичного очікування коефіцієнта вертикальної динаміки визначається за формулами при  $V_i < 15$  м/с

$$\overline{k_{\partial e}} = a \frac{V_i}{15}, \quad (3.24)$$

при  $V_i \geq 15$  м/с ..

У якості інтервальної швидкості прийнято величини швидкості інтервалів розподілу. Величини зведені в таблицю 3.6.

Для деталей, у яких динамічні напруження виникають від коливань та вібрацій під час руху вагона  $N_0$  в циклах, рекомендовано визначати за формулою:

$$N_c^I = 365 v_e \frac{\overline{L_c}}{V_m} \cdot T_p, \quad (3.25)$$

де  $v_e$  – центральна (ефективна) частота процесу зміни динамічних напружень, Гц, визначається за формулою:

$$v_e = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{cm}}} \quad (3.26)$$

де  $a$  – коефіцієнт, що для кузова вантажного вагона дорівнює 1,4;

$f_{cm}$  – статичний прогин ресорної підвіски, для розрахункового режиму навантаження вагона,  $f_{cm}=0,065\text{м}$ .

Таблиця 3.6 – Значення швидкості, математичного очікування та ймовірності

Інтервал швидкостей	Середнє значення швидкості, м/с	$\overline{k_{ос}}$	Ймовірність $p_i$
0-12,5	6,25	0,021	0,03
12,5-15,0	13,75	0,046	0,07
15,0-17,5	16,25	0,059	0,09
17,5-20,0	18,77	0,078	0,12
20,0-22,5	21,25	0,096	0,16
22,5-25,0	23,75	0,115	0,19
25,0-27,5	26,25	0,134	0,16
27,5-30,0	28,75	0,152	0,10
30,0-32,5	31,25	0,171	0,06
32,5-35,0	33,75	0,189	0,02

$$v_c = \frac{1,4}{2\pi} \sqrt{\frac{9,81}{0,065}} \approx 2,74 \text{ Гц.}$$

$\overline{L_c}$  – середньодобовий завантажений пробіг вагона,  $\overline{L_c}=220\text{км/добу}$ ;

$V_T$  – середня технічна швидкість руху вагона,  $V_T=22,4\text{м/с}$ ;

$T_p$  – термін служби деталі (вузла),

При ударній взаємодії з вагонами виникають коливальні затухаючі процеси. Рівні амплітуд напружень від дії поздовжнього ударного навантаження визначається шляхом перерахування напружень за наступною формулою:

$$\sigma_{ai}^{\Pi} = \frac{\sigma_{y\delta}}{N} F_{ai}^{y\delta}, \quad (3.27)$$

де  $\sigma_{y\delta}$  – амплітуда напружень, що розраховано за допомогою методу скінчених елементі при ударній взаємодії вагонів із вагонами, МПа;

$N$  – поздовжня ударна сила, що діє на вагон та відповідає розрахунковим, МН;

$F_{ai}^{y\delta}$  – рівень амплітуди ударного поздовжнього зусилля на автозчеп в інтервалі  $i$ , МПа.

Еквівалентні напруження від дії поздовжнього ударного навантаження  $N = 3,5$  МН, отримані шляхом розрахунку методом скінчених елементів рами. Розподіл амплітуд ударних сил приведений у таблиці 3.7 .

Таблиця 3.7 – Статичний розподіл амплітуд ударних зусиль

Інтервал зусиль	Амплітуда цикла $F_{ai}^{y\delta}$ , МПа	Ймовірність $p_i$	Число циклів за рік
0,1-0,4	0,25	0,1258	2565
0,4-0,8	0,6	0,2852	5818
0,8-1,2	1	0,2802	5716
1,2-1,6	1,4	0,1832	3737
1,6-2,0	1,8	0,0772	1569
2,0-2,4	2,2	0,0359	586
2,4-2,8	2,6	0,0098	163
2,8-3,2	3	0,0023	39
3,2-3,6	3,4	0,0003	5
3,6-4,0	3,8	0,0001	2

Загальне число циклів повздовжніх сил на автозчеп за розрахунковий строк служби буде дорівнювати:

$$N_c^H = N_{pik} \cdot T_p, \quad (3.28)$$

де  $N_{pik}$  – число ударних зусиль на автозчеп за рік,  $N_{pik} = 20\,200$  циклів;

$T_p$  – строк служби вагона,  $T_p = 32$  роки.

Рівні амплітуд напружень від дії навантажувально-розвантажувальних зусиль визначаються за формулою:

$$\sigma_{ai}^H = \frac{\sigma_{cm}}{2}. \quad (3.29)$$

Сумарне число циклів завантаження-розвантаження за розрахунковий строк служби становить:

$$N_c^H = N_{np} \cdot T_p, \quad (3.30)$$

де  $N_{np}$  – число завантажувально-розвантажувальних зусиль на рік,  $N_{np} = 100$ .

Згідно формул (3.23, 3.27, 3.29) формула (3.31) буде мати наступний вигляд:

$$\sigma_{a,e} = \sqrt{\frac{N_c^I}{N_0} \sum_{i=1}^n (k_{\sigma} \cdot \sigma_{cm})^m P_i + \frac{N_c^H}{N_0} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\sigma_{yb} F_m^y}{N} \right)^m P_i + \frac{N_c^H}{N_0} \left( \frac{\sigma_{cm}}{2} \right)^m}. \quad (3.31)$$

Мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втоми приймається  $[n] = 1,8$ . Умова втомної міцності  $n \geq [n]$  для всіх елементів конструкції напіввагона виконується. Розрахунки з оцінки опору втоми показали, що коефіцієнт запасу

втоми найбільш напружених зон елементів кузова вагона більше допустимого коефіцієнта запасу втоми  $[n]$ .

З метою визначення проектного терміну служби напіввагона використана методика:

$$T_n = \frac{(\sigma_{-1D} / [n])^m \cdot N_0}{B \cdot f_e \cdot \sigma_{ae}^m}, \quad (3.32)$$

де  $\sigma_{-1D}$  – середнє значення границі витривалості деталі, МПа;

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу міцності;

$m$  – показник ступеня кривої втоми;

$N_0$  – база випробувань;

$B$  – коефіцієнт, який характеризує час безперервної роботи вузла в секундах;

$f_e$  – ефективна частота динамічних напружень,  $s^{-1}$ ;

$\sigma_{ae}$  – амплітуда еквівалентних динамічних напружень, МПа.

Коефіцієнт, який характеризує час безперервної роботи об'єкту визначається за формулою:

$$B = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot L_c}{g_{cp} (1 + 0,34)}, \quad (3.33)$$

де  $L_c$  – середньодобовий пробіг вагона, км (близько 250 км [9]);

$g_{cp}$  – середнє значення швидкості руху вагона,  $g_{cp} = 33$  м/с;

0,34 – коефіцієнт порожнього пробігу. Ефективна частота динамічних напружень визначається за формулою:

$$f_e = \frac{1,1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{cm}}}, \quad (3.34)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \frac{м}{с^2}$ ;

$f_{cm}$  – статичний прогин ресорного підвішування, м.

$$f_e = \frac{1,1}{2\pi} \sqrt{\frac{9,81}{0,065}} = 2,15 \text{ Гц.}$$

$$B = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot 250}{22,12 \cdot (1 + 0,34)} = 3074357 \text{ с.}$$

При визначенні за формулою 3.32 прийняті наступні вхідні данні: середнє значення границі витривалості конструкції визначається як  $0,5 \sigma_B$  матеріалу (для марок сталі 12Г2ФД –  $0,5 \cdot 510 = 255$  МПа); база випробувань –  $10^7$  циклів (рекомендована база випробувань для конструкційної сталі); при середній швидкості руху  $g_{cp} = 22,15 \frac{м}{с}$  дорівнює 3074357 с. Ефективна частота динамічних напружень з урахуванням характеристик візка 2,15 Гц; допустимий коефіцієнт запасу міцності дорівнює 2; показник ступеня кривої втоми для зварної конструкції прийнятий рівним 4; амплітуда еквівалентних динамічних напружень визначена на підставі попередніх розрахунків несучої конструкції вагона.

$$T_n = \frac{(255 / 2)^4 \cdot 10^7}{3074357 \cdot 2,15 \cdot 58^4} \approx 35 \text{ років.}$$

Виходячи з розрахунків за формулами (3.32-3.34) встановлено, що проектний строк служби несучої конструкції напіввагона складає більше 32 років, тобто не є меншим за життєвий цикл типового вагона.

### 3.22 Експериментальні дослідження конструкції напіввагонів

З метою настроювання розроблених скінчено-елементних розрахункових моделей були використані результати експериментальних випробувань напіввагону. Випробування при співударянні напіввагону моделі 12-9745 проводились за участю автора на території філії «Панютинський вагоноремонтний завод» АТ «Укрзалізниця» при температурі навколишнього середовища  $12^{\circ}\text{C}$  та при відносній вологості 80%.

Випробування проводились у світлий час доби на спеціально підготовлених двох паралельних коліях з реєстрацією деформацій у контрольних точках для визначення міцності конструкцій при ударі 3,5 МН. Місця розташування контрольних точок (всього було встановлено 29 тензорезисторів) наведено на рисунках 3.71-3.73.

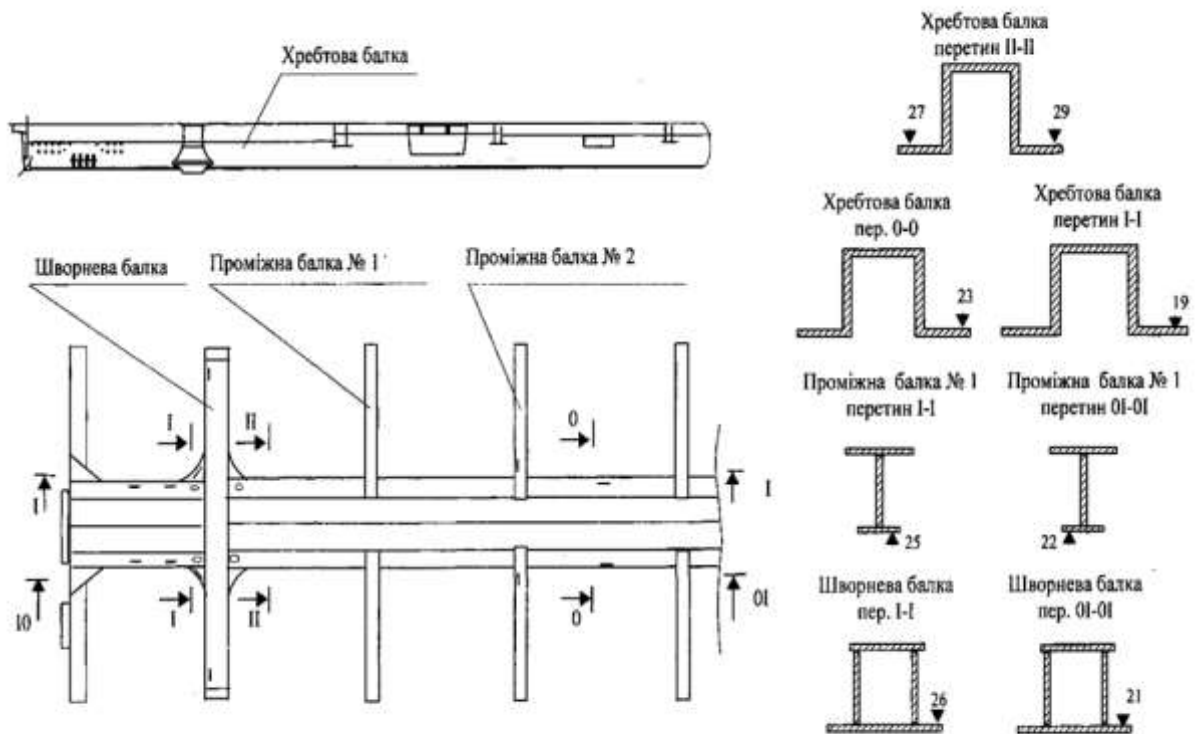


Рисунок 3.71 – Місця розташування контрольних точок на рамі напіввагонів 12-9745

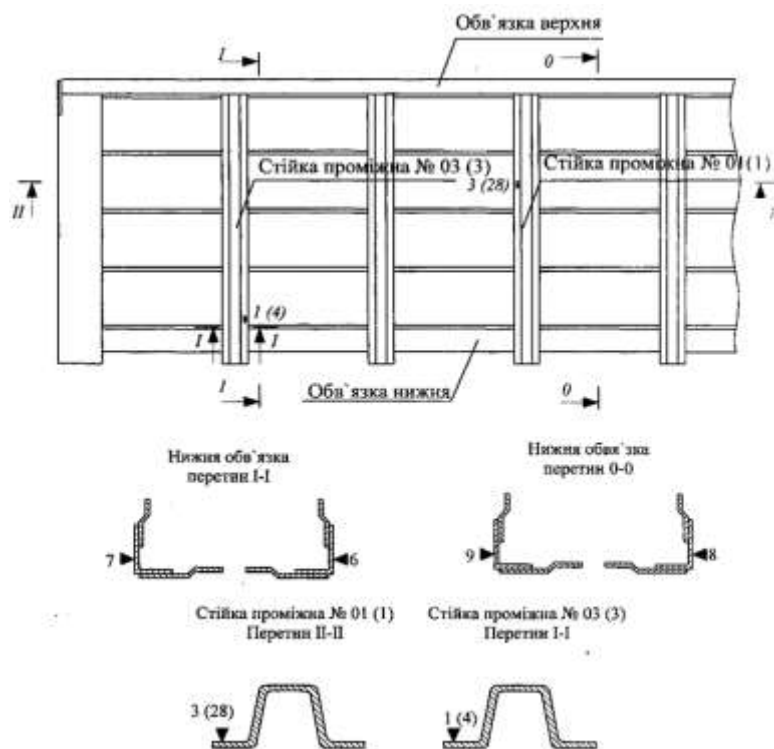


Рисунок 3.72 – Місця розташування контрольних точок на стіні боковій конструкції напіввагонів 12-9745

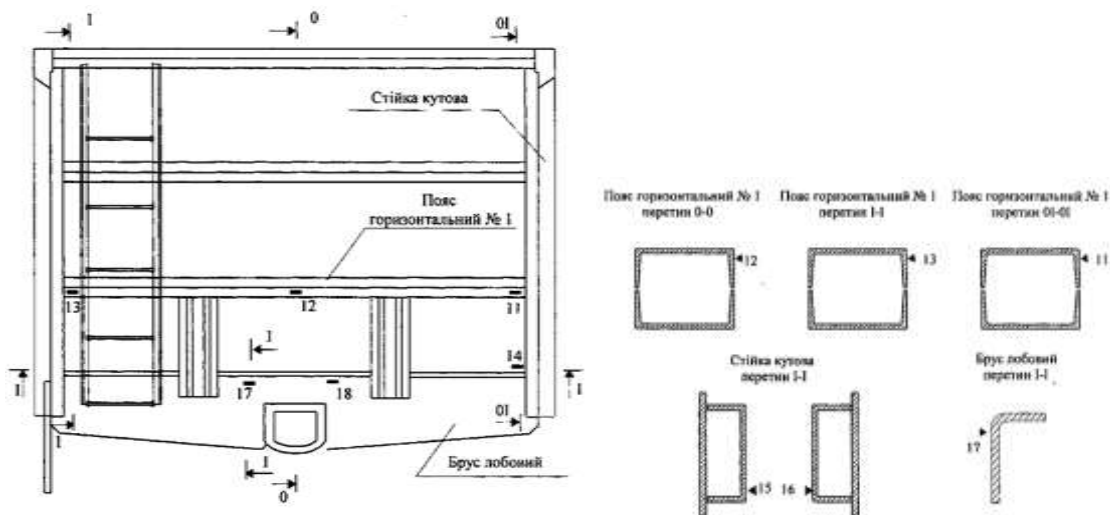


Рисунок 3.73 – Місця розташування контрольних точок на стіні торцевій конструкції напіввагонів 12-9745

Випробування проводились з використанням сучасних випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки ДП«УкрНДІВ». Відомості про які наведені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Відомості про випробувальне обладнання і засоби вимірювальної техніки

Назва, марка і номер (заводський або інвентарний) випробувального обладнання і засобів вимірювальної техніки	Основні технічні характеристики (діапазон вимірювань, похибка)
Тензорезистори КФ 5П1-20-200-А-12	База 0,02 м, К=2,20, R=(199,8±0,2) Ом
Система вимірювальна тензометрична СИИТ-3, зав.№281, інв.№77	Швидкість – 20 вимірювань на секунду; Кількість каналів – 100; Опір резистора – (100-400) Ом; Діапазон вимірювань: ±(0-9999) мкВ/В, Похибка вимірювань ±0,13%.
Система вимірювально-реєструюча ВВП 7/1, зав. №1297, інв.№ 153	Кількість каналів вимірювань деформації (вібрації, температури) – 48. Опір використовуємих датчиків (100-800) Ом. Нелінійність статичної характеристики 0,005%, температуриний дрейф нуля 0,01% 10°С. Діапазон вимірювань, мВ/В: ±0,2; ±0,5; ±1,0; ± 2,0; ±3,0; ±6,0; ±9,0. Похибка вимірювань ±1,5%.
Ваги вагонні тензометричні. Пульсар ВТВ-1С, зав. №017	Діапазон зважування (2,5-150)т; Похибка зважування – 0,05%.
Термометр ТК-5.05, зав.№ 315446, інв.№ 441/06 з зондом температури №324440; з зондом вологості № 323000	Діапазон вимірювань температури (від -20 до +200) °С; діапазон вимірювань вологості (0-100)%, похибка 1%
Секундомір сумарної дії типу С)П пр-2а-3-000, зав.№ 6377, інв.№ 479/07	Діапазон вимірювань (0-30) хв., (0-60)с; ціна поділки шкали секундної – 0,2с. Похибка за 60с – ±0,3с.
Модуль Е-330, зав. № 61,657083, інв. №442/08	Діапазон вимірювань: ±5,12В; ±2,56В; ±1,024В. Похибка α=±1 МЗР.
Аналого-цифровий перетворювач Е 330	Діапазон вимірювань: ±5,12В; ±2,56В; ±1,024В. Похибка АЦП=±1 МЗР.

Сумарна похибка вимірювань показників деформації з використанням тензодатчиків та підсилювачів ВНП 7/2 складає 2,5%. Обробка результатів випробувань виконувалась на ЕОМ (Pentium 4) з використанням стандартного програмного математичного забезпечення статистичної обробки процесів.

Маса вантажу склала – 69,8т.

У режимі співудару здійснено 22 удари при дії нормативних навантажень від 0,5 до 3,5 МН.

Випробування проводились у наступному порядку:

- підготовка місць встановлення тензорезисторів та наклейка тензорезисторів;
- монтаж з'єднувальних кабелів до тензорезисторів і апаратури, що реєструє;
- налагодження та перевірка роботоздатності апаратури;
- піввагон обладнується спеціальним автозчепом-динамометром, попередньо проградуйованим статичним навантаженням до 400тс;
- завантаження піввагону до номінальної вантажопідйомності;
- зважування завантаженого напіввагону;
- випробування проводяться в завантаженому стані з підпором із завантажених вагонів загальною масою більше 300т. Переміщення зчепу обмежуються спеціальними упорами (башмаками);
- співудари проводяться шляхом накочування на дослідний напіввагон за допомогою локомотива вагона-бойка масою 93т з швидкістю від 2-3км/год (або силою 0,5МН) із наступним збільшенням інтервалу швидкості до 2 км/год до досягнення сили 3,5МН. При цьому проводяться не менше 3-х ударів у кожному діапазоні швидкості (сили удару).

Реєстрація деформацій (напружень) і швидкості набігання вагону-бойка здійснюється за допомогою засобів вимірювальної техніки. Після кожних 3-5 ударів проводиться перевірка технічного стану піввагону та його обладнання. Отримані під час проведення випробувань дані записуються на магнітний диск персонального комп'ютера.

Обробка даних міцностних випробувань виконується з використанням автоматизованих комплексів обробки дослідних даних із застосуванням статистичних методів. Напруження  $\sigma$  (МПа) в елементах конструкції у місцях установки тензорезисторів визначаються за формулою:

$$\sigma = \frac{R_{\delta}}{R_{ш}} \cdot \frac{E \cdot a}{K_m \cdot A}, \quad (3.35)$$

де  $R_{\delta}$  – опір тензорезистора, Ом;

$R_{ш}$  – опір калібрувального шунта, Ом;

$E$  – модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі, МПа;

$a$  – амплітуда (відхилення) процесу, В;

$K_m$  – коефіцієнт чутливості тензодатчика;

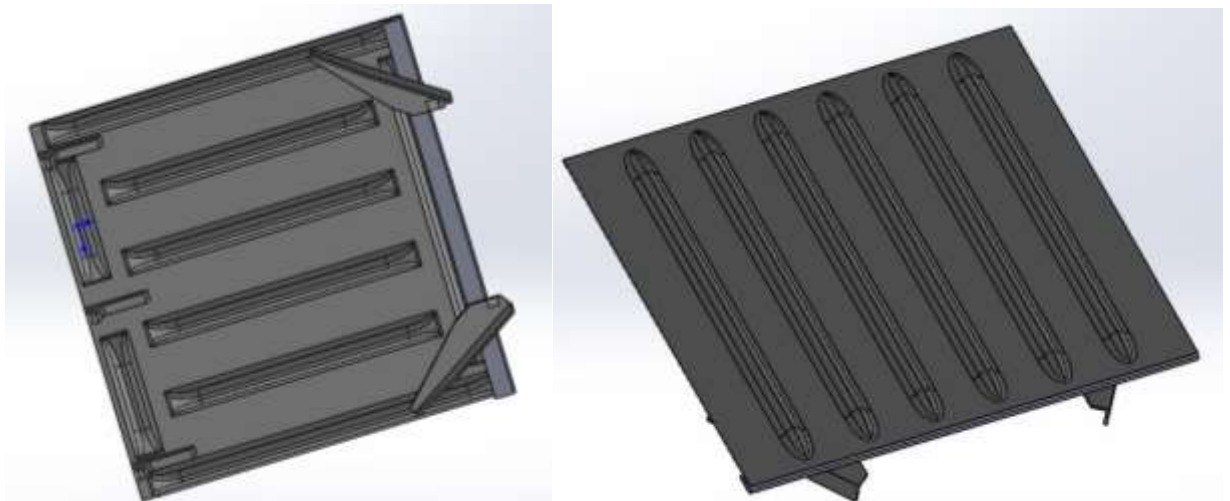
$A$  – амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

При порівнянні результатів експериментальну з розрахунковими даними можна зробити висновок, що їх різниця не перевищує 7%, що засвідчило о адекватності та можливості використання в подальших дослідженнях розроблені скінчено-елементні моделі. Також отримані результати були підтверджені при співставленні їх з результатами розрахунку у програмному комплексі ИСПА, що також підтвердило адекватність розроблених скінчено-елементних розрахункових моделей.

### 3.23 Узагальнений аналіз напружено-деформованого стану інноваційних кришок люків

На рисунку 3.74 представлено запропоновану конструкцію кришки люка, яка складається з двох несівних гофрованих листів товщиною по 3 мм. При цьому гофри верхнього та нижнього листів направлені в протилежні сторони. Узли кріплення залишаються типовими.

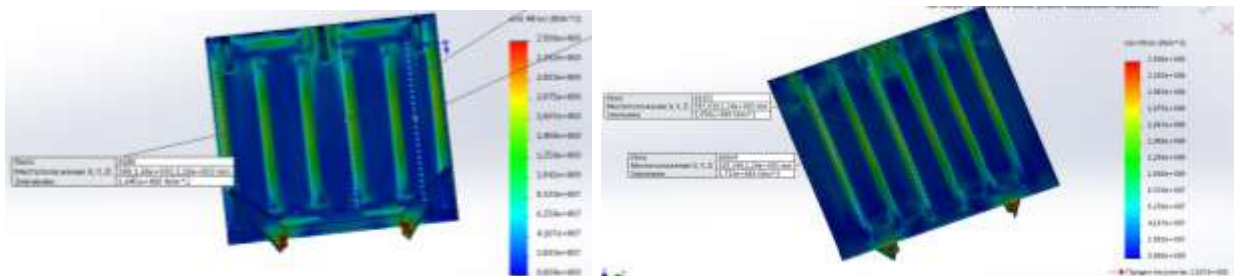
На рисунках 3.75 та 3.76 наведено картини отриманих напружено-деформованих станів.



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.74 – Інноваційна кришка люка з двох листів по 3 мм



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.75 – Показники міцності у різних точках інноваційної (з двох листів по 3 мм) кришки люка

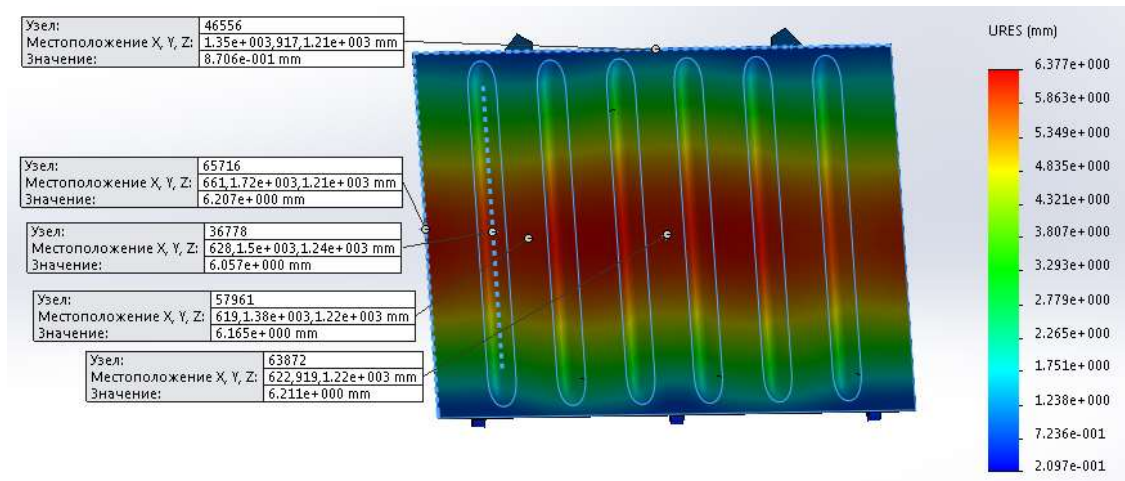
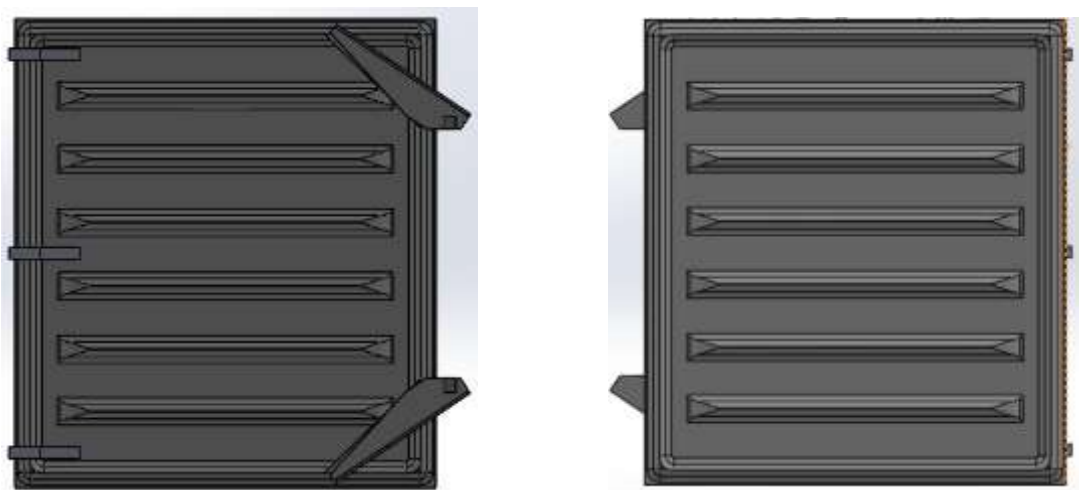


Рисунок 3.76 – Деформований стан точках інноваційної (з двох листів по 3 мм) кришки люка

Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 192,5 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у зоні розміщення кронштейнів запірних та складають 2,8 мм.

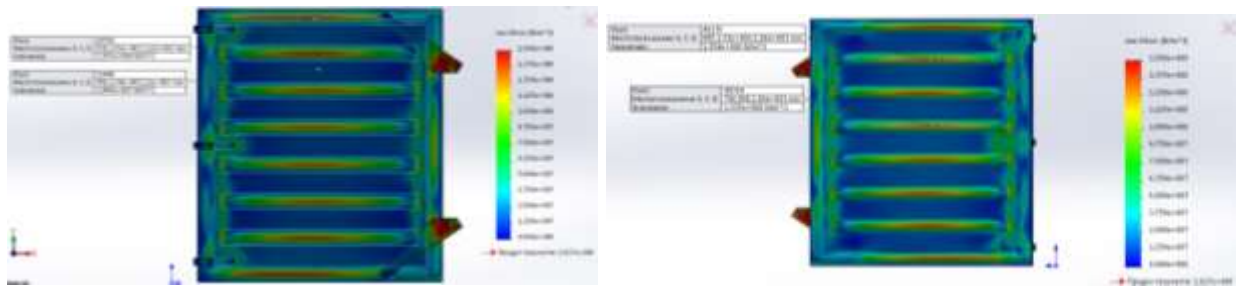
Наступним конструктивом стала також безкаркасне виконання кришки люка товщиною по 4 мм. Розроблена просторова модель та аналіз її напружено-деформованого стану показані на рисунках 3.77 – 3.79.



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.77 – Інноваційна без каркасна кришка люка з двох листів по 4 мм



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.78 – Показники міцності у різних точках кришки люка з двох листів по 4 мм

Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 182 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у зоні розміщення кронштейнів запірних та складають 2,6 мм.

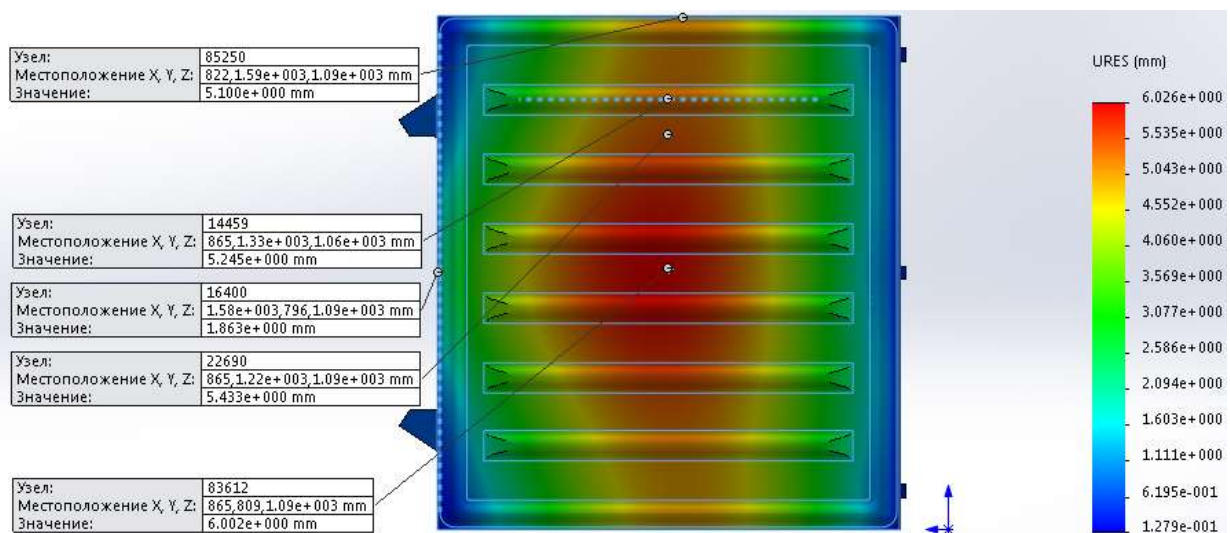
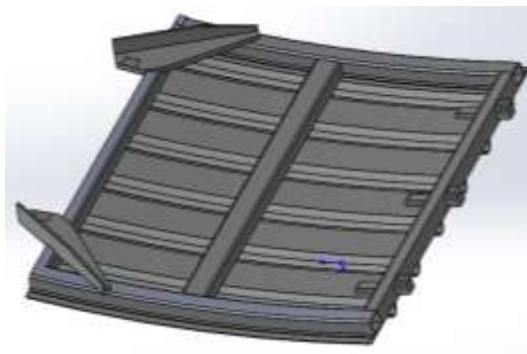


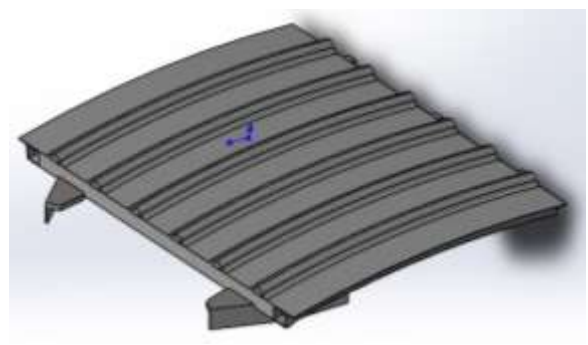
Рисунок 3.79 – Деформований стан кришки люка з двох листів по 4 мм

Отримані значення напружень та переміщень характеризуються нижчим рівнем ніж попередньо розглянута конструкція.

Наступна конструкція виконана із геометрично змінною конструкцією полотна, а саме вона є випуклою в сторону протидії вагі вантажу. Розроблена модель та відповідні напружено-деформовані стани представлені на рисунках 3.80 – 3.82 у різних положеннях.



а) вид знизу;

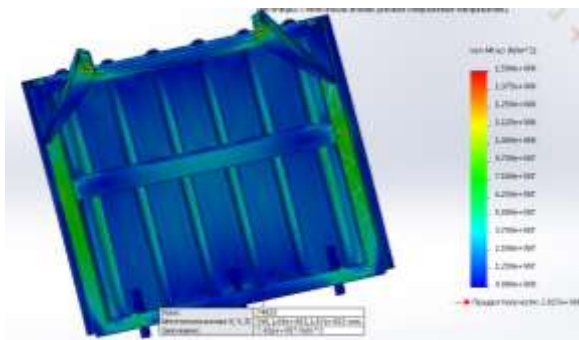


б) вид зверху

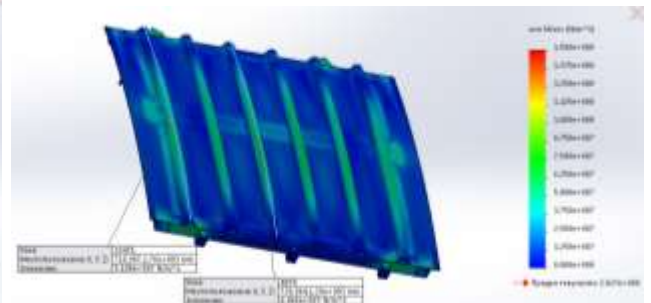


в) вид збоку

Рисунок 3.80 – Модель кришки люка із змінною конструкцією полотна (випуклою в сторону протидії вагі вантажу)



а) вид знизу;



б) вид зверху

Рисунок 3.81 – Показники міцності у різних точках кришки люка (випуклою в сторону протидії вагі вантажу)

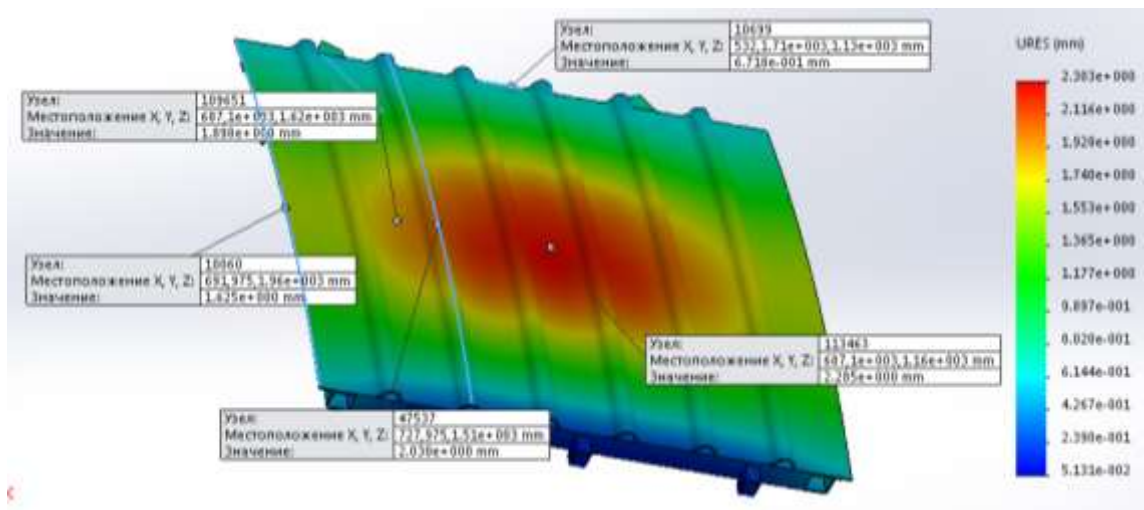
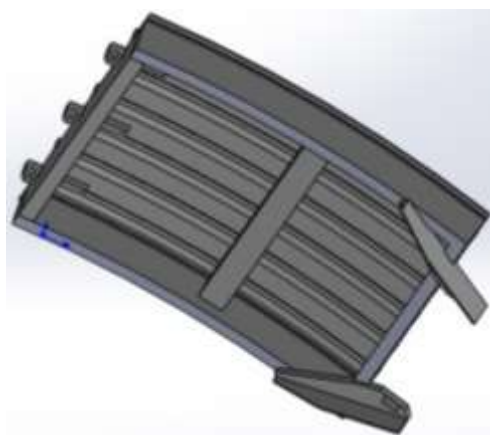


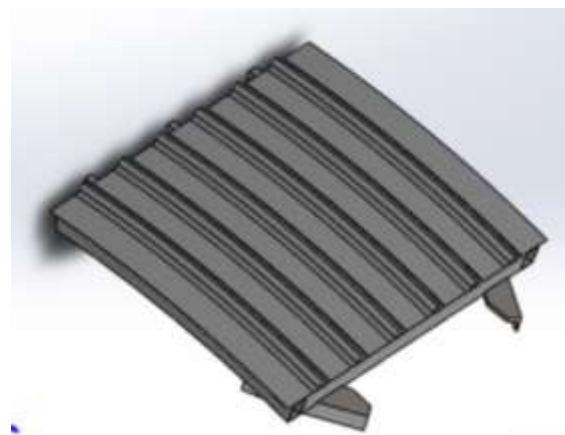
Рисунок 3.82 – Деформований стан представленої інноваційної кришки люка (випуклою в сторону протидії вагі вантажу)

Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 194 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у зоні розміщення кронштейнів запірних та складають 2,8 мм.

Наступною конструкцією було обрано також випукле полотно (вигин 100 мм), а також з обв'язуванням підвищеним до 130 мм з 70 мм, також в якості обв'язування використано лист товщиною 4 мм. Отримані просторова модель та напружено-деформовані стани в різних положеннях наведені на рисунках 3.83 - 3.85.

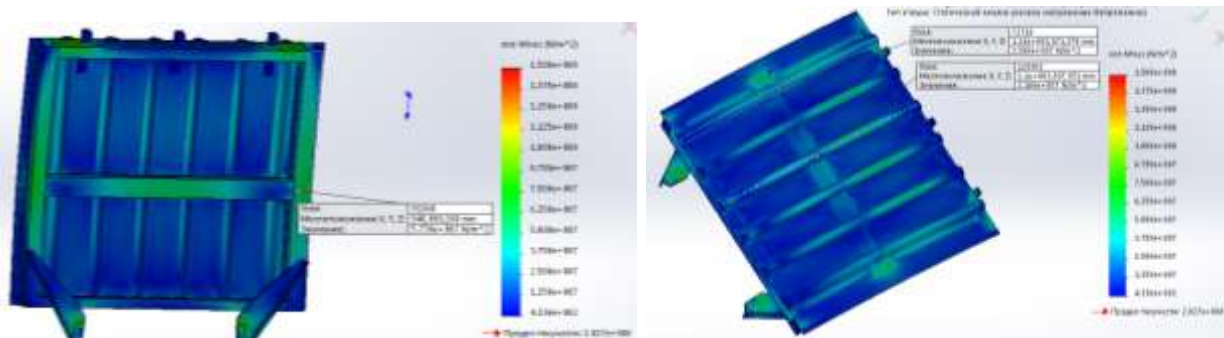


а) вид знизу;



б) вид зверху

Рисунок 3.83 – Модель кришки люка з випуклим полотном (вигин 100 мм)



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.84 – Показники міцності у різних точках інноваційної (вигин 100 мм) кришки люка, вид знизу

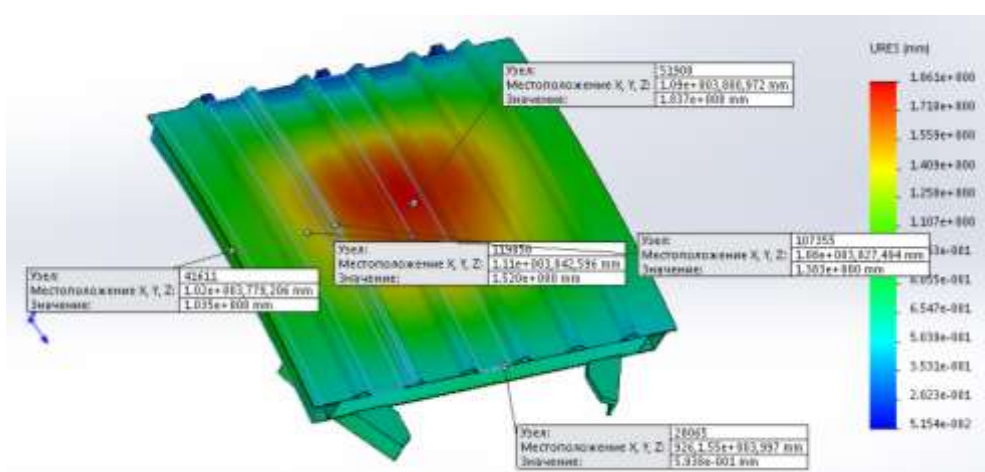


Рисунок 3.85 – Деформований стан точках інноваційної (вигин 100 мм) кришки люка

Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 184 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовані у зоні розміщення кронштейнів запірних та складають 2,6 мм.

### 3.24 Спосіб виготовлення кришки люка напіввагона з зчленованих листів

При дослідженні поставлена задача удосконалення способу виготовлення кришки люка напіввагона шляхом заміни процедури виготовлення обв'язок на

виготовлення гофрованого листа на профілезгинальному стані з моментом опору еквівалентному обв'язкам або кращим. Пропонується три варіанти вирішення задачі:

1. Вирішення поставленої задачі досягається тим, що у способі виготовлення кришки люка напіввагона, якій полягає в тому, що кришка люка (рисунок 3.86) збирається з гофрованого полотна, до якого кріпляться запірні кронштейни та петлі, при цьому гофроване полотно робиться з листа металу шляхом формування гофр на профілезгинальному стані, згідно запропонованого способу, до гофрованого полотна приєднується гофрований лист, при чому гофрований лист робиться з листа металу шляхом формування поперечних гофр на профілезгинальному стані.

2. Або вирішення поставленої задачі досягається тим, що у способі виготовлення кришки люка напіввагона за п.1., згідно запропонованого способу (рисунок 3.87), до гофрованого полотна приєднується гофрований лист, при чому гофрований лист робиться з листа металу шляхом формування поперечних гофр та гофр по периметру листа на профілезгинальному стані.

3. Або вирішення поставленої задачі досягається тим, що у способі виготовлення кришки люка напіввагона за п.1., згідно запропонованого способу (рисунок 3.88), до гофрованого полотна поєднується гофрований лист, при чому гофрований лист робиться з листа металу шляхом формування гофр по периметру та по діагоналі листа на профілезгинальному стані.

Перевагами технічного рішення, що пропонується, є зниження трудомісткості виготовлення кришки люка.

Суть технічного рішення доповнюється ілюстративним матеріалом на рисунках 3.86 – 3.88, де зображено кришки люка напіввагона, які містять гофроване полотно 1, до якого кріпляться запірні кронштейни 2, петлі 3 та гофрований лист 4.

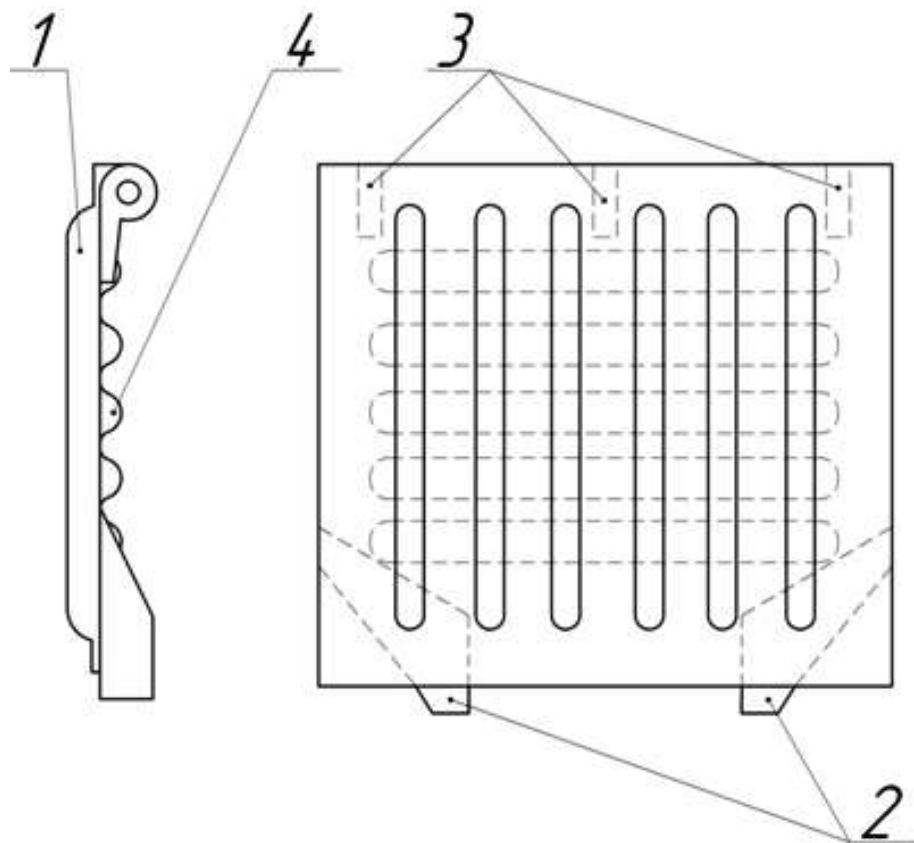


Рисунок 3.86 – Гофрований лист кришки люка робиться з листа металу шляхом формування поперечних гофр на профілезгинальному стані

Запропоноване технічне рішення працює наступним чином. Кришка люка напіввагона збирається з гофрованого полотна 1, до якого кріпляться запірні кронштейни 2, петлі 3 та гофрований лист 4, при цьому гофроване полотно 1 робиться з листа металу шляхом формування повздовжніх гофр на профілезгинальному стані, гофрований лист робиться з листа металу шляхом формування:

- поперечних гофр на профілезгинальному стані (рисунок 3.86) або:
- поперечних гофр та гофр по периметру листа на профілезгинальному стані (рисунок 3.87), або:
- гофр по периметру та по діагоналі листа на профілезгинальному стані (рисунок 3.88).

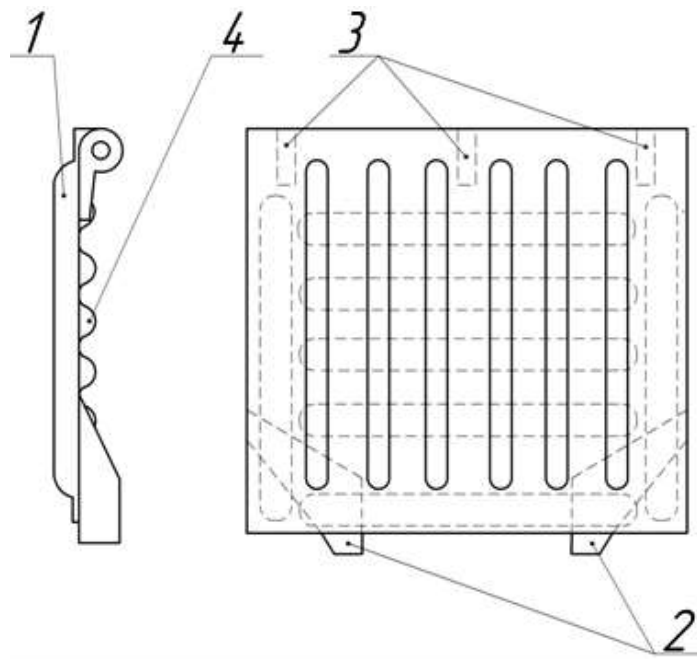


Рисунок 3.87 – Гофрований лист кришки люка робиться з листа металу шляхом формування поперечних гофр та гофр по периметру листа на профілезгинальному стані

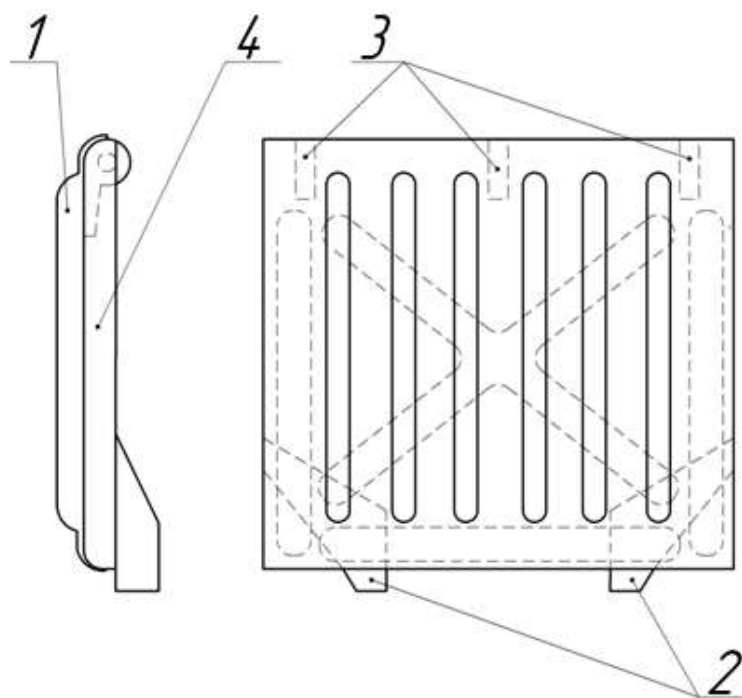


Рисунок 3.88 – Гофрований лист кришки люка робиться з листа металу шляхом формування гофр по периметру та по діагоналі листа на профілезгинальному стані

### **3.25 Спосіб виготовлення кришки люка напіввагона з обв'язкою з одного профілю сформованого шляхом згинання**

При дослідженні поставлена задача удосконалення способу виготовлення кришки люка напіввагона шляхом спрощення процедури формування обв'язок згинанням одного профілю. Вирішення поставленої задачі досягається тим, що у способі виготовлення кришки люка, якій полягає в тому, що кришка люка збирається з гофрованого полотна, до якого приварюється обв'язка, закріплюються запірні кронштейни та петлі, згідно запропонованого способу, обв'язка формується з одного профілю шляхом згинання. Перевагами технічного рішення, що пропонується є зниження трудомісткості виготовлення кришки люка та порашення її міцності.

Суть технічного рішення доповнюється ілюстративним матеріалом, де на рисунках 3.89 – 3.92 зображено кришки люків напіввагона, які містять гофроване полотно 1, до якого приварюється обв'язка 2, запірні кронштейни 3 та петлі 4. Запропоноване технічне рішення працює наступним чином. Кришка люка напіввагона збирається з гофрованого полотна 1, до якого приварюється обв'язка 2, запірні кронштейни 3, петлі 4, при цьому обв'язка 2 робиться з одного профілю шляхом згинання. На рисунках 3.89 – 3.92 показано декілька способів формування обв'язки 2:

- рисунок 3.89 – обв'язка 2 формується по контуру гофрованого полотна 1 та по одній з діагоналей гофрованого полотна 1;
- рисунок 3.90 – обв'язка 2 формується по контуру гофрованого полотна 1 та по діагоналям гофрованого полотна 1;
- рисунок 3.91 – обв'язка 2 формується по контуру гофрованого полотна 1 та зигзагами на гофрованому полотні 1;
- рисунок 3.92 – обв'язка 2 виконана у вигляді Ш-подібного профілю.

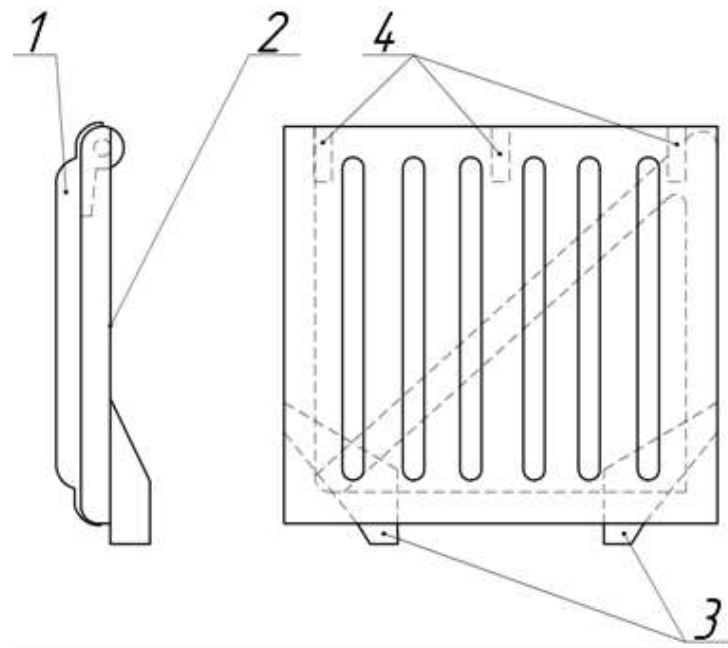


Рисунок 3.89 – Обв’язка кришки люка формується з одного профілю по контуру гофрованого полотна та по одній з діагоналей гофрованого полотна

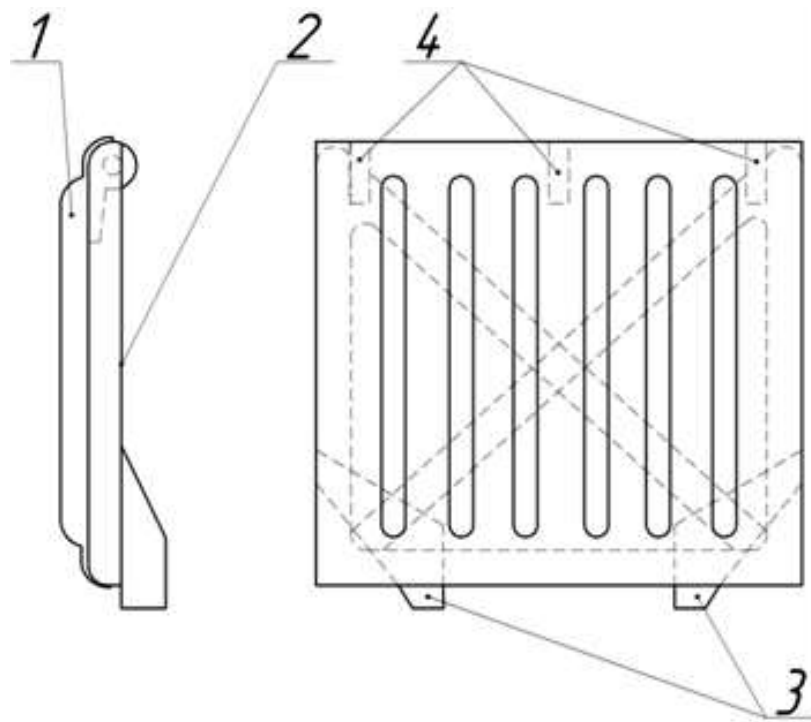


Рисунок 3.90 – Обв’язка кришки люка формується з одного профілю по контуру гофрованого полотна та по діагоналям гофрованого полотна

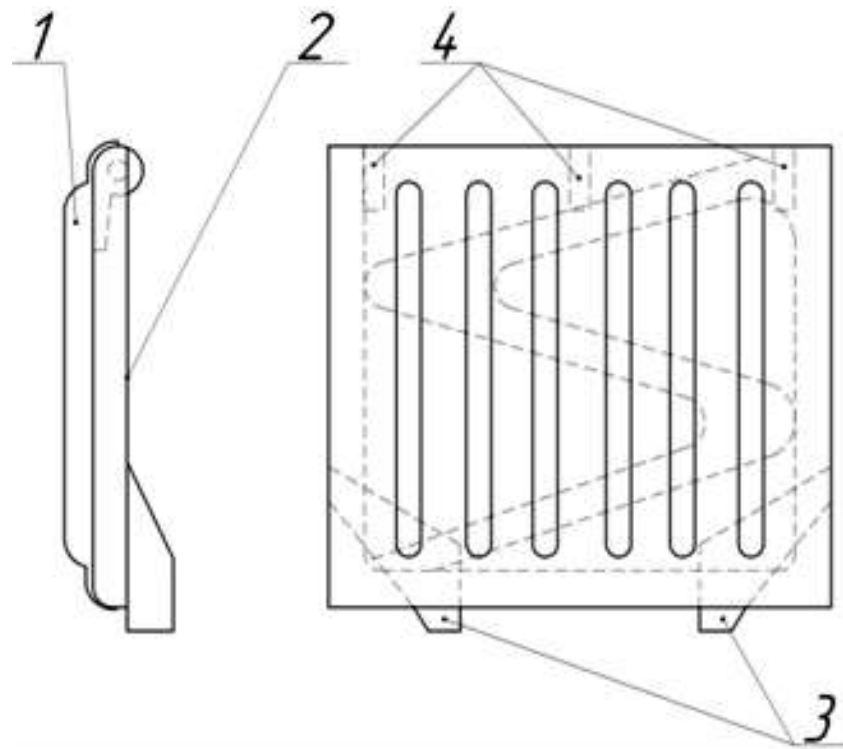
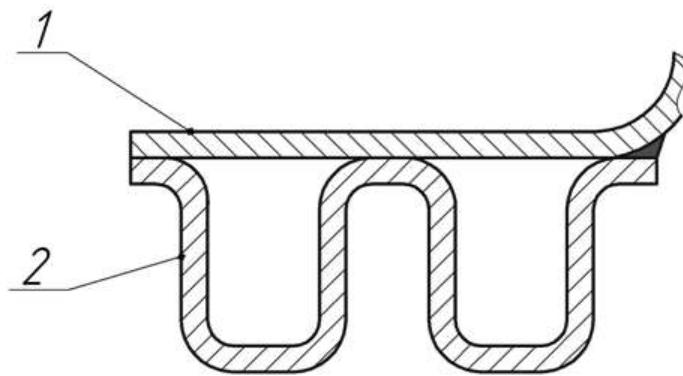
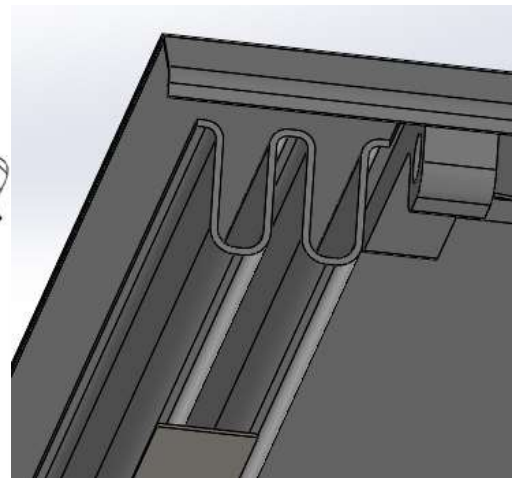


Рисунок 3.91 – Обв’язка кришки люка формується з одного профілю по контуру гофрованого полотна та зигзагами на гофрованому полотні



а) схематичне зображення



б) фрагмент 3D моделі

Рисунок 3.92 – Ш-подібний профіль обв’язки кришки люка

### 3.26 Спосіб зниження механічного зношення кришки люка напіввагона

При дослідженні поставлена задача створення способу зниження механічного зношення кришки люка напіввагона шляхом затримки вантажу на кришці люка таким чином, щоб вантаж, який зсипається (рисунок 3.93), терся об затриманий вантаж. Вирішення поставленої задачі досягається тим, що у способі зниження механічного зношення кришки люка напіввагона, згідно запропонованого способу, на полотно закріплюються панелі для затримки вантажу при зсипанні.



а)



б)

Рисунок 3.93 – Розвантаження напіввагонів

Перевагами технічного рішення, що пропонується, є зниження механічного зношення кришки люка напіввагона.

Суть технічного рішення доповнюється ілюстративним матеріалом (рисунок 3.94), де схематично зображено спосіб зниження механічного зношення кришки люка напіввагона. На рисунку представлено: 1 – полотно кришки люка, 2 – панелі для затримки вантажу при зсипанні, 3 – вантаж. Запропоноване технічне рішення працює наступним чином. На полотні 1 кришки люка закріплюються панелі 2 для затримки вантажу 3 при зсипанні, при чому панелі 2 закріплюються під зворотнім нахилом до напрямку руху вантажу 3. Вантаж 3, який зсипається, потрапляє на панелі 2 та, як наслідок, застрягає між панелями 2 та полотном 1. Наступний вантаж, що зсипається, третється об вантаж, що застряг між панелями 2 та полотном 1. Вантаж 3 третється об застряглий вантаж, практично механічно не зношуючи кришку люка напіввагона.

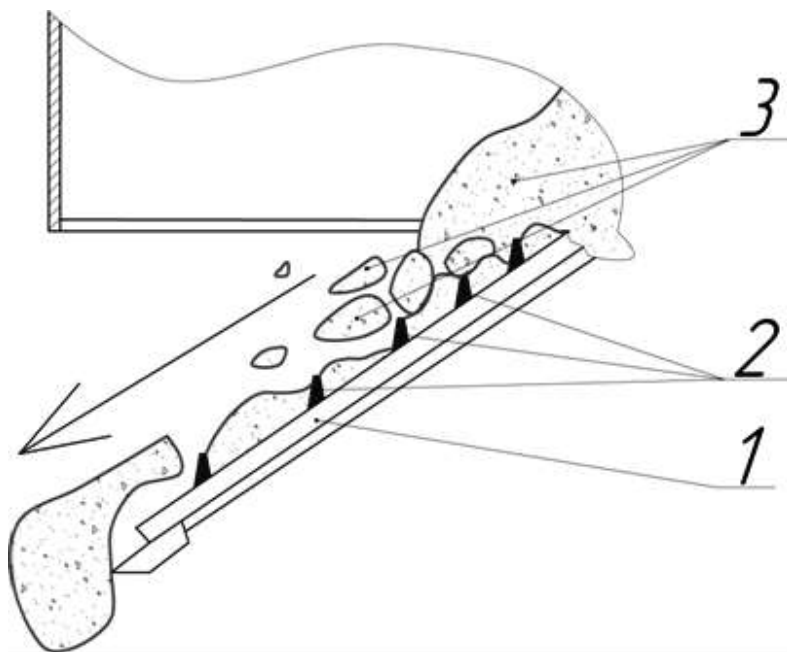


Рисунок 3.94 – Для пояснення зниження механічного зношення кришки люка напіввагона

### 3.27 Дослідження міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням при основних та додаткових експлуатаційних режимах навантаження

Конструктивне описання поліматеріального каркасного виконання кришки люка (рисунок 3.95) напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням зі стандартним кріпленням:

- полотно кришки люка виконується з верхнього та нижнього листів, простір між якими заповнений пружною (пружно-в'язкою) речовиною;

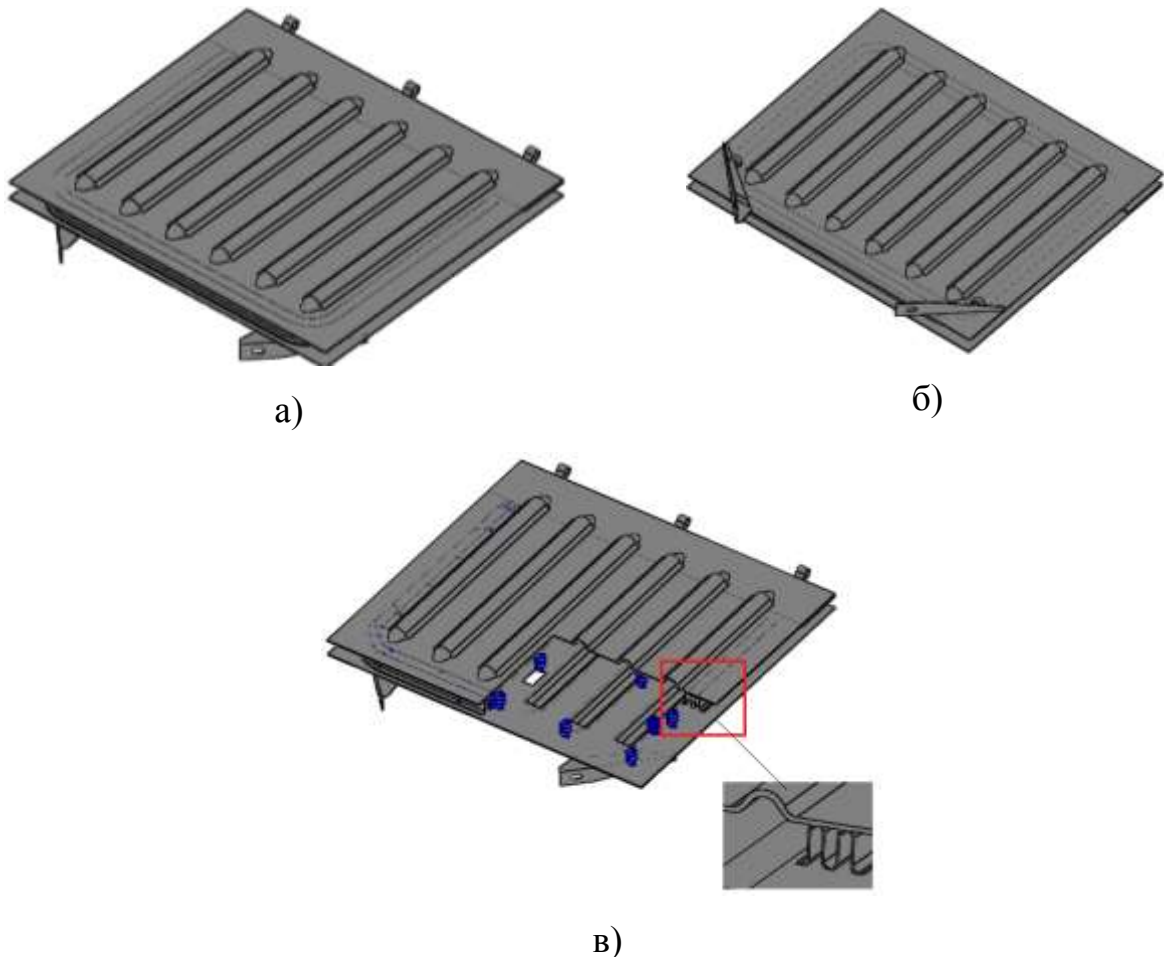


Рисунок 3.95 – Поліматеріальне каркасне виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням

а) вид знизу; б) вид зверху; в) розміщення пружного елемента у кришці люка

- верхній гофрований лист товщиною 2,5 мм;
- нижній гофрований лист 2,5 мм. Гофри нижнього листа відзеркалюють гофри верхнього листа на допустимих ділянках;
- обв'язування виконується Ш-подібним профілем гнутого з листа товщиною 5 мм заповненим пружною (пружно-в'язкою) речовиною по периметру кришки люка, а також в середній частині. Його висота адоптована для встановлення елементів стандартного кріплення до хребтової балки та нижнього обв'язування напіввагону;
- петлі кришки люка (елементи взаємодії з хребтовою балкою) кріпляться до кришки люка зварюванням (не заклепкове з'єднання);
- кронштейни кріплення до обв'язування нижнього стін бокових типової конструкції.

Визначення оптимальної жорсткості пружного елемента кришки люка. Для визначення оптимального значення жорсткості кришки люка напіввагона до уваги прийнятий випадок падіння вантажу масою 150 кг з висоти 3000 мм на неї. На підставі проведених багатоваріаційних розрахунків отримано графоаналітичну залежність (рисунок 3.96) з якої можна зробити висновок, що міцність кришки люка забезпечується при жорсткості пружного елемента у вертикальному напрямку  $18000 \text{ (Н/м)/м}^2$ .

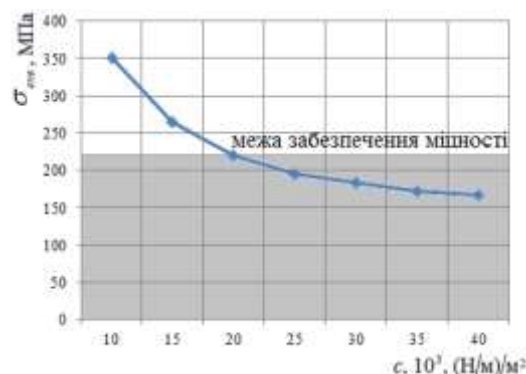


Рисунок 3.96 – Залежність максимальних еквівалентних напружень в поліматеріальному каркасному виконанні кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням від жорсткості пружного елемента, який розміщується в ній

Для дослідження міцності кришки люка при циклічних ударних навантаженнях, чисельне значення яких дорівнює 500, проведено комп'ютерне моделювання в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks. При цьому закріплення моделі відбувалося за вушка петель, а до кронштейнів запірних прикладалися реакції від дії ударного навантаження (рисунок 3.97). Крива втоми отримана на підставі модуля пружності сталі марки 09Г2С (рисунок 3.98).

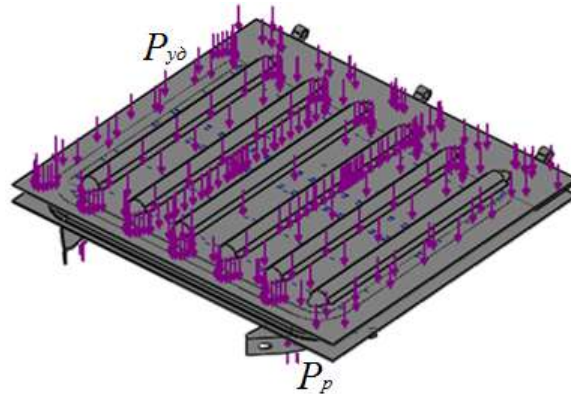


Рисунок 3.97 – Комп'ютерна модель міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням

$P_{уд}$  – ударне навантаження;  $P_p$  – реакція у кронштейні запірному на дію навантаження  $P_{уд}$

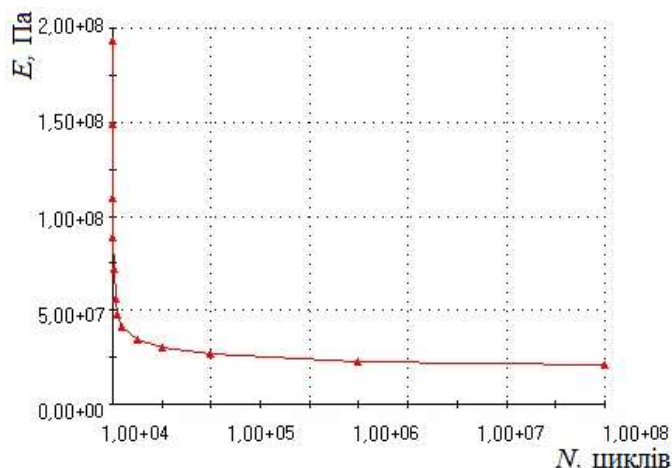
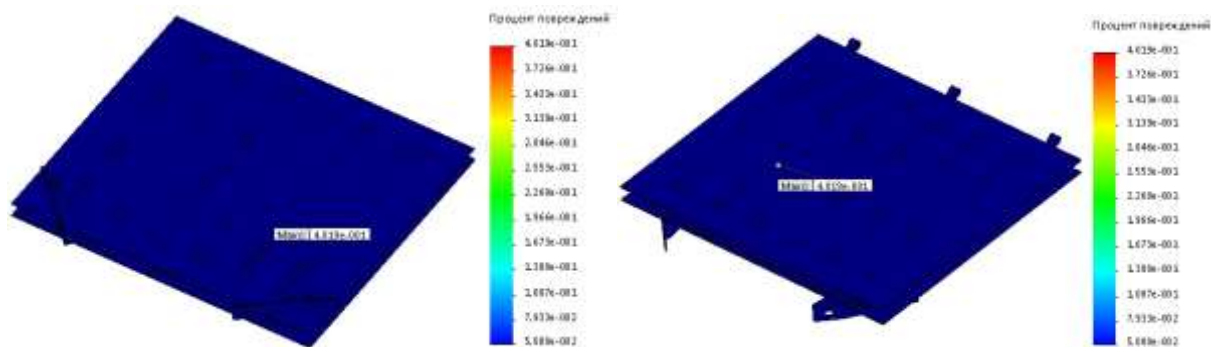


Рисунок 3.98 – Крива втоми металокопструкції поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням при дії циклічних навантажень на неї

Проведені розрахунки дозволили зробити висновок, що міцність кришки люка при заданій базі випробувань забезпечується (рисунок 3.99).



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.99 – Результати розрахунку поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням на циклічні ударні навантаження

Розрахункова модель міцності кришки люка наведена на рисунку 3.100. В якості розрахункового методу застосований метод скінчених елементів. Розрахунок проведений в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks. Закріплення моделі відбувалося за вушка петель. В моделі враховувалося, що кришка люка навантажена власною вагою. Матеріал конструкції – сталь марки 09Г2С.

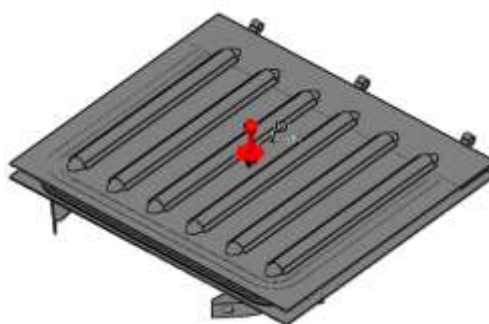
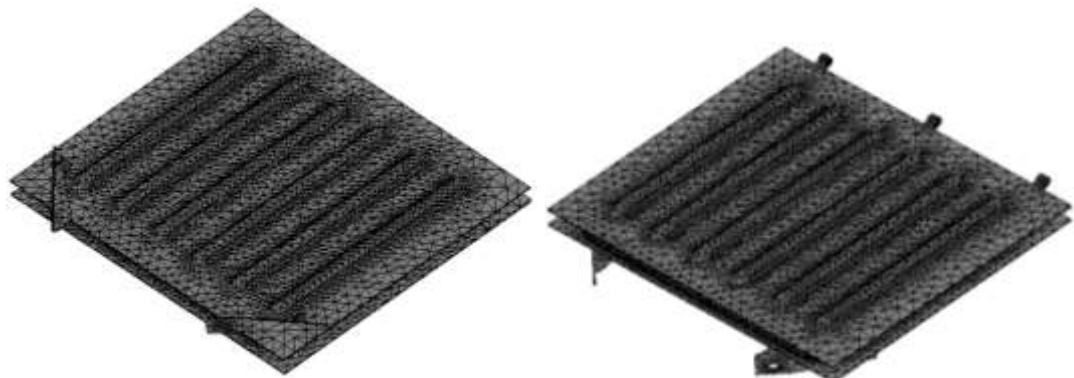


Рисунок 3.100 – Розрахункова модель міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням

$P_{уд}$  – ударне навантаження, яке діє на кришку люка при падінні на неї вантажу

Адекватна скінчено-елемента модель поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням наведено на рисунку 3.101. Оптимальна кількість елементів сітки визначена з використанням графоаналітичного методу. При цьому кількість елементів сітки склала 115171, вузлів – 36363. Максимальний розмір елемента сітки дорівнює 80 мм, мінімальний – 16 мм, максимальне співвідношення боків елементів –  $2,75 \cdot 10^5$ , відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 26, більше десяти – 5,81.

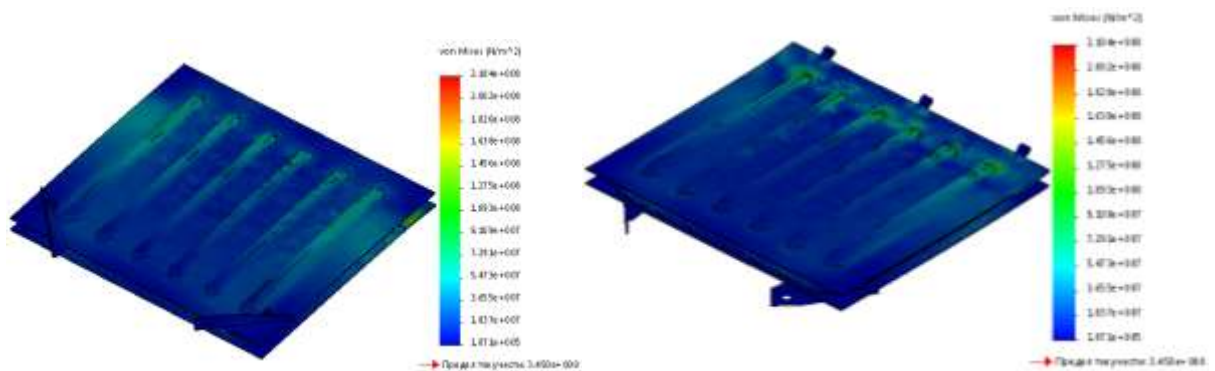


а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.101 – Скінчено-елементна модель поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням

Результати розрахунку наведені нижче.



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.102 – Напружений стан поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням



балки рами прикладалося до зони контакту кришки люка з ним. Розрахунок на міцність (результати на рисунках 3.106-3.108) проведений в статистиці.

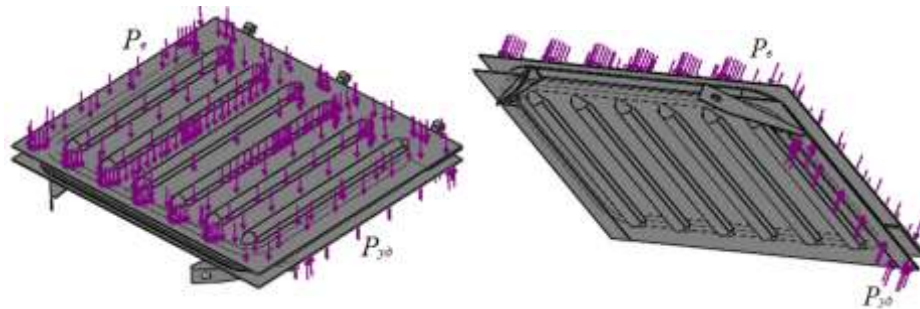
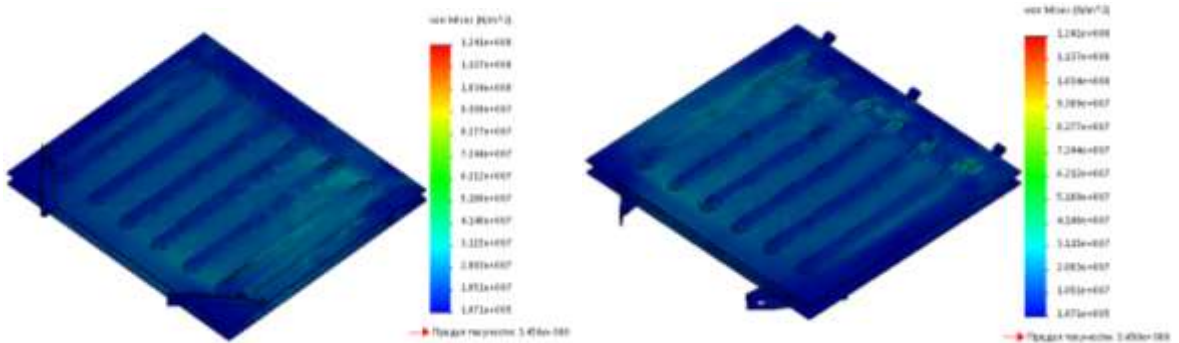


Рисунок 3.105 – Модель міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням

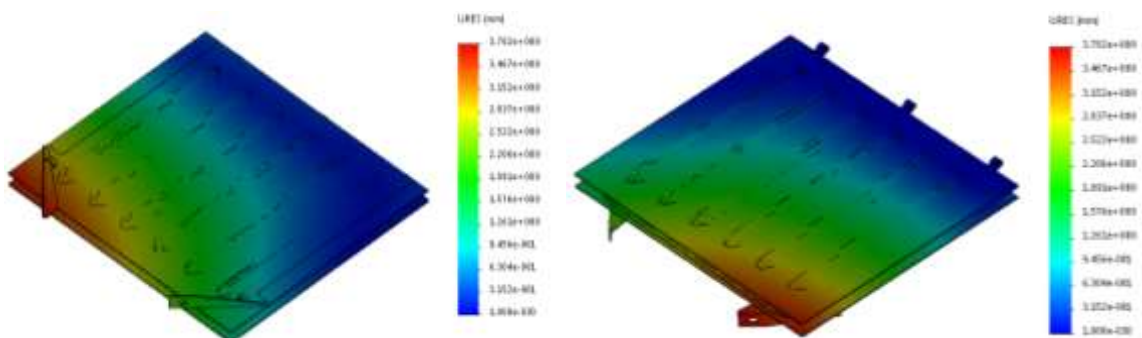
$P_v$  – вертикальне навантаження;  $P_{udo}$  – ударне навантаження.



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.106 – Напружений стан поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням

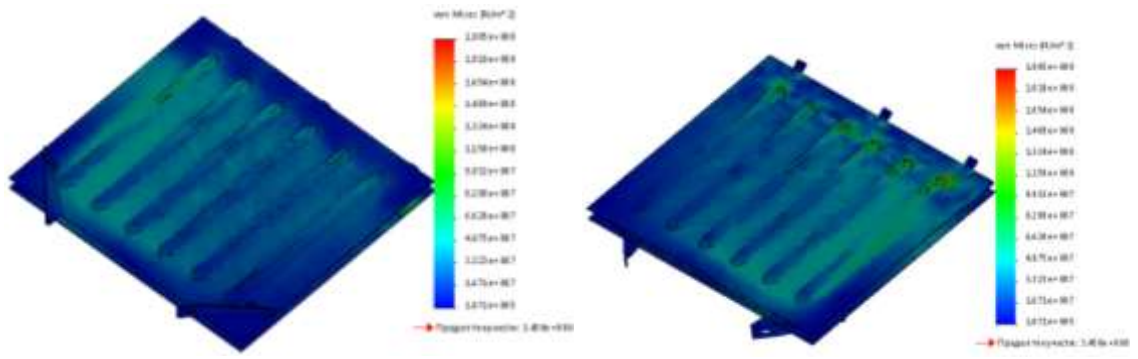


а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.107 – Переміщення в вузлах поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням

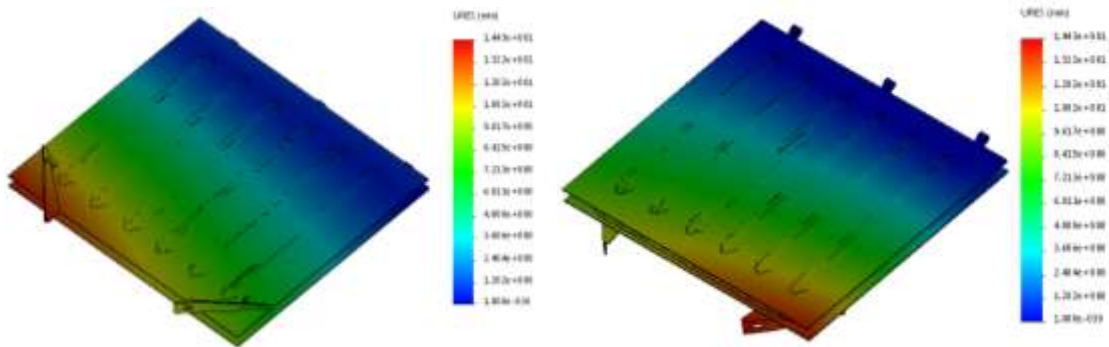




а) вид знизу;

б) вид зверху

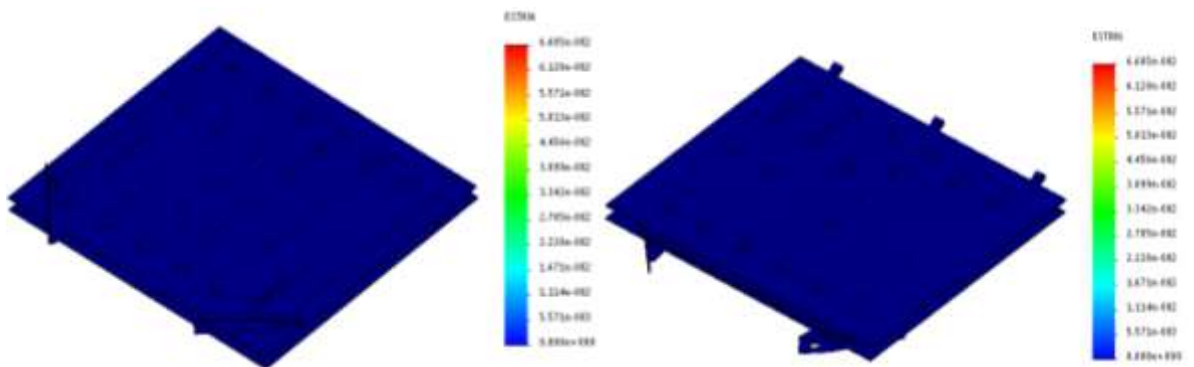
Рисунок 3.110 – Напружений стан поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.111 – Переміщення в вузлах поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.112– Деформації поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 73 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 1 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується.

Для випадку підтягування (закриття) кришки люка вивантаженого вагону ломиком модель міцності наведена на рисунку 3.113.

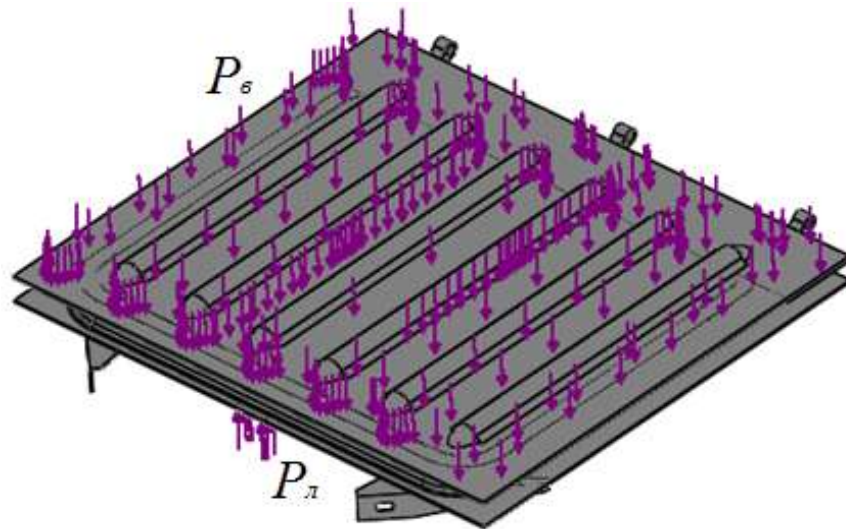
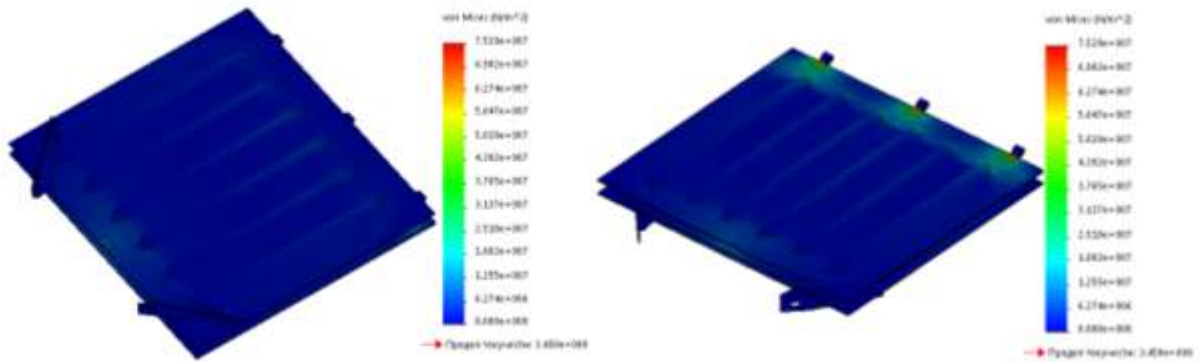


Рисунок 3.113 – Комп’ютерна модель міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням

$P_s$  – вертикальне навантаження від власної ваги кришки люка;

$P_l$  – навантаження, яке діє на кришку люка від підтягування ломиком

Закріплення моделі здійснювалося за вушка петель. Кришка люка навантажувалася власною вагою  $P_s$ . Навантаження від ломака  $P_l$  прикладалося по центру кінцевої частини кришки люка з боку розміщення кронштейнів запірних. Для прикладення навантаження  $P_l$  до кришки люка на ній встановлювалася накладка. Результати розрахунку на міцність представлені на рисунках 3.114-3.116.

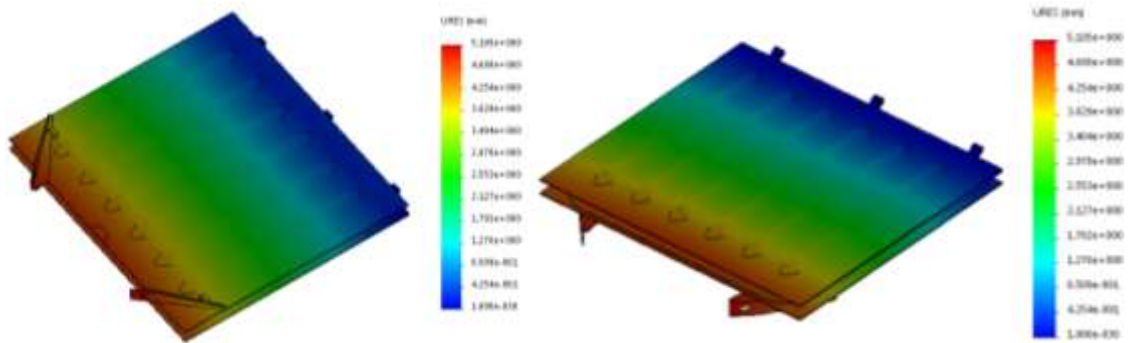


а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.114 – Напружений стан поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням

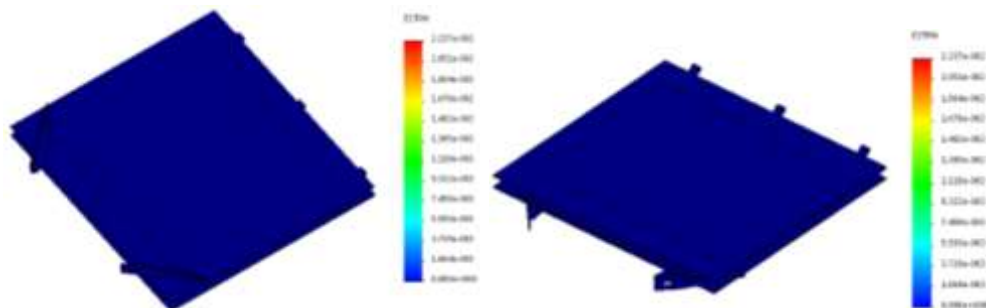
Результати розрахунку наведені нижче.



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.115 – Переміщення в вузлах поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.116 – Деформації поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв’язуванням

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 48,7 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 0,6 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновки, що з урахуванням заходів щодо удосконалення поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з міжлистовим Ш-подібним обв'язуванням її міцність при експлуатаційних режимах навантаження забезпечується. Тобто не перевищують допустимі.

### **3.28 Дослідження міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв'язуванням при основних та додаткових експлуатаційних режимах навантаження**

Конструктивне описання поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв'язуванням (рисунок 3.117):

- полотно кришки люка виконується з верхнього та нижнього листів, простір між якими заповнений пружною (пружно-в'язкою) речовиною;
- верхній гофрований лист товщиною 2,5 мм;
- нижній гофрований лист – 2,5 мм. Гофри відзеркалюють гофри верхнього листа на допустимих ділянках;
- за периметром верхній та нижній листи мають прямолінійну конфігурацію та взаємодіють між собою,
- жорсткості пружного елемента кришки люка у вертикальному напрямку складає не менше 20000 (Н/м)/м<sup>2</sup>;
- обв'язування виконується з Ш-подібного профілю (рисунок 3.117) гнутого з листа товщиною 5 мм заповненим пружною (пружно-в'язкою)

речовиною по периметру кришки люка, а також в середній частині. Його висота адаптована для встановлення елементів стандартного кріплення до хребтової балки та нижнього обв'язування напіввагону;

- петлі кришки люка (елементи взаємодії з хребтовою балкою) кріпляться до кришки люка зварюванням (не заклепкове з'єднання);

- кронштейни кріпляться до обв'язування нижнього стін бокових типової конструкції.

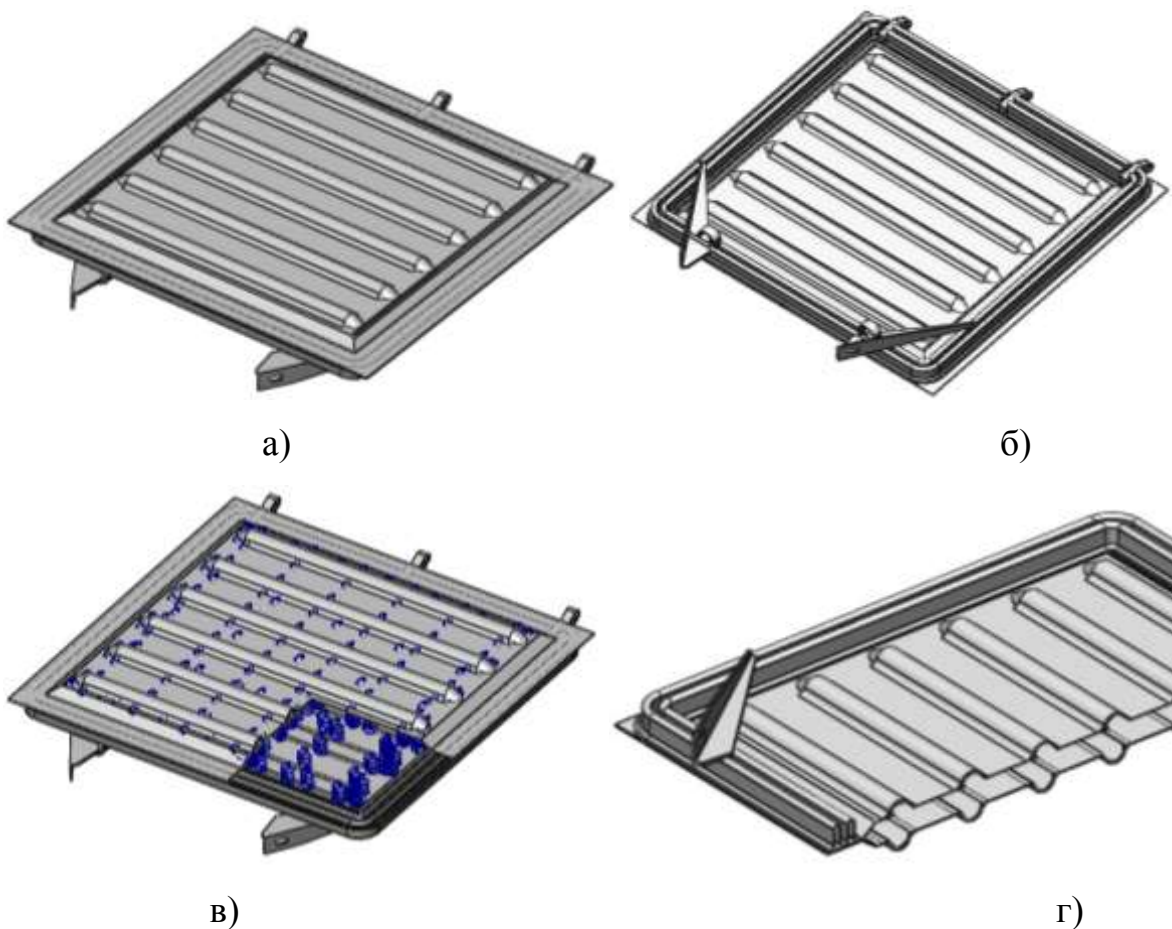
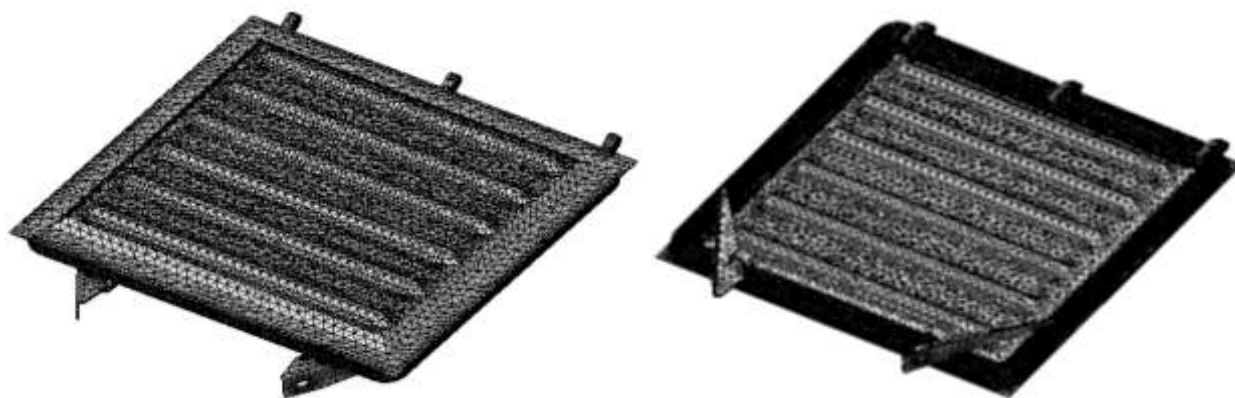


Рисунок 3.117 – Поліматеріальне каркасне виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв'язуванням

а) вид зверху; б) вид знизу; в) розміщення пружного елемента у кришці люка;  
г) поперечний переріз кришки люка

Для дослідження міцності кришки люка при експлуатаційних режимах навантаження проведемо розрахунок за методом скінчених елементів.

Скінчено-елементу модель кришки люка наведено на рисунку 3.118. Оптимальна кількість елементів сітки визначена з використанням графоаналітичного методу. При цьому кількість елементів сітки склала 236097, вузлів – 75025. Максимальний розмір елементу сітки дорівнює 40,78 мм, мінімальний – 8,16 мм, максимальне співвідношення боків елементів – 78582, відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 26,2, більше десяти – 12,8.



а) вид зверху;

б) вид знизу

Рисунок 3.118 – Скінчено-елементна модель поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв'язуванням

Визначення показників міцності кришки люка при дії на неї динамічних навантажень. Для дослідження міцності кришки люка при циклічних ударних навантаженнях, чисельне значення яких дорівнює 500, проведено комп'ютерне моделювання в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks.

При цьому закріплення моделі відбувалося за вушка петель, а до кронштейнів запірних прикладалися реакції від дії ударного навантаження (рисунок 3.119).

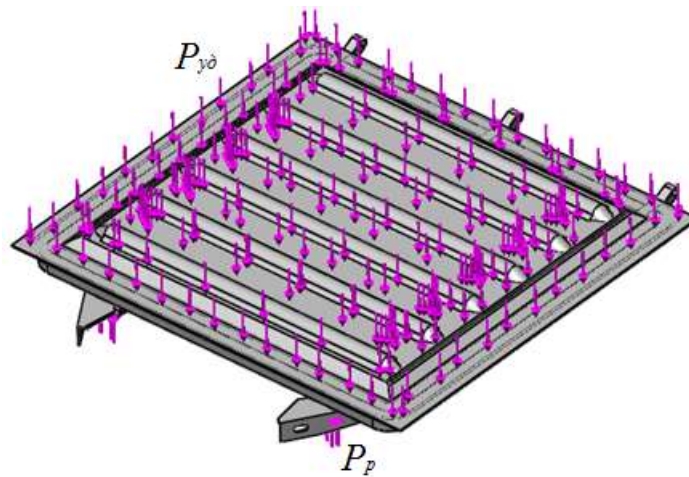


Рисунок 3.119 – Комп’ютерна модель міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням

$P_{уд}$  – ударне навантаження;  $P_p$  – реакція у кронштейні закріпленому на дію навантаження  $P_{уд}$

Крива втоми отримана на підставі модуля пружності сталі марки 09Г2С (рисунок 3.120).

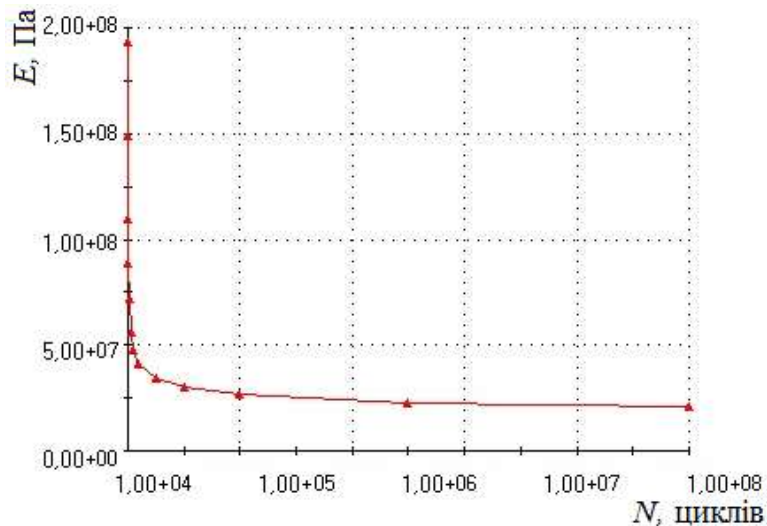
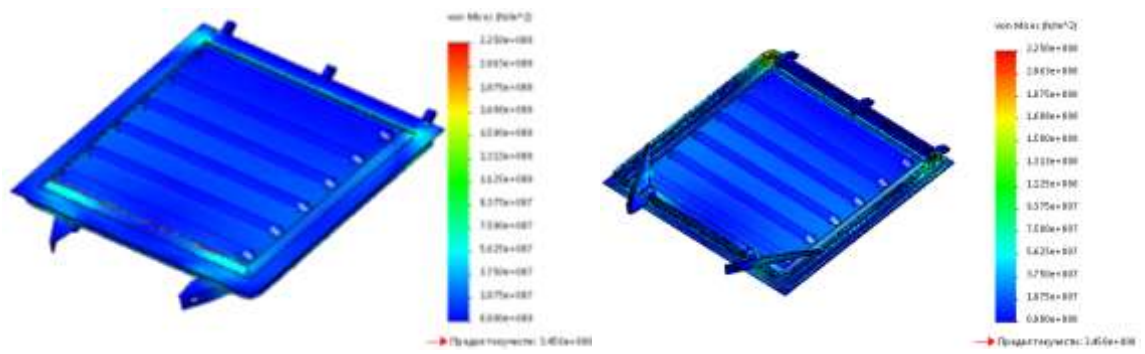


Рисунок 3.120 – Крива втоми металоконструкції поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням при дії циклічних навантажень на неї

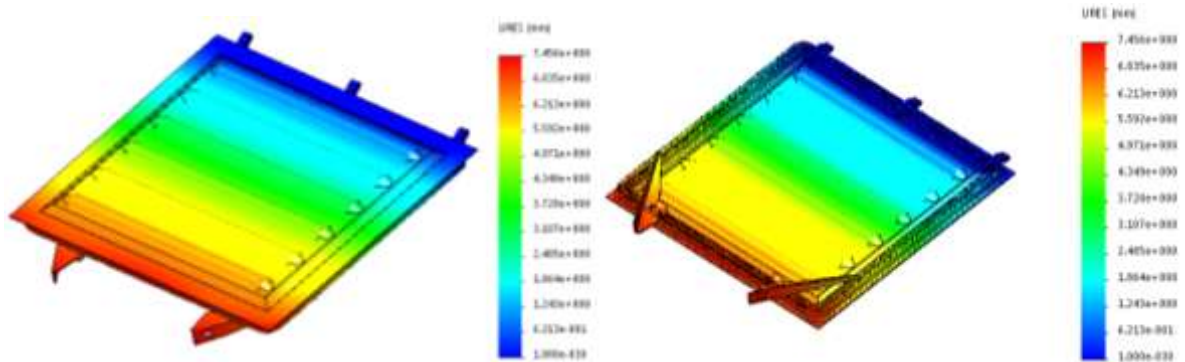




а) вид зверху;

б) вид знизу

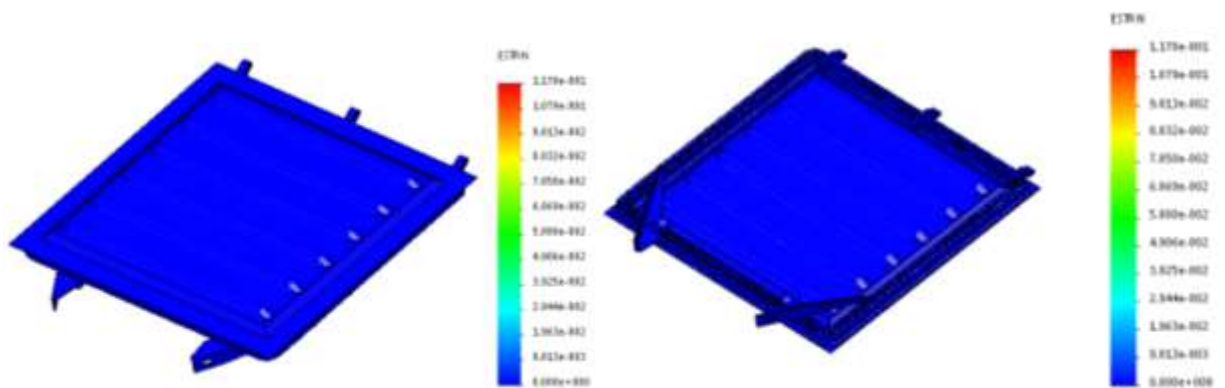
Рисунок 3.123 – Напружений стан поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням



а) вид зверху;

б) вид знизу

Рисунок 3.124 – Переміщення в вузлах поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням



а) вид зверху;

б) вид знизу

Рисунок 3.125 – Деформації поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 176 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 2,55 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується. Окрім основних схем навантажень кришки люка в експлуатації до уваги прийняті додаткові, які зазначені вище. Модель міцності кришки люка при її безторсійному неодноразовому ударі по упорах проміжних балок рами вагону наведена на рисунку 3.126. Розрахунок на міцність проведений в статичі. При цьому закріплення кришки люка здійснювалося за петлі, вертикальне навантаження прийняте рівним  $P_g = 69,6$  кН, навантаження від удару  $P_{y0}$  по упору проміжної балки рами прикладалося до зони контакту кришки люка з ним. Результати розрахунку на міцність представлені на рисунках 3.127-3.129.

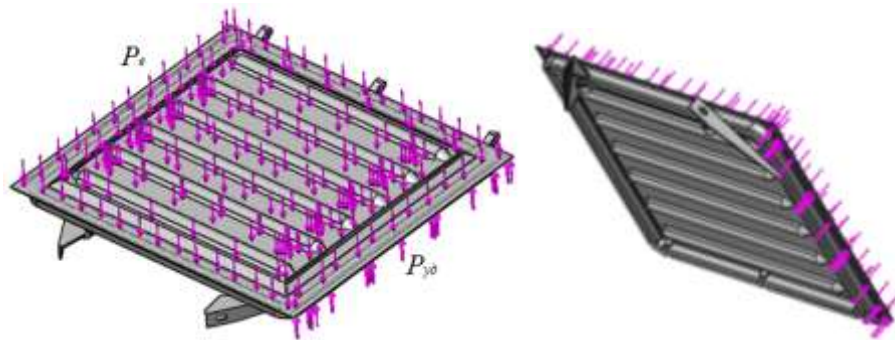
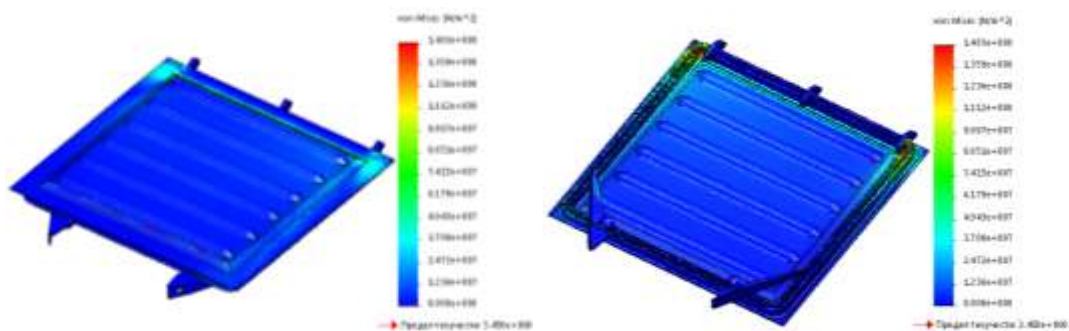


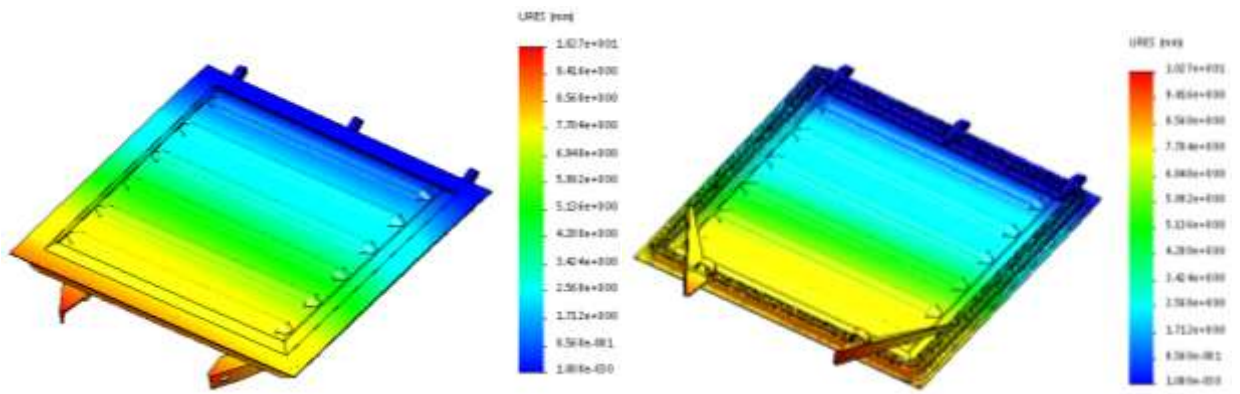
Рисунок 3.126 – Модель міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням



а) вид зверху;

б) вид знизу

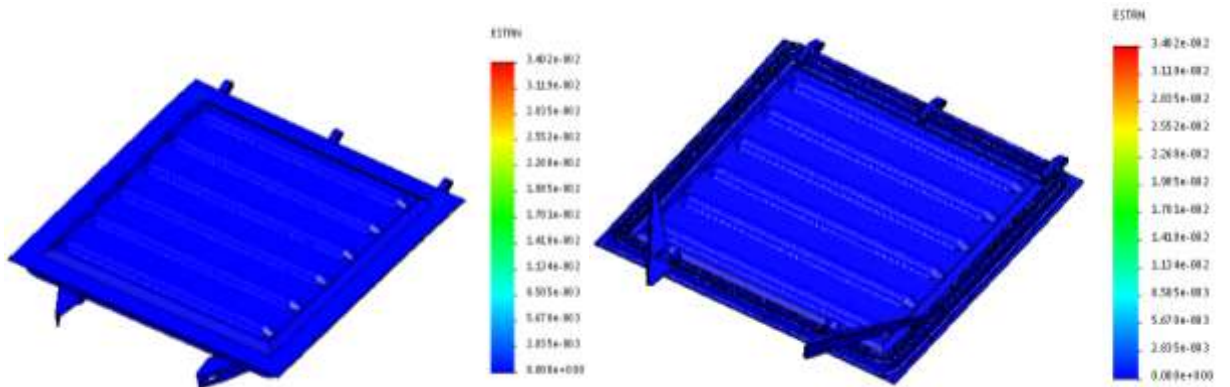
Рисунок 3.127 – Напружений стан поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням



а) вид зверху;

б) вид знизу

Рисунок 3.128 – Переміщення в вузлах поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням



а) вид зверху;

б) вид знизу

Рисунок 3.129 – Деформації поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 183 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 2,7 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується.

Модель міцності кришки люка при неодноразовому відкриванні закидок (обпирання кришки люка завантаженого вагону на одну закидку за один кронштейн) наведена на рисунку 3.130.

Закріплення моделі здійснювалося за петлі. Вертикальне навантаження прийняте рівним  $P_e = 69,6$  кН, реакція  $P_p$  у кронштейні на дію вертикального навантаження  $P_e$  прикладалося до кронштейна зафіксованого за зоною контакту його з закидкою зафіксованого пристрою. Результати розрахунку на міцність представлені на рисунках 3.131-3.133.

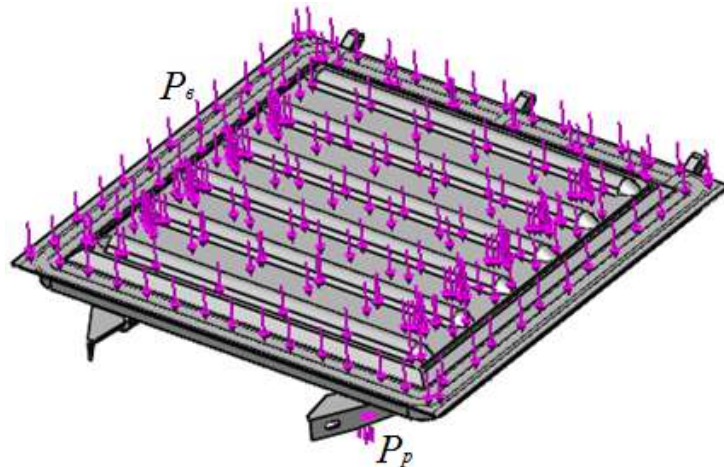
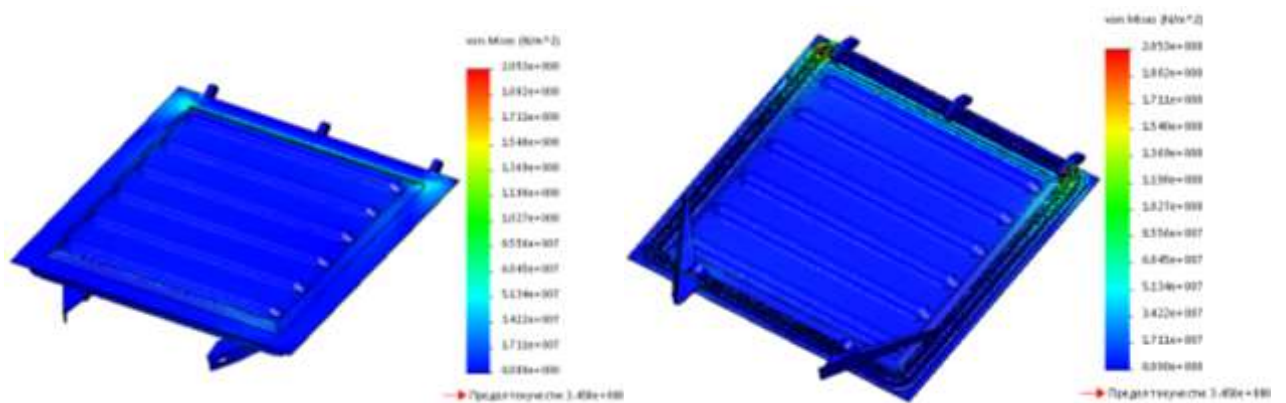


Рисунок 3.130 – Комп’ютерна модель міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням

$P_e$ – вертикальне навантаження;  $P_p$ – реакція у кронштейні зафіксованому на дію навантаження  $P_e$



а) вид зверху;

б) вид знизу

Рисунок 3.131 – Напружений стан поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням

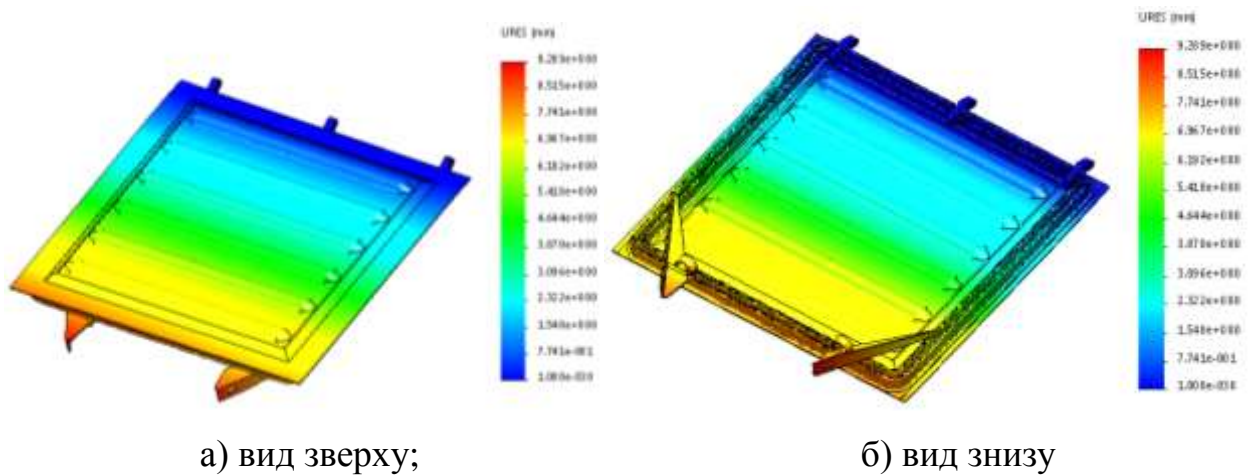


Рисунок 3.132 – Переміщення в вузлах поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням

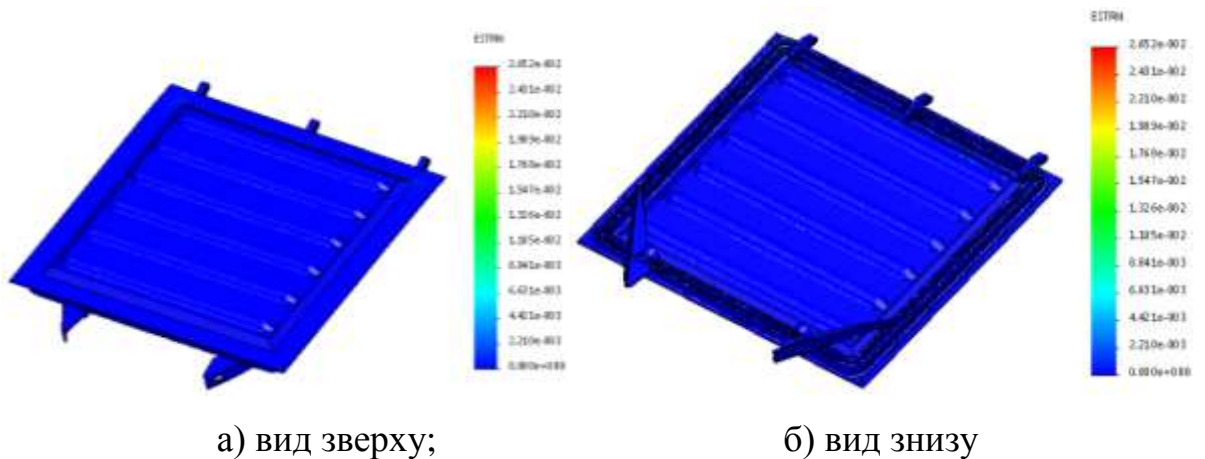


Рисунок 3.133 – Деформації поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 76,7 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 1,1 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується.

Для випадку підтягування (закриття) кришки люка вивантаженого вагону ломиком модель міцності наведена на рисунку 3.134.

Закріплення моделі здійснювалося за вушка петель. Кришка люка навантажувалася власною вагою  $P_g$ . Навантаження від ломака  $P_d$  прикладалося

по центру кінцевої частини кришки люка з боку розміщення кронштейнів запірних. Для прикладення навантаження  $P_d$  до кришки люка на ній встановлювалася накладка.

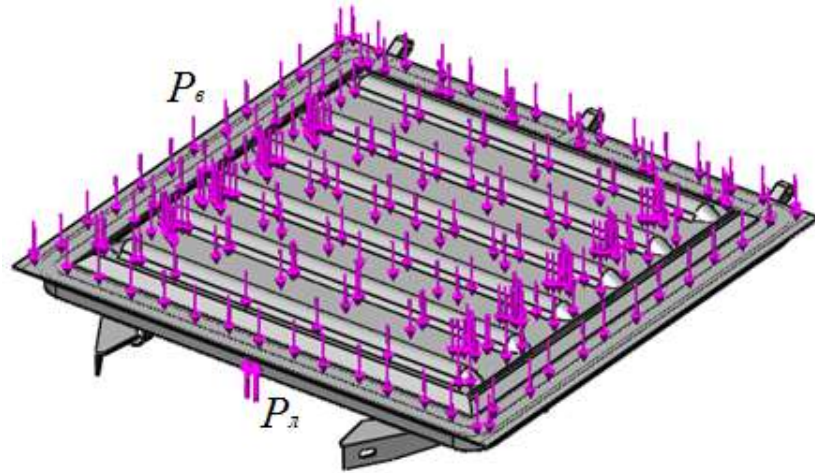


Рисунок 3.134 – Комп’ютерна модель міцності поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням

$P_e$  – вертикальне навантаження від власної ваги кришки люка;  $P_d$  – навантаження, яке діє на кришку люка від підтягування ломиком

Результати розрахунку наведені нижче.

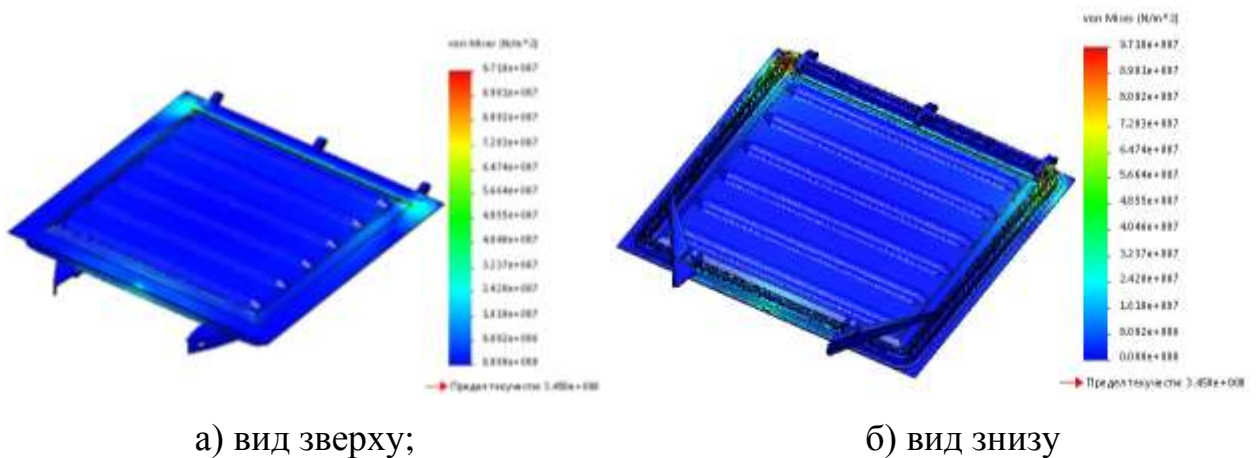
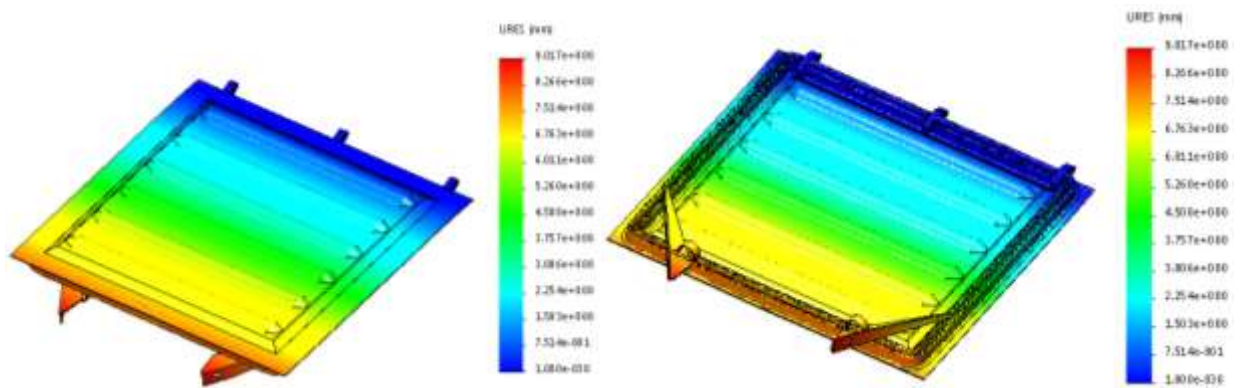


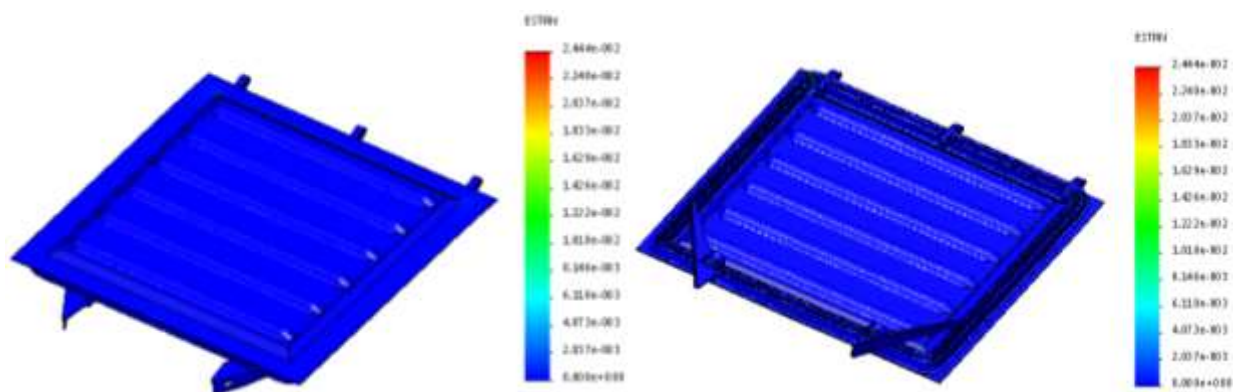
Рисунок 3.135 – Напружений стан поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням



а) вид зверху;

б) вид знизу

Рисунок 3.136 – Переміщення в вузлах поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням



а) вид зверху; б) вид знизу

Рисунок 3.137 – Деформації поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 51 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 0,7 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновки, що з урахуванням заходів щодо поліматеріального каркасного виконання кришки люка напіввагона з поверхлистовим Ш-подібним обв’язуванням її міцність при експлуатаційних режимах навантаження забезпечується. Тобто не перевищують допустимі.

### 3.29 Дослідження міцності попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона при основних та додаткових експлуатаційних режимах навантаження

Для забезпечення міцності кришки люка універсального напіввагона при експлуатаційних режимах навантаження пропонується виконувати обшивку з гладкого листа. Для забезпечення достатньої міцності обшивки при дії ударних навантажень лист має випуклу конфігурацію, тобто попередню завантаженість, а обв'язування кришки люка заповнене в'язким елементом з демпфуючими властивостями.

Було запропоновано декілька основних виконань попередньо навантажених конструкцій кришки люка, які зображені на рисунку 3.138 а-в.

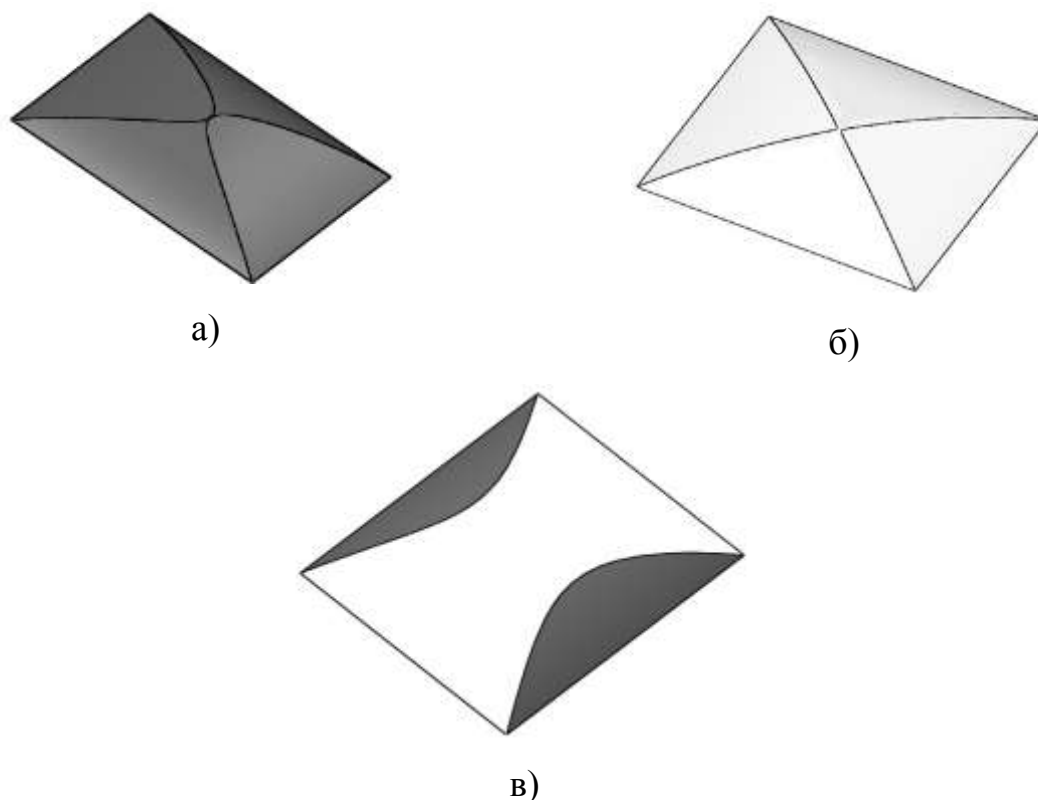


Рисунок 3.138 – Варіанти створення попереднього навантаження кришок люків

Для визначення оптимальної товщини та радіуса листа обшивки кришки люка вона розглядалася як сферична оболонка, деякого радіуса.

Тоді, формула Лапласа для визначення напружень матиме вигляд:

$$\sigma_{екв} = \frac{P \cdot R}{2t}, \quad (3.36)$$

де  $R$  – радіус оболонки, м;

$P$  – величина тиску, який діє на оболонку, МПа;

$t$  – товщина оболонки, м.

Розрахунок проведений для найбільш несприятливого режиму навантаження – падіння на кришку люка вантажу масою 150 кг з висоти 3000 мм.

Для визначення величини тиску на шаровий сегмент скористаємося формулою:

$$P = \frac{m \cdot g \cdot h_{II}}{V}, \quad (3.37)$$

де  $m$  – маса вантажу, який падає на кришку люка при ударі, МН;

$h_{II}$  – висота падіння вантажу на кришку люка, м;

$V$  – об'єм шарового сегменту (поверхні кришки люка), м<sup>3</sup>.

Об'єм шарового сегменту (рисунок 3.67) визначається:

$$V = \pi \cdot h^2 \left( R - \frac{1}{3}h \right), \quad (3.38)$$

де  $h$  – довжина перпендикуляра від центра основи до перетину з поверхнею шара, м.

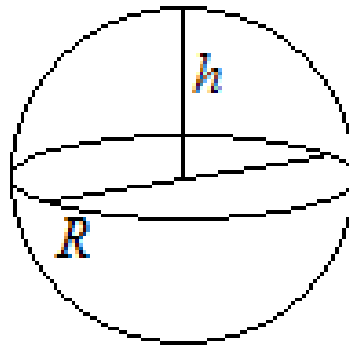


Рисунок 3.139 – Шаровий сегмент

Тоді, з урахуванням допустимих напружень на кришку люка  $[\sigma_{екв}] = 220$  МПа можна записати:

$$[\sigma_{екв}] = \frac{\frac{m \cdot g \cdot h_{II}}{\pi \cdot h^2 \left( R - \frac{1}{3}h \right)} \cdot R}{2t}, \quad (3.39)$$

Звідси,

$$R = \frac{\frac{2}{3}\pi \cdot h^3 \cdot \sigma \cdot t}{2\pi \cdot h^2 \cdot \sigma \cdot t - m \cdot g \cdot h_{II}}. \quad (3.40)$$

З урахуванням цього побудовано залежність товщини листа кришки люка від її радіуса (рисунок 3.140). З рисунка видно, що товщина листа кришки люка має лінійну залежність від її радіуса.

При розрахунках до уваги приймалося припущення, що оболонка має круглу основу. Для можливості прийняття такого припущення проведемо розрахунок на міцність кришки люка. При цьому товщину листа приймаємо 2,5 мм.

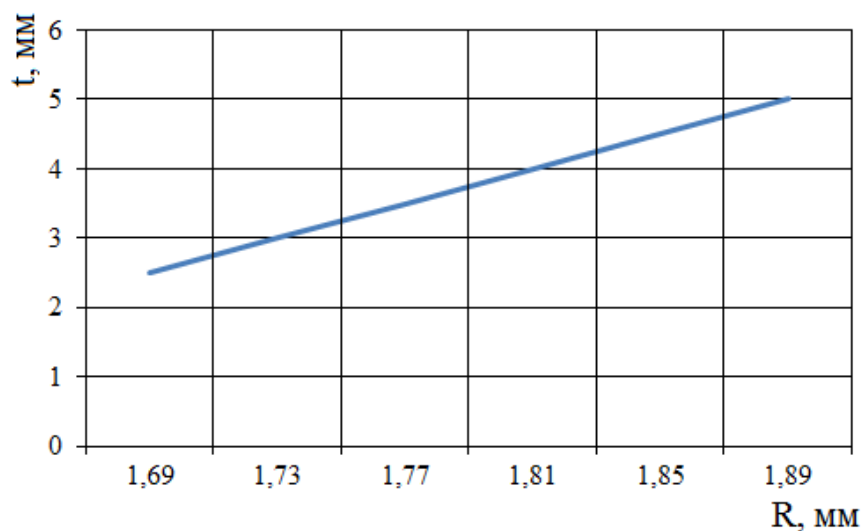


Рисунок 3.140 – Залежність товщини листа кришки люка від її радіуса

З метою моделювання міцності попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона побудовано просторову модель в середовищі програмного забезпечення SolidWorks (рисунок 3.141).

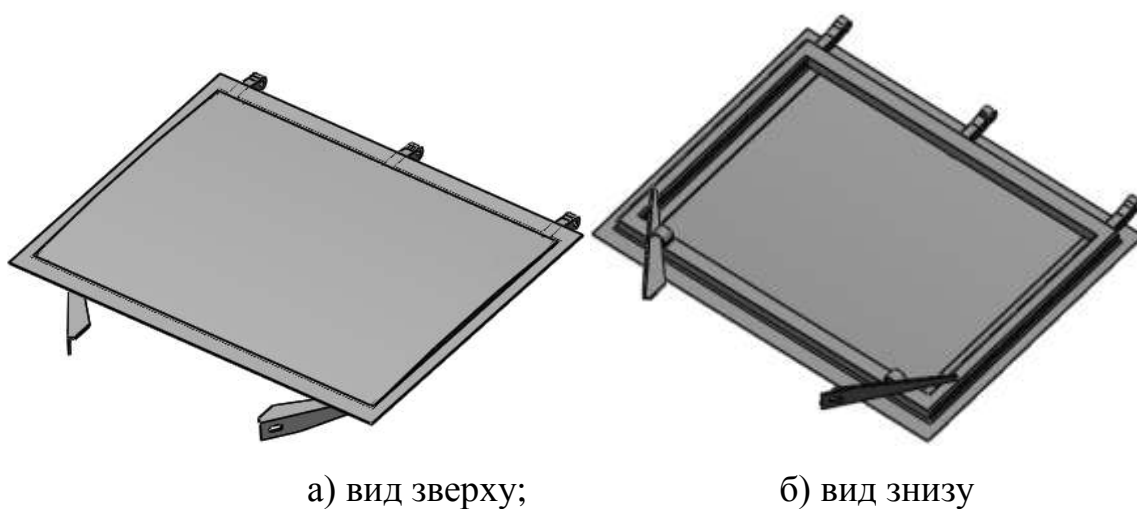


Рисунок 3.141 – Комп'ютерна візуалізація попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

На першопочатковому етапі дослідження розрахунок проведений для випадку падіння на кришку люка вантажу масою 150 кг з висоти 3000 мм. Розрахунок проведений в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks з використанням методу скінчених елементів.

Для урахування попередньої навантаженості обшивки кришки люка встановлювався пружний зв'язок між нею та допоміжною площиною, яка використовувалася для встановлення пружних елементів (рисунок 3.142). Пружні елементи попередньо знаходяться під тиском  $120000 \text{ Н/м}^2$ . Величина тиску обрана виходячи з умови забезпечення міцності кришки люка при даному режимі навантаження.

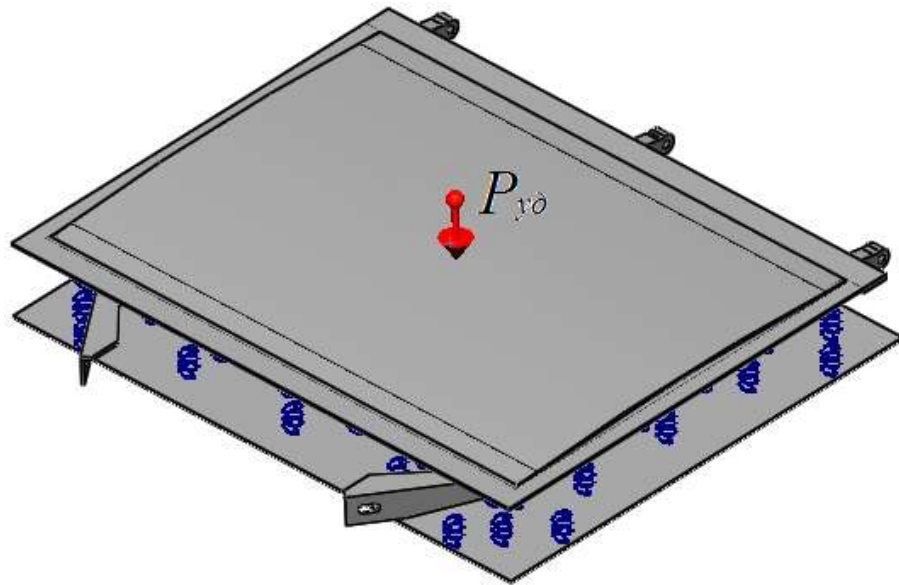


Рисунок 3.142 – Модель міцності попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

В якості скінчених елементів використовувалися ізопараметричні тетраедри. Оптимальна кількість елементів сітки визначена з використанням графоаналітичного методу. Скінчено-елементна модель кришки люка наведена на рисунку 3.143. При цьому кількість елементів сітки склала 56770, вузлів – 17401. Максимальний розмір елементу сітки дорівнює 49 мм, мінімальний – 9,8 мм, максимальне співвідношення боків елементів – 411,32 відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 70,7, більше десяти – 4,2.

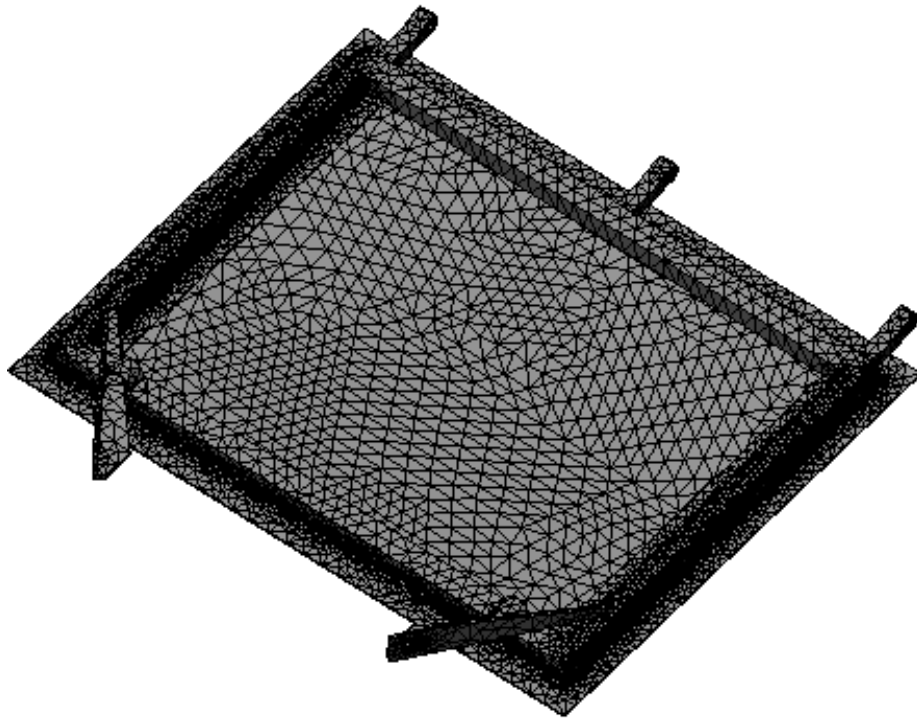


Рисунок 3.143 – Скінчено-елементна модель попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона (вид знизу)

Результати розрахунку наведені нижче. Проведені розрахунки показали, що міцність удосконаленої конструкції кришки люка при завданій схемі навантаження забезпечується.

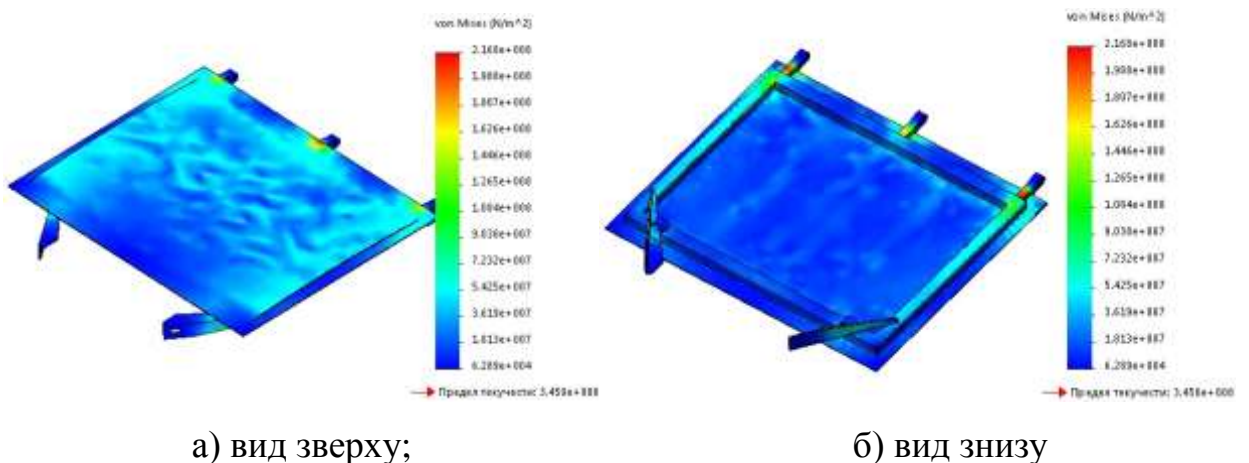
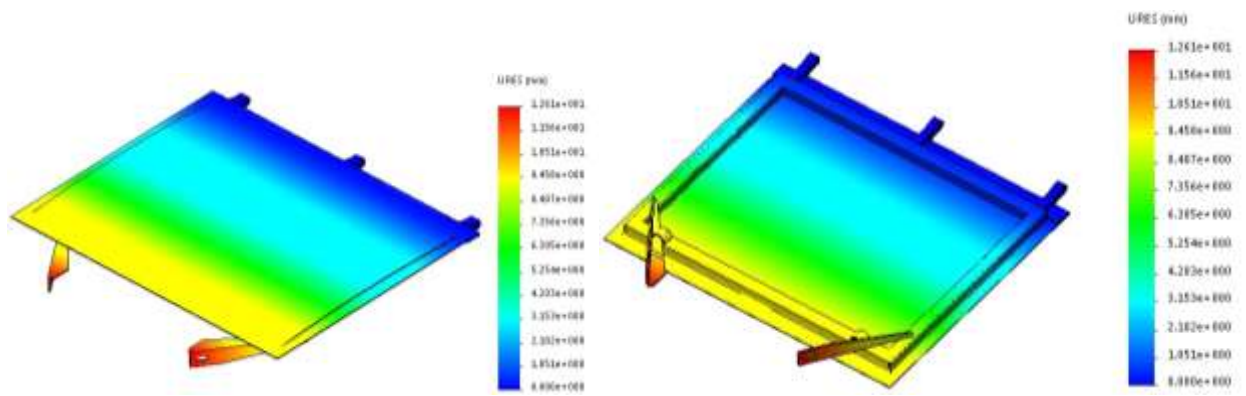


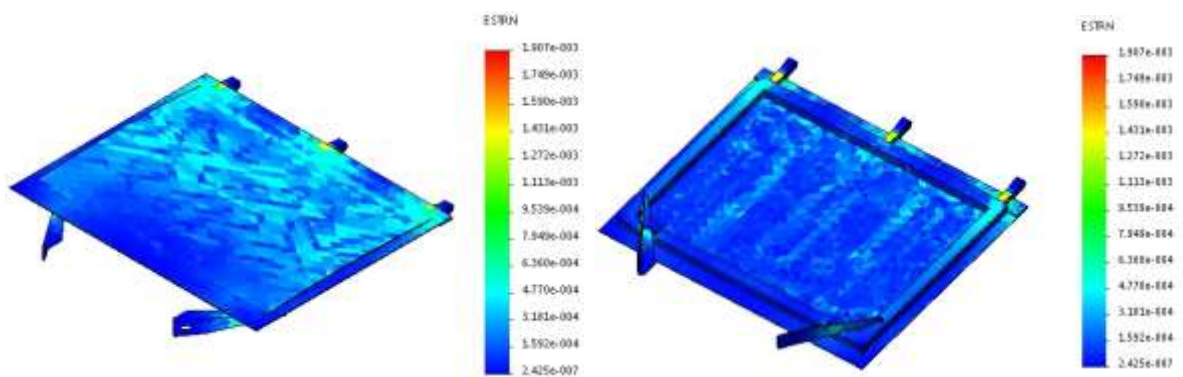
Рисунок 3.144 – Напружений стан попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона



а) вид зверху;

б) вид знизу

Рисунок 3.145 – Переміщення в вузлах попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона



а) вид зверху;

б) вид знизу

Рисунок 3.146 – Деформації попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 155 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 2,3 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується.

Даї представлено визначення показників міцності кришки люка при дії на неї динамічних навантажень. Для дослідження міцності кришки люка при циклічних ударних навантаженнях, чисельне значення яких дорівнює 500, проведено комп'ютерне моделювання в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks.

При цьому закріплення моделі відбувалося за вушка петель, а до кронштейнів запірних прикладалися реакції від дії ударного навантаження (рисунок 3.147).

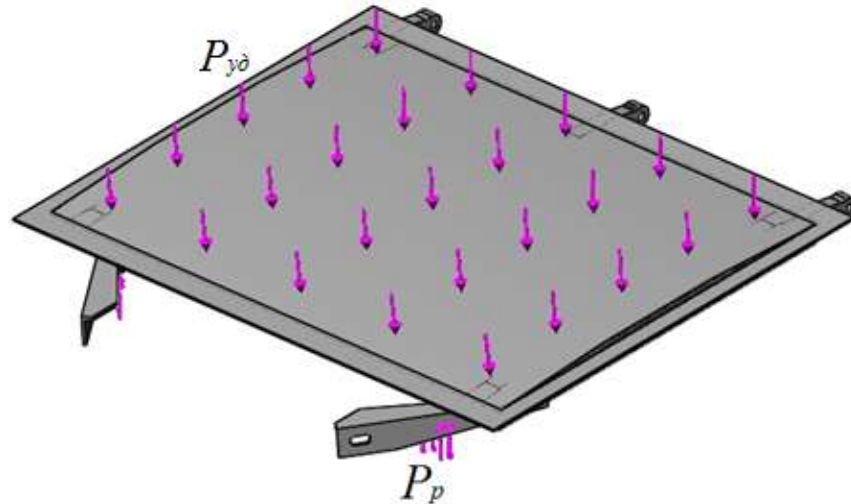


Рисунок 3.147 – Комп’ютерна модель міцності попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

$P_{уд}$  – ударне навантаження;  $P_p$  – реакція у кронштейні запірному на дію навантаження  $P_{уд}$

Проведені розрахунки дозволили зробити висновок, що міцність кришки люка при завданій базі випробувань забезпечується (рисунок 3.148).

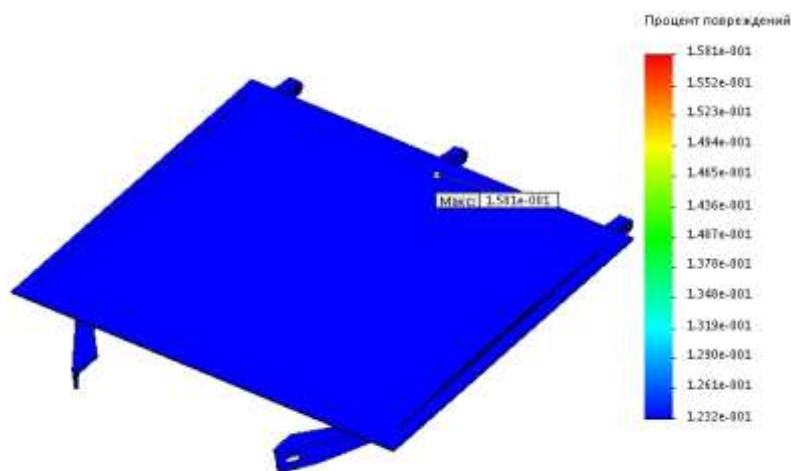


Рисунок 3.148 – Результати розрахунку попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона на циклічні ударні навантаження

Окрім основних схем навантажень кришки люка в експлуатації до уваги прийняті додаткові, які зазначені вище.

Модель міцності кришки люка при її безторсійному неодночасному ударі по упорах проміжних балок рами вагону наведена на рисунку 3.149. Розрахунок на міцність проведений в статиці.

При цьому закріплення кришки люка здійснювалося за петлі, вертикальне навантаження прийняте рівним  $P_{\epsilon} = 69,6$  кН, навантаження від удару  $P_{y\delta}$  по упору проміжної балки рами прикладалося до зони контакту кришки люка з ним. Результати розрахунку на міцність представлені на рисунках 3.150-3.152.

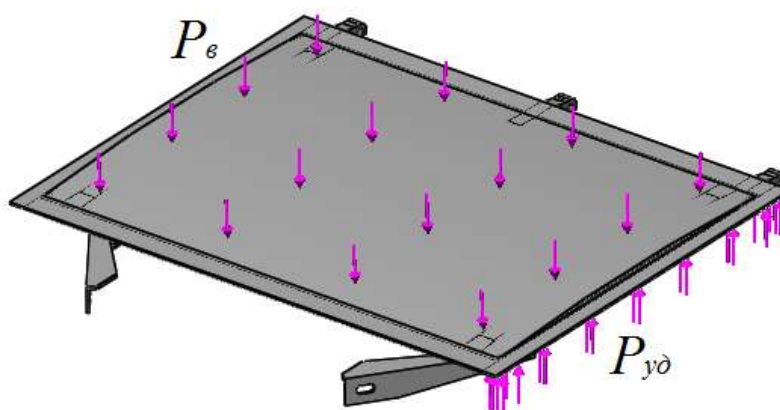


Рисунок 3.149 – Модель міцності попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

$P_{\epsilon}$  – вертикальне навантаження;  $P_{y\delta}$  – ударне навантаження

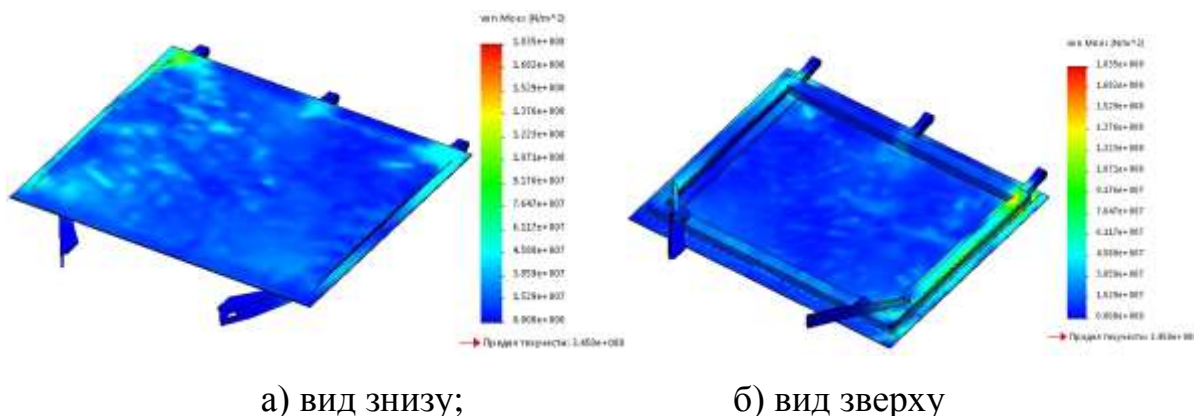
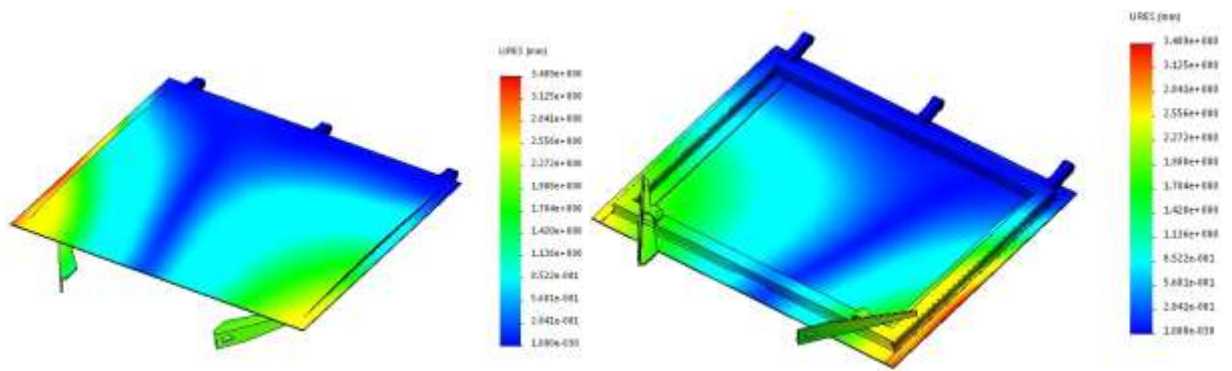


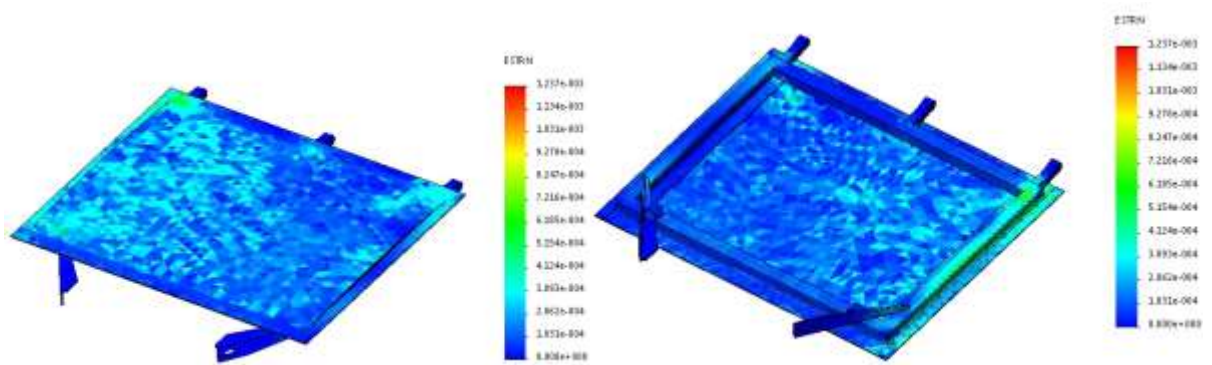
Рисунок 3.150 – Напружений стан попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.151 – Переміщення в вузлах попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.152 – Деформації попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 161,5 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 2,3 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується.

Модель міцності кришки люка при неодноразовому відкриванні закидок (обпирання кришки люка завантаженого вагону на одну закидку за один кронштейн) наведена на рисунку 3.153.

Закріплення моделі здійснювалося за петлі. Вертикальне навантаження прийняте рівним  $P_s = 69,6$  кН, реакція  $P_p$  у кронштейні на дію вертикального

навантаження  $P_e$  прикладалося до кронштейна запірною за зоною контакту його з закидкою запірною пристроєм.

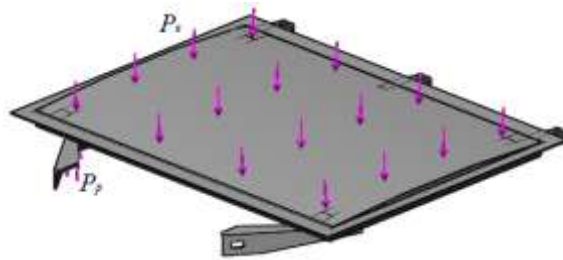
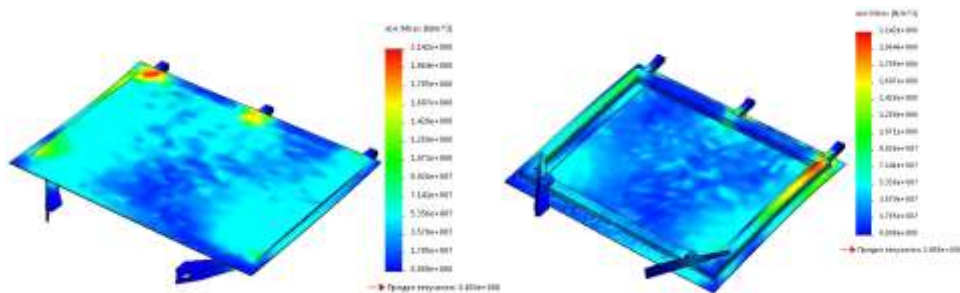


Рисунок 3.153 – Комп’ютерна модель міцності попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

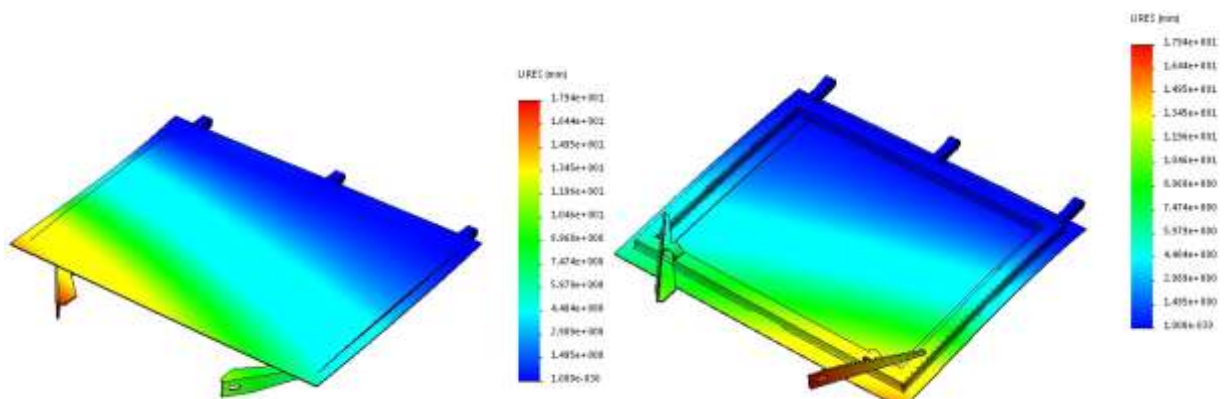
$P_e$  – вертикальне навантаження;  $P_p$  – реакція у кронштейні запірному на дію навантаження  $P_e$

Результати розрахунку наведені нижче.



а) вид знизу; б) вид зверху

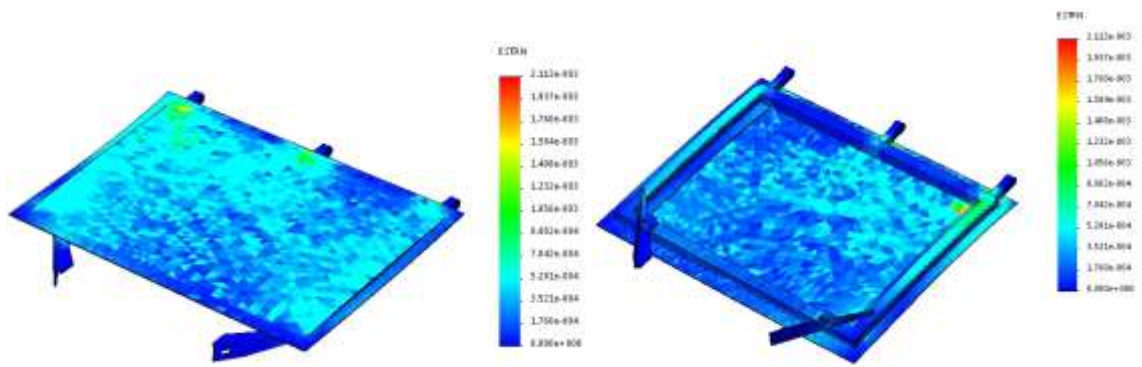
Рисунок 3.154 – Напружений стан попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.155 – Переміщення в вузлах попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона



а) вид знизу;

б) вид зверху

Рисунок 3.156 – Деформації попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 68 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 1 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується.

Для випадку підтягування (закриття) кришки люка вивантаженого вагону ломиком модель міцності наведена на рисунку 3.157. Результати розрахунку на міцність представлені на рисунках 3.158-3.160.

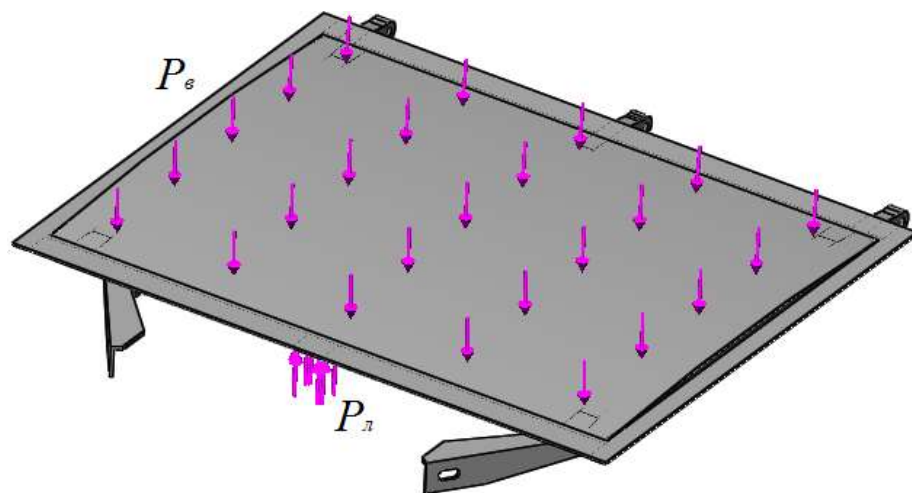


Рисунок 3.157 – Комп'ютерна модель міцності попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

$P_v$  – вертикальне навантаження від власної ваги кришки люка;  $P_h$  – навантаження, яке діє на кришку люка від підтягування ломиком

Закріплення моделі здійснювалося за вушка петель. Кришка люка навантажувалася власною вагою  $P_g$ . Навантаження від ломика  $P_d$  прикладалося по центру кінцевої частини кришки люка з боку розміщення кронштейнів запірних. Для прикладення навантаження  $P_d$  до кришки люка на ній встановлювалася накладка.

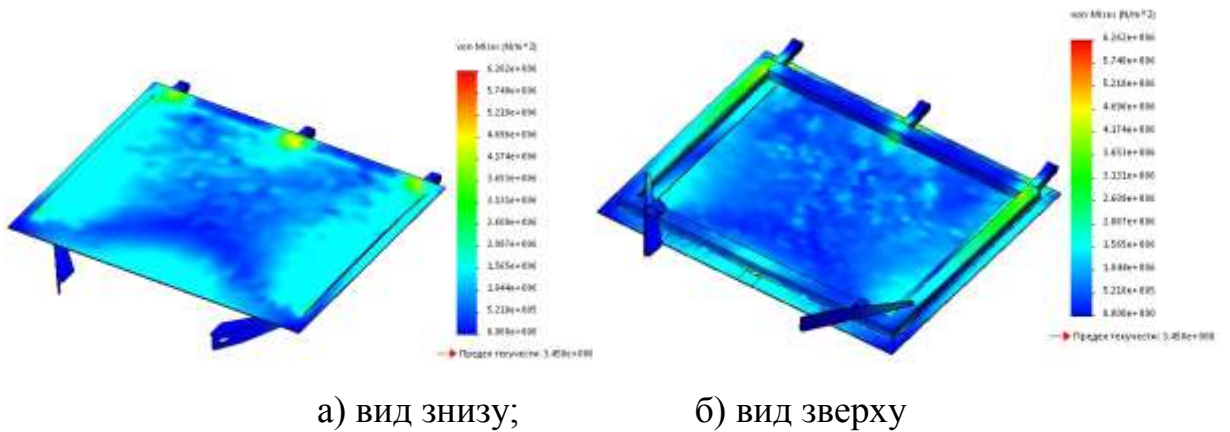


Рисунок 3.158 – Напружений стан попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

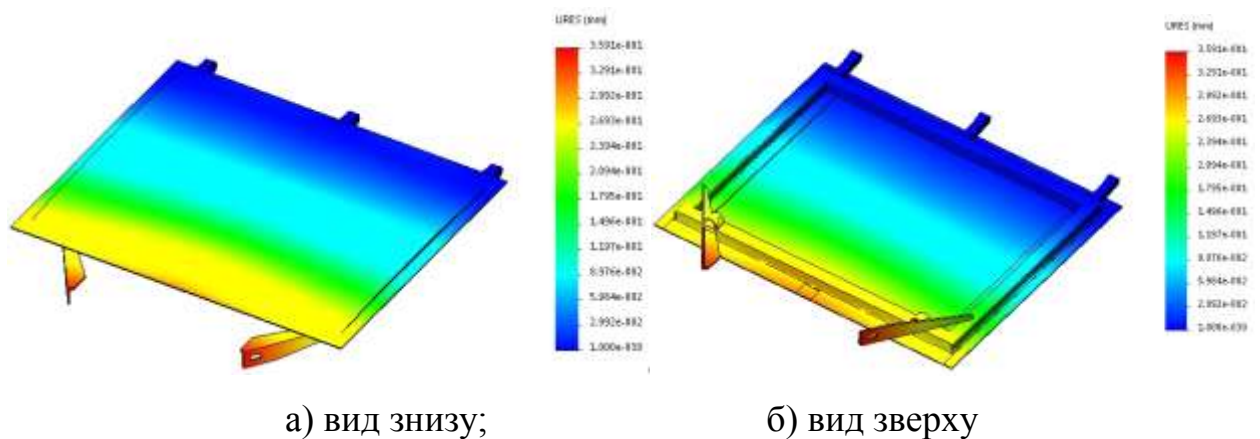
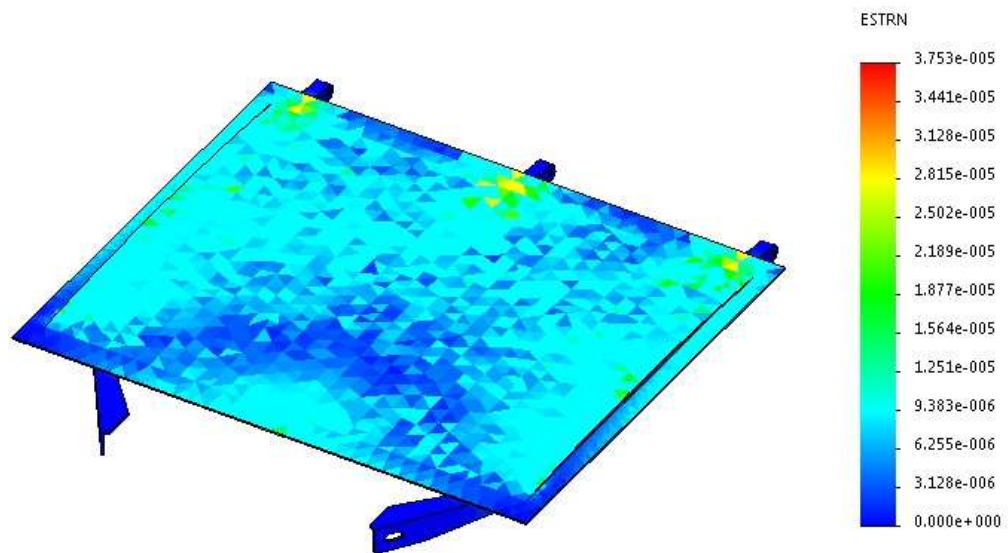
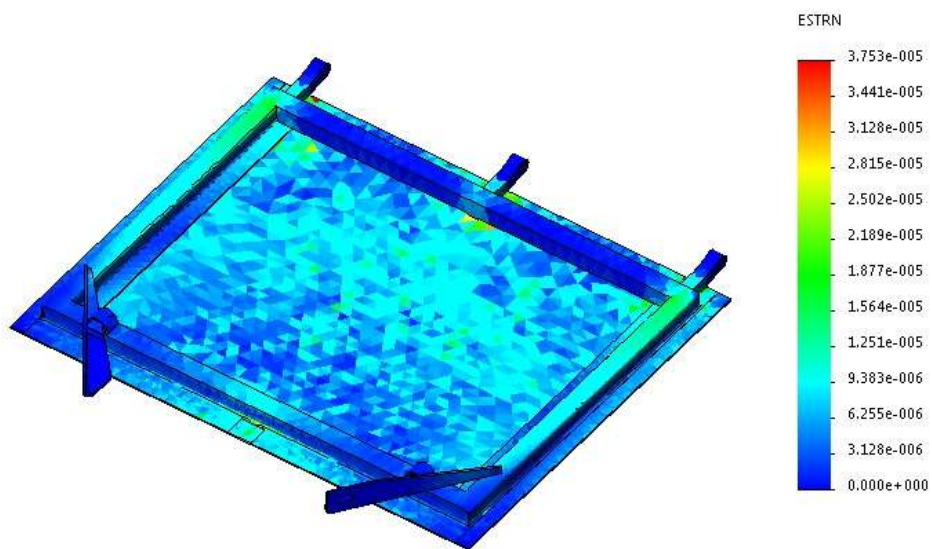


Рисунок 3.159 – Переміщення в вузлах попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона



а) вид знизу;



б) вид зверху

Рисунок 3.160 – Деформації попередньо навантаженого виконання кришки люка напіввагона

Результати розрахунку наведені нижче. Максимальні еквівалентні напруження при цьому складають близько 45 МПа. Максимальні переміщення в вузлах конструкції складають 0,7 мм. Тобто при завданій схемі навантаження міцність кришки люка забезпечується.

## ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень вирішено важливу наукову проблему – покращення системної ефективності транспортних засобів за рахунок створення нових методів проектування їх мульти-функціональних модулів із застосуванням мульти-матеріальних інновацій. А саме зниження рівня діючих (експлуатаційного, виробничого та ремонтного характерів) динамічних складових зусиль на транспортні засоби та виникаючих напружень за рахунок розвитку принципів та механізмів адаптації мульти-функціональних модулів до навантажень.

За отриманими результатами фундаментальних досліджень сформульовано висновки, основні з яких наведено нижче.

1. Розроблена класифікація пошкоджень та аналіз дефектів, що виникають в конструкціях напіввагонів на всіх етапах їх життєвого циклу, дозволяють прогнозувати пошкодження в експлуатації та систематизувати ймовірнісні причини їх виникнення. На підставі аналізу розробленої та представленої схеми причинно-наслідкових зв'язків відмов напіввагонів проф. Ішикава виділено категорії факторів, що знижують довговічність елементів кузовів напіввагонів: технологічні фактори, обумовлені особливостями системи технічного обслуговування напіввагонів; фактори, що призводять до втомних руйнувань елементів конструкції; фізико-механічні й випадкові фактори, що виникають в експлуатації. Тому при виконанні подальших робіт слід передбачати проведення досліджень у відповідних напрямках, а розробки за кожним напрямком організувати із врахуванням виокремлених факторів. За необхідності кожен з них може підлягати поглибленому аналізу, що значно розширює можливості схеми.

2. В результаті конструктивного аналізу світового досвіду вивчення принципів, механізмів та інноваційних рішень адекватності сприйняття критичних динамічних експлуатаційних навантажень і деформацій несучими,

огороджувальними та екіпажними системами транспортними засобами визначено їх складові, які доцільно удосконалювати за допомогою мультифункціонального підходу. Зокрема для вантажних вагонів до таких складових віднесено: основні та допоміжні елементи рам і каркасів модулів вагонів; обв'язування верхні та нижні стін бокових і торцевих, їх вертикальні стійки, розкоси та горизонтальні пояса; силові елементи дахів; а також відповідні вузли обпирання та взаємодії.

3. Запропоновані формалізовані описові моделі вантажних вагонів доцільно використовувати при застосуванні сучасних наукових та інженерних підходів, творчих і пошукових методів для їх проектування, зокрема у якості основи для досліджень процесів функціонування їх системних складових, розв'язання трудомістких задач з визначення принципів побудови вантажних вагонів нового покоління та ступеня значимості їх робочих органів і т.д. Практичне застосування таких моделей дозволяє ефективно знаходити мультифункціональні рішення для всіх несівних чи огороджувальних вагонних складових. Розроблені описи конструктивів вантажних вагонів дозволили відшукати ефективні концептуальні рішення щодо створення їх складових шляхом об'єднання, перерозподілу та зміни функцій. Наведені теоретичні аспекти впровадження мультифункціональних складових в конструкції вантажних вагонів створюють вичерпні науково обґрунтовані передумови стосовно їх практичної реалізації. Вони включають визначені шляхи реалізації принципів мультифункціональності та описання особливостей їх реалізацій.

4. Використання розробленого узагальнюючого універсального математичного запису процедури реалізації корисного попередньо-напруженого і / або деформованого стану в складові вагонних конструкцій дозволить визначати оптимальні характеристики для відповідних елементів. Розроблені корисні попередньо-напружені і / або деформовані складові будуть доцільними для впровадження в вагонні конструктиви з метою протидії експлуатаційним навантаженням, а також дозволять оперативно адаптуватися до різних режимів функціонування. Наприклад, адаптація конструкцій до

завантажувального або порожнього режимів експлуатації, різних типів вантажів.

5. Розроблені пружно-дисипативні концепти складових вантажних вагонів є доцільними для впровадження. Їх практична реалізація дозволить суттєво зменшити, а подекуди і виключити негативне накопичення втомлюваних напружень. Зазначене досягається за рахунок втілення в несівні елементи функцій пружності та дисипації. До того ж відповідні елементи будуть характеризуватися кращими діагностичними характеристиками.

6. Запропоновані та представлені нежорсткі шарнірні виконання вагонних складових доцільні для впровадження в їх вузли з'єднання, а також в довгобазні складові. Такі впровадження характеризуватимуться кращими показниками механіки руйнування та відповідно збільшуватимуть строк їх експлуатації.

7. На основі аналізу особливостей функціонування розвантажувальних пристроїв вантажних вагонів, їх конструктивних особливостей, загальноприйнятих трендів розвитку механічних та несівних конструктивів, визначені перспективні напрямки їх розвитку та науково обґрунтовані шляхи їх реалізації. До таких шляхів віднесено: створення рівноміцнісних конструктивів; відшукування безкаркасних виконань зі зменшеною кількістю елементів; конструктивне впровадження до кришки люка та/або опорних поверхонь адаптивно-демфуючих блоків; введення засобів протидії абразивному та корозійному зносам; конструктивне поліпшення вузлів кріплення та фіксації, а також торсійного механізму; створення їх оболонкових конструктивів як «сендвіч» виконань з комплексними пружно-дисипативними властивостями.

8. Розроблений практичний концепт реалізації мультифункціонального підходу спрямований на створення рівноміцнісного конструктиву вантажного вагону. Його комплексний розрахунок (на основі порівняння з сучасним базовим аналогом) дозволив встановити, що показники міцності та втомної міцності покращується на 10-25%. Слід зазначити, що

створення такого конструктиву було орієнтовано на сучасні вітчизняні вагобудівні виробничі можливості, проте існуючий потенціал впровадження мультифункціональних складових в вагоній конструкції дозволить поліпшити їх техніко-економічні та експлуатаційні характеристики більше ніж на 60 %.

9. Впровадження представлених мультиматеріальних концептуальних виконань вагонних конструкцій дозволить суттєво покращити їх характеристики. Зокрема досягти зниження їх тари на 2/3 з відповідним підвищенням вантажопідйомності, збільшити корозійну стійкість більше ніж в 2 рази та відповідно термін експлуатації. При цьому особливої актуальності набувають питання щодо можливості вторинного використання відповідних матеріалів.

10. В результаті комплексного аналізу факторів впливу на системну ефективність транспортного засобу за його життєвий цикл з'ясовано, що ключову роль у його виробничій собівартості відіграє вартість основних, допоміжних та інших матеріалів. Наприклад для вантажного вагону вартість таких матеріалів складає біля 93 % від загальної собівартості. Такі дані свідчать про перспективність зниження собівартості транспортних засобів за рахунок створення їх конструкцій, у яких будуть максимально використовуватися вузлові та базові елементи власного безвідходного виробництва.

11. Запропоновані концептуальні мультифункціональні рішення щодо удосконалення конструкцій вантажних вагонів доцільно використовувати при їх виготовляннях та модернізаціях. З урахуванням того, що вагон є зручним прикладом для вирішення відповідних загальнотранспортних науково-технічних проблем (тому що він взаємодіє з іншими видами транспорту за рахунок їх інтеперабельності та інтермодальності), можна стверджувати, що отримані наукові напрацювання будуть корисними і для вирішення подібних завдань для інших засобів транспортного машинобудування.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Alyona Lovska, Oleksij Burlutski, Oleksij Fomin, Mykola Gorbunov, Gintautas Bureika, Stasys Steišūnas, Gediminas Vaičiūnas The Improved Carrying Structure Of A Passenger Car For The Appropriate Strength In Train Ferry Transportation // 24<sup>th</sup> International Conference „Current Problems In Rail Vehicles - PRORAIL 2019“ September 17 – 19, 2019, Žilina, Slovakia. Vol. 2, 17-25
2. Alyona Lovska, Oleksij Fomin A New Fastener To Ensure The Reliability Of A Passenger Car Body On A Train Ferry // Acta Polytechnica 60 (6) : 478–485, 2020 DOI: <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0478>
3. Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Anatoliy Horban, Valentyna Radkevych, Pavel Skok, Inna Skliarenko (2019). Investigation of the dynamic loading of a body of passenger cars during transportation by rail ferry. *EUREKA: Physics And Engineering*, 4, 91-100. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2019.0095>
4. Alyona Lovskaya, Juraj Gerlici, Oleksij Fomin, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, and Tomas Lack Improvement of the bearing structure of the wagon-platform of the articulated type to ensure the reliability of the fixing on the deck of the railway ferry // MATEC Web of Conferences 254, 02035 (2019) (<https://doi.org/10.1051/mateconf/201925402035>)
5. Code UIC 430-4 OR. Wagons. Circulation entre des réseaux à écartement de 1435 mm et des réseaux à écartement de 1520 mm. Prescriptions techniques et conditions d'homologation. 1re édition, Mai 2004.
6. Code UIC 430-5 O – Regulations for the exchange and use of new generation freight wagons between railways with gauges of 1435 mm and 1520 mm; 1st edition, November 2003.
7. Code UIC 505 - 1 OR. Railway transport stock - Rolling stock construction gauge.
8. Code UIC 510-3 O. Wagons - Essais de résistance au banc des bogies à 2 essieux et 3 essieux. 1re édition du 01.01.89 - Nouveauté tirage du 01.07.94.
9. Code UIC 535-2 O - Standardisation and positioning of steps, end platforms, gangways, handrails, tow hooks, automatic coupler and brake valve controls on wagons in connection with the fitting of the automatic coupler of the UIC

Member Railways and OSJD Member Railways 3rd edition of 1.1.78 and 7 Amendments.

10. Code UIC 577 OR Wagon stresses\* 105 3rd edition, May 2004.

11. Code UIC 581 OR. Wagons – Lifting – Rerailing. 1st edition of 1.1.83 and 1 Amendment.

12. Creating mathematical model of the bearing structure dynamic load of the flat wagon from round pipes in the main operational modes Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovskac, Mykola Gorbunov, Kateryna Kravchenko, Tomáš Lack // *Transportation Research Procedia* 55 (2021) 875–881  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.179>

13. Determining the strength indexes of the bearing structure of the flat wagon of articulated type made from round pipes Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Mykola Gorbunov, Kateryna Kravchenko, Tomáš Lack // *Transportation Research Procedia* 55 (2021) 869–874  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.055>

14. EN 12663–2. Railway applications - structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons. B., 2010. 54 c.

15. European Standard 14363. Railway applications – Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests. – June 2005. – 113 p.

16. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Daki Olena, Bohomia Volodymyr, Tymoshchuk Olena and Prokopenko Pavlo The Substantiation Of The Concept Of Creating Containers With Viscous-Elastic Connections In Fitting // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 14, No. 15, August 2019: 2771-2776  
[http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2019/jeas\\_0819\\_7871.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_0819_7871.pdf)

17. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Radkevych Valentyna, Horban Anatolij, Skliarenko Inna and Gurenkova Olga The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 14, No. 21, November 2019: 3747-3752  
[http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2019/jeas\\_1119\\_7989.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_1119_7989.pdf)

18. Fomin, O. Defining patterns in the longitudinal load on a train equipped with the new conceptual couplers / O. Fomin, A. Lovska, O. Kovtun, V. Nerubatskyi // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – Issue 2/7 (104). – P. 33–40 doi: 10.15587/1729-4061.2020.198660

19. Fomin, O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry / O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsymbaliuk, O. Burlutski // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 7, Issue 1 (97). – P. 33–40. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154282

20. Fomin, O. Determining the dynamic loading and strength of the bearing structure of a covered wagon when firing from it / O. Fomin, A. Lovska, V. Kudelya, I. Smyrnova // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – Vol. 4, Issue 7 (106). – P. 33–41 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208407>

21. Fomin, O. Establishing patterns in the dynamic loading on the body of a semi-wagon with an elastic middle part of the girder beam / O. Fomin, A. Lovska, I. Medvediev, H. Shatkovska // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – Vol. 5, Issue 7 (107). – P. 30–37 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.211936>

22. Fomin, O. Substantiating the optimization of the load-bearing structure of a hopper car for transporting pellets and hot agglomerate / O. Fomin, A. Lovska, I. Skliarenko, Yu. Klochkov // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – Vol. 1, Issue 7 (103). – P. 65–74 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193408>

23. Fomin, O., Gerlici, J., Gorbunov, M., Lovska, A., Kravchenko, K., Burlutski, O., & Lack, T. (2019). Study into Improvement of the Hatch Covers of General-Purpose Open Wagons to Provide Strength under Operational Loading Diagrams. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 21(2), 44-49. <http://communications.uniza.sk/index.php/communications/article/view/1468>

24. Fomin, O., Lovska, A., Gorobchenko, O., Turpak, S., Kyrychenko, I., & Burlutski, O. (2019). Analysis of dynamic loading of improved construction of a tank container under operational load modes. *EUREKA: Physics And Engineering*, 0(2), 61-70. doi:<http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00876>

25. Fomin, O., Lovska, A., Klymash, A., Keremet, M. (2021). Improvement of covered wagons of the “East-West” type by sectioning with a partition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (113)), 36–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239751>

26. Fomin, O., Lovska, A.; Fomin, O. (Ed.) (2020). Concept of freight wagons made of round pipes. Tallinn: Scientific Route, 72. doi: <https://doi.org/10.21303/978-9916-9516-3-7>
27. Fomin, O.; Gorbunov, M.; Gerlici, J.; Vatulia, G.; Lovska, A.; Kravchenko, K. Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. *Materials* 2021, 14, 3420. <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
28. Fomin, O.; Gorbunov, M.; Lovska, A.; Gerlici, J.; Kravchenko, K. Dynamics and Strength of Circular Tube Open Wagons with Aluminum Foam Filled Center Sills. *Materials* 2021, 14, 1915. <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
29. Fomin, O.; Lovska, A.; Kučera, P.; Pištěk, V. Substantiation of Improvements for the Bearing Structure of an Open Car to Provide a Higher Security During Rail/Sea Transportation. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 873. <https://doi.org/10.3390/jmse9080873>
30. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. "Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry." *Communications-Scientific letters of the University of Zilina* 21, no. 1 (2019): 28-34. <http://communications.uniza.sk/index.php/communications/article/view/1164>
31. Gorbunov, M.I. Conceptual basis of thermo-controllability in railways braking tribopairs / M.I. Gorbunov, O.V. Fomin, O.V. Prosvirova, P.M. Prokopenko // *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2019, Issue 2, p.58-66 DOI: 10.29202/nvngu/20192/5
32. Gryndei P.O. Grindej O.O., Chernjak G.Ju., 2013: Comparison of methods for assessing fatigue life of rolling stock bearing structures zaliznits 11-j Mizhnarodnij simpozium ukraïns'kih inzheneriv-mehanikiv u L'vovi. Tezi dopovidej – L'viv, 15–17 travnja 2013. – S. 66–67.
33. Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim and Gyung-Jin Park. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels // *Journal of Rail and rapid transit*. 2016, Vol. 11.
34. Kim I. Y., de Weck O. L. Adaptive weighted sum method for multiobjective optimization: a new method for Pareto front // *Structural and*

Multidisciplinary Optimization. 2005. Vol. 31, Issue 2. P. 105–116. doi: <https://doi.org/10.1007/s00158-005-0557-6>

35. Kyrychenko I., Kashyra A. Contact of a wheel comb with a lateral surface of a rail and resistance of movement at realization of a traction moment by a locomotive wheel. Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects: thesis, May 2021, Albania – Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, p. 47-48,2021.

36. Kyrychenko I., Mykhailiuk M. Professional training of future railway engineer at the universities of Great Britain.- Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects: thesis, May 2021, Albania – Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, p. 49-50,2021.

37. Lovska, A.; Fomin, O.; Píšťek, V.; Kučera, P. Dynamic Load and Strength Determination of Carrying Structure of Wagons Transported by Ferries. J. Mar. Sci. Eng. 2020, 8, 902 <https://doi.org/10.3390/jmse8110902>

38. M. Gorbunov, O. Prosvirova, M. Kovtanets, S. Steišūnas, O. Fomin Experimental Study of Brake Frictional Contact Properties under the Impact of Local Cooling and Surfaces Cleaning // Transport Means - Proceedings of the International Conference 2019. Part-3 – P. 1281-1284 <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-2019-Part-3.pdf>

39. O Fomin , G Vatulja, M Horbunov, A Lovska, V. Píšťek, P. Kučera Determination of residual resource of flat wagons load-bearing structures with a 25-year service life // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 776 (2020) 012015 doi:10.1088/1757-899X/776/1/012015

40. O Fomin , G Vatulja, M Horbunov, A Lovska, V. Píšťek, P. Kučera Determination of residual resource of flat wagons load-bearing structures with a 25-year service life // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1021 (2021) 012005 doi:10.1088/1757-899X/1021/1/012005

41. O Fomin, A Lovska, J Gerlici, Yu Fomina, D Fedosov-Nikonov, P Prokopenko Determination of the regularities of the covered wagon supporting structure dynamic loading when conducting fire from it in the horizontal plane// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1021 (2021) 012004 doi:10.1088/1757-899X/1021/1/012004

42. O Fomin, A Lovska, J Gerlici, Yu Fomina, D Fedosov-Nikonov, P Prokopenko Determination of the regularities of the covered wagon supporting structure dynamic loading when conducting fire from it in the horizontal plane// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1021 (2021) 012004 doi:10.1088/1757-899X/1021/1/012004

43. O. Fomin, J. Gerlici, A. Lovska, M. Gorbunov, K. Kravchenko, P. Prokopenko, V. Hauser The Improved Hatch Cover Construction for Universal Open Box-Type Wagon from the Strength and Durability Point of View. In: Manufacturing Technology, Vol. 19, No. 2, pp. 216 – 221. Ústí nad Labem, Czech Republic DOI: 10.21062/ujep/272.2019/a/1213-2489/MT/19/2/216 <https://ar1.ujep.cz/ar1-ujep/en/csg/?repo=ujeprepo&key=833232562>

44. Oleksii V. Fomin, Mykola I. Gorbunov, Oleksii V. Burlutski, Olga O. Ievsieieva, Anna M. Fomina, Volodimir S. Nozhenko (Ed.) (2021). Controlled heat straightening for the rolling stock structures to restore their serviceability // Monograph. – Ostrava, Czech Republic. Hlučín: Anisiia Tomanek OSVČ. – 2021. – 119 p. DOI 10.47451/book2021-09-01

45. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Václav Píštěk, Pavel Kučera Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation // Vibroengineering Procedia. November 2019, Volume 29. – P. 118-123 DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21132>

46. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Václav Píštěk, Pavel Kučera Dynamic load effect on the transportation safety of tank containers as part of combined trains on railway ferries // Vibroengineering Procedia. November 2019, Volume 29. – P. 124-129 DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21138>

47. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Vaclav Pistek, Pavel Kucera Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry // MM Science Journal March 2020. – P. 3728-3733 DOI : 10.17973/MMSJ.2020\_03\_2019043

48. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Václav Píštěk, Pavel Kučera Strength determination of wagon bearing structures made of round pipes at railroad ferry transportation // Vibroengineering Procedia. November 2019, Volume 29. – P. 100-105 DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21060>

49. Oleksij Fomin, Angela Shvets, Vladimír Hauser and Pavlo Prokopenko Transversal displacement of freight wagons bogies // AIP Conference Proceedings 2198, 020002 (2019) <https://doi.org/10.1063/1.5140863>
50. Oleksij Fomin, Angela Shvets, Vladimír Hauser, Pavlo Prokopenko Transversal Displacement of Freight Wagons Bogies DYNAMICS OF RIGID AND DEFORMABLE BODIES 2019. 2019 October 9-11, Ústí nad Labem, Czech Republic
51. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovskaya, Kateryna Kravchenko, Oleksii Burlutski and Vladimír Hauser Peculiarities of the mathematical modelling of dynamic loading on containers in flat wagons transportation // MATEC Web of Conferences 254, 02039 (2019) (<https://doi.org/10.1051/mateconf/201925402039>)
52. Pištěk, V.; Kučera, P.; Fomin, O.; Lovska, A. Effective Mistuning Identification Method of Integrated Bladed Discs of Marine Engine Turbochargers. J. Mar. Sci. Eng. 2020, 8, 379. doi:10.3390/jmse8050379
53. Płaczek M., Wróbel A., Buchacz A. A concept of technology for freight wagons modernization // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 161. P. 012107. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/161/1/012107>
54. Raffaele Sepe, Angela Pozzi. Static and modal numerical analyses for the roof structure of a railway freight refrigerated car // R. Sepe et alii, Frattura ed Integrità Strutturale. 2015, Vol. 33. P. 451 – 462. doi: 10.3221/IGF-ESIS.33.50
55. Sensitivity analysis to assess the influence of the inertial properties of railway vehicle bodies on the vehicle's dynamic behaviour / Suarez B., Felez J., Maroto J., Rodriguez P. // Vehicle System Dynamics. 2013. Vol. 51, Issue 2. P. 251–279. doi: <https://doi.org/10.1080/00423114.2012.725851>
56. Tatravagonka Poprad – <http://tatravagonka.sk/bogie/y25lssif-d/?lang=ru> (дата звернення: 02.01.2021).
57. Theoretical aspects of applied transport mechanics. part 1:monograph / O.V.Fomin, M. I. Gorbunov, O. V. Burlutski, end other. – Sievierodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National Universit, 2019. – 198 p. ISBN 978-617-11-0137-1 <http://dspace.snu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/2876> (11,6 у.д.а.)
58. Theoretical foundations for conceptually new rolling stock modules. Part 1: monograph / Gorbunov M. I, Fomin O. V, Kovalenko V. V, Domin R. Yu. ;

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. – Dnipro : Akcept PP, 2017. – 100 p.

59. UIC Code 518. Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour. Safety – Track fatigue – Ride quality. – International Union of Railways. – September 2009. – 119 p.

60. UIC Code 519. Method for determining the equivalent conicity. – 1st edition, 2004.

61. Vladimir Hauser, Katerina Kravchenko, Olena Nozhenko, Aleksij Fomin Tram Car Bodie Concept And Concideration Of His Impact To The Track // 24<sup>th</sup> International Conference „Current Problems In Rail Vehicles - PRORAIL 2019“ September 17 – 19, 2019, Žilina, Slovakia. Vol. 1, 195 - 201

62. Алямовский А. А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. Москва, 2010. 785 с.

63. Васильев С.Г. Нагруженность боковой рамы и полиуретановых упругих комплектов при введении в трех-элементную тележку буксовой ступени подвешивания: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.07. – С-Пб.: ПГУПС. – 234 с.

64. Войнов, К.Н. Надежность вагонов [Текст]/К.Н. Войнов. – М.: Транспорт, 1989. – 110 с.

65. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. Москва, 2016. 54 с.

66. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.

67. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Основы динаміки вагонів: навч. посіб. Київ: КУЕТТ, 2003. 269 с.

68. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник. СПб.: Питер, 2000. 592 с.

69. Кельрих, М. Б. Оценка динамических качеств платформы в условиях эксплуатации / Кельрих М. Б., Фомин А. В., Прокопенко П. Н. // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 ноября, 2020 г.) : в 5 ч. Ч. 5. М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 73, 74

70. Кельріх, М.Б. Теоретичні аспекти визначення залишкового ресурсу вагона-цистерни для небезпечних вантажів / М.Б. Кельріх, О.В. Фомін, П.М. Прокопенко, С.С. Сова // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2020. – № 5(221) – С. 5-9. doi:10.33216/1998-7927-2020-261-5-5-9.

71. Кириченко, І., і О. Кашура. «Контакт гребеня колеса з бічною поверхнею рейки і опір руху при реалізації тягового моменту колесом локомотива». Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, вип. 4(268), Червень 2021, с. 59-61, doi:10.33216/1998-7927-2021-268-4-59-61.

72. Кирьянов Д. В. Mathcad 13. СПб.: БХВ. Петербург, 2006. 608 с.

73. Кічкін О.В., Кічкіна О.І. Математична формалізація інтелектуальної системи управління тягою поїзда на ділянці руху // Науковий журнал – Наукові вісті Далівського університету – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2021. – № 20 – DOI: DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-20-4>

74. Климаш А.О., Соловійов Г.І., Галстян А.Г., Горбунов М.І. Вдосконалення процесу мокрої конверсії природного газу з метою оптимізації виробництв водню та аміаку у якості перспективних безвуглецевих палив для автомобільних та локомотивних дизельних двигунів // Науковий журнал – Наукові вісті Далівського університету – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2021. – № 20 – DOI: : <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-20-7>

75. Козюберда А.А., Климаш А.О., Соловійов Г.І., Могила В. І. Селективне каталітичне очищення вихлопних газів дизельних двигунів локомотивів від оксидів азоту на блочному волокнистому ванадієвому каталізаторі // Науковий журнал – Наукові вісті Далівського університету – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2021. – № 20 – DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-20-7>

76. Лебедев, В.С. Аналіз застосування сталевих ковзунів з зазором у конструкції критих вагонів для перевезення легковагових вантажів / Лебедев В.С., Фомін О.В. // Збірник тез науково-практичної конференції студентів, аспірантів і викладачів ( 27 – 29 березня 2019 р.), Державний університет інфраструктури та технологій – Київ, 2019. – С. 945-947

77. Ловська, А., і О. Фомін. «Визначення стійкості рівноваги вагона-платформи з урахуванням циклічності пострілів з зенітних установок,

розміщених на ньому». ВІСНИК СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ імені Володимира Даля, вип. 1(265), Березень 2021, с. 55-59, doi:10.33216/1998-7927-2021-265-1-55-59

78. Маслиев В.Г., Фомин А.В., Ловская А.А., Маслиев А.О., Горбунов Н.И., Дущенко В.В. Прочность гибкой оболочки пневматической рессоры. НАУКА и ТЕХНИКА. 2021;20(4):302-309. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-4-302-309>

79. Мельниченко, О.І. Ключові особливості методики проведення експлуатаційних динамічних випробувань легковагового вантажного вагона / Мельниченко О.І., Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. // LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2020. – С.12

80. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ВНИИВ-ВНИИЖТ. М., 1983.

81. Памятка УИС/ОСЖД 430-4 ОР. Вагоны грузовые. Движение по сетям железных дорог с шириной колеи 1435 мм и 1520 мм. Технические условия и испытания на соответствие техническим условиям.

82. Памятка ОСЖД О+Р 516. Грузовые вагоны сообщения между железными дорогами колеи 1435 мм и железными дорогами колеи 1520 мм. Технические предписания и технические условия для допуска вагонов.

83. Памятка ОСЖД О+Р-500. Габариты подвижного состава и приближения строений. Варшава, 30 сентября - 4 октября 1996.

84. Памятка ОСЖД О+Р-535. Унификация и размещение ступенек, концевых площадок, переходных мостиков, поручней, канатных крюков и воздухозапорных кранов грузовых вагонов 20.11.1998.

85. Патент України на винахід № 118389, МПК (2006.01) B61F 1/02 (2006.01) B61F 1/10 (2006.01) B61D 7/00 Залізничний відкритий вагон-хопер / О.В. Фомін, М.І. Горбунов, А.О. Ловська, В.В. Фомін (Україна); власник: автори. – № а 2017 01810; заявка 27.02.2017; публ. 10/01.2019, Бюл.№ 1/2019

86. Патент України на винахід № 118481, МПК (2016.01) B61F 1/00, B61D 17/12 (2006.01), B61D 17/10 (2006.01), B61D 17/08 (2006.01), B61D 17/04 (2006.01) Вагон-цистерна / А.А. Стецько, В.В. Коваленко, М.І. Горбунов,

О.В. Фомін (Україна); власник: автори. – № а2017 00044; заявка 03.01.2017; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019.

87. Патент України на винахід № 119563, МПК (2006) В65D 88/12 (2006.01), В65D 90/20 (2006.01), В61D 3/00, В61D 5/00 Контейнер-цистерна / В.В. Коваленко, О.В. Фомін, М.І. Горбунов, А.О. Ловська (Україна); власник: автори. – № а201700025; заявка 03.01.2017; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13.

88. Патент України на винахід № 122775 МПК (2021.01) В61D 3/00 В61F 1/02 (2006.01) В61F 1/08 (2006.01) В61D 17/04 (2006.01) В61D 17/06 (2006.01) В61D 17/08 (2006.01) Піввагон з глухим кузовом Фомін О.В., Горбунов М.І., Фоміна Ю.В., Ноженко О.С., Фомін В.В. (Україна). – № а 2017 02702; заявка 23.03.2017; публ. 06.01.2021, Бюл. № 01.

89. Патент України на корисну модель № 132816, МПК (2006) В61D 3/00 В61D 17/00 Критий вагон / О.В. Фомін, Ю.В. Фоміна, М.І. Горбунов, О.Л. Сорочинська (Україна); власник: автори. – № а 201910114; заявка 10.10.2018; публ. 11/03.2019, Бюл.№ 5/2019

90. Патент України на корисну модель № 138162, МПК (2006.01) В61D 3/20, (2006.01) Вагон-платформа// Фомін О.В., Горбань А.В., Прокопенко П.М., Склярєнко І.Ю. (Україна); власник: ДУІТ – № у 2019 03964; заявка 16.04.2019 ; публ. 25.11.2019, Бюл.№ 22

91. Патент України на корисну модель № 142162 МПК (2020.01) В61D 3/00 В61D 3/18 (2006.01) 4-х вісний думпкар // Фомін О.В., Склярєнко І.Ю., Левченко О.В., Фоміна А.М., Прокопенко П.М. (Україна); власник: Державний університет інфраструктури та технологій – № у 2019 07841; заявка 11.07.2019; публ. 25.05.2020, Бюл.№ 10

92. Патент України на корисну модель № 142163, МПК (2020.01) В61D 3/00 В61D 3/18 (2006.01) Універсальний критий вагон // Фомін О.В., Склярєнко І.Ю., Скок П.А., Фоміна А.М., Прокопенко П.М. (Україна); – № у 2019 07842; заявка 26.03.2019 ; 25.05.2020, Бюл.№ 10

93. Патент України на корисну модель № 145475 МПК F16F 9/10 (2006.01) Гідравлічний гаситель коливань з адаптивним керуванням // Горбунов М.І., Сергієнко О.В., Фомін О.В., Ковтанець М.В., Коротенко Б.М. (Україна); № у 2020 04542; заявка 20.07.2020; публ. 10.12.2020, Бюл. № 23

94. Патент України на корисну модель № 145579 МПК (2021.01) В61D 3/00 В61D 3/08 (2006.01) Залізничний вагон-платформа для перевезення

військової техніки та ведення вогняної дії: пат. Україна: // Фомін О.В., Ловська А.О. (Україна); № u 2020 03960; заявка 01.07.20; публ. 28.12. 2020, Бюл. № 24.

95. Патент України на корисну модель № 145805 МПК (2021.01) В61D 17/06 (2006.01) В61D 7/00 Вагон-хопер зчленованого типу // Фомін О.В., Ловська А.О. (Україна); № u202004026; заявка 03.07.2021; публ. 06.01.2021, Бюл. № 01.

96. Патент України на корисну модель № 145833 МПК (2021.01) В61D 3/00 Піввагон зі складовими типу “сендвіч”// Фомін О.В., Горбунов М. І., Ловська А.О. (Україна); № u 202004427; заявка 16.07.2021; публ. 06.01.2021, Бюл. № 01.

97. Патент України на корисну модель № 146060 МПК (2021.01) В61D 1/00 В61D 3/10 (2006.01) В61D 17/08 (2006.01) В61F 1/00 В61F 1/08 (2006.01) Піввагон зчленованого типу // Фомін О.В., Ловська А.О. (Україна); № u 2020 04112; заявка 07.07.2020; публ. 20.01.2021, Бюл. № 3

98. Патент України на корисну модель № 131586, МПК (2006): В61D 7/00, В61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № u 2018 07208; заявка 26.06.2018; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019

99. Патент України на корисну модель № 134400, МПК (2006), В61D 3/00, В61D 3/20 (2006.01), В61D 5/00, В65D 88/06 (2006.01), В65D 88/12 (2006.01) Контейнер-цистерна // Фомін О.В., Ловська А.О., Кульбовський І.І., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № u2018 12988; заявка 27.12.2018; публ. 10.05.2019, Бюл. № 9

100. Патент України на корисну модель № 134401, МПК (2006), В61D 3/00, Піввагон глуходонний// Фомін О.В., Прокопенко П.М., Обуховський В.В., Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u2018 12990; заявка 27.12.2018; публ. 10.05.2019, Бюл. № 9

101. Патент України на корисну модель № 134913, МПК В61D 3/08 (2006.01) В61D 3/20 (2006.01) Вагон-платформа для перевезення контейнерів // Ловська А.О., Фомін О.В., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № u201813016; заявка 28.12.2018; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11

102. Патент України на корисну модель № 134986, МПК (2006) В61D 7/00 В61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення зерна // Фомін О.В., М.І.

Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 201900306; заявка 11.01.2019; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11

103. Патент України на корисну модель № 138422, МПК В65G 11/16 (2006.01), В65G 11/18 (2006.01), Ударно-тяговий прилад залізничного вагона // Фомін О.В., Ловська А.О., Кульбовський І.І., Мельниченко О.І., (Україна); власник: автори – № u2019 05595; заявка 23.05.2019; публ. 25.11.2019, Бюл. № 22

104. Патент України на корисну модель № 139756, МПК 5/06 (2006.01) Залізнична цистерна // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 2019 00309; заявка 11.01.2019 ; публ. 27.01.2020, Бюл.№ 2.

105. Патент України на корисну модель №131587, МПК (2016) В61D 7/00, В61F 1/14 (2006.01) Критий вагон-хопер для перевезення мінеральних добрив // Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Цимбалюк А.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № u 2018 07209; заявка 26.06.2018; публ. 25.01.2019, Бюл.№ 2/2019

106. Патент України на корисну модель №134983, МПК В61D 3/08 (2006.01) Універсальний вагон-платформа // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u 201900302; заявка 11.01.2019; публ. 10.06.2019, Бюл. № 11

107. Патент України на корисну модель №135552, МПК (2006): В65D 8/12 (2006.01), В61D 3/00, В61D 3/20 (2006.01), Контейнер-цистерна // Фомін О.В., Ловська А.О., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М., (Україна); власник: автори – № u201812989; заявка 27.12.2018; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13.

108. Патент України на корисну модель №135562, МПК (2006): В61D 7/00, В61D 17/00, Критий вагон-хопер для перевезення мінеральних добрив // Фомін О.В., М.І. Горбунов, Прокопенко П.М., О.О. Євсєєва, О.В. Бурлуцький, Фоміна А.М. (Україна); власник: автори – № u201900308; заявка 11.01.2019; публ. 10.07.2019, Бюл. № 13.

109. Правила пользования вагонами в международном сообщении (ППВ). Приложение №1 к Договору о ППВ. Действует с 1 января 1956 года (переиздано с изменениями и дополнениями на 1 июня 2004 года).

110. Прокопенко, П.М. Експериментальне оцінювання якості руху легковагових вантажних вагонів / Прокопенко П.М., Фоміна А.М., Фомін О.В. // Всеукраїнська конференція студентів та викладачів ЗВО «Актуальні проблеми сучасної освіти: реалії та перспективи»: Зб. тез доповідей. Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2019. – С. 124-125.

111. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. - М.; 1995 г.

112. Сквиря, І.Є. Аспекти дослідження етапів розвитку конструкцій візків вагонів / Сквиря І.Є., Фомін О.В. // Збірник тез науково-практичної конференції студентів, аспірантів і викладачів ( 27 – 29 березня 2019 р.), Державний університет інфраструктури та технологій – Київ, 2019. – С. 910-912

113. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. – Нормативні акти Верховної Ради України [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Київ: офіційний веб-портал Верховної Ради України, 1994-2018]. – Режим доступу: [http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011](http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/984_011)).

114. Устич П.А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава / П.А. Устич, В.А. Карпыч, М.Н. Овечников. – М.: ИГ “Вариант”, 1999. – 415 с.

115. Фомин, А.В. Способ оценки показателей качества движения легковесных пустых вагонов / А.В. Фомин, П.Н. Прокопенко, Н.И. Горбунов, С.С. Сова // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДУІТ, 2020. – Вип. 35. С. – 44-51. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-5>

116. Фомін О. В., Інноваційний концепт кузова напіввагона / Фомін О. В., Горбунов М. І., Ловська А. О. // Сучасні технології в науці та освіті : колективна монографія. – Сєверодонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2021. С.173-176

117. Фомін О. В., Концепт кузова напіввагона з випуклими стінами / Фомін О. В., Горбунов М. І., Ловська А. О. // Сучасні технології в науці та освіті : колективна монографія. – Сєверодонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2021. С. 170-172

118. Фомін О.В. Визначення коефіцієнту запасу стійкості вагона – платформи в залежності від експлуатаційних змін тари / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Обуховський В.В., Швець А.О. // Вісник сертифікації залізничного транспорту, - м. Дніпро: ДП «ДОСЗТ», 2019. – № 04/56 (08/2019). – С. 18-29

119. Фомін О.В. Визначення коефіцієнту запасу стійкості вагона – платформи в залежності від експлуатаційних змін тари / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Обуховський В.В., Швець А.О. // Вісник сертифікації залізничного транспорту, - м. Дніпро: ДП «ДОСЗТ», 2019. – № 05/57 (10/2019). – С. 5-18

120. Фомін О.В. Дослідження динамічних показників вагона - платформи в експлуатації / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Обуховський В.В., Швець А.О. // Вісник сертифікації залізничного транспорту, - м. Дніпро: ДП «ДОСЗТ», 2019. – № 04/56 (08/2019). – С. 10-18

121. Фомін О.В. Контрольні випробування вагона-цистерни з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій / Фомін О.В., Прокопенко П. М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М. // «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 30 (69) Ч. 2 № 5, 2019 – С. 154-159 DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/27>

122. Фомін О.В. Контрольні випробування вантажного вагона з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій / Фомін О.В., Прокопенко П. М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М. // «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 30 (69) Ч. 2 № 3, 2019 – С. 177-182 DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/31>

123. Фомін О.В. Особливості оцінки показників якості руху вагона платформи в експлуатації / Фомін О.В., Прокопенко П.М.// Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад», 2019. – № 19. – С. 17-24

124. Фомін, О. В. . і Ловська, А. О. . (2021) «Дослідження вертикальної динаміки несучих конструкцій вантажних вагонів із круглих труб», Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, (1(91)), с. 104–114. doi: 10.15802/stp2021/227223

125. Фомін, О., і П. Прокопенко. «Комплексні випробування несучих конструкцій пасажирського вагона з закінченим призначеним терміном служби заводом виробником». Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, вип. 1(265), Березень 2021, с. 133-7, doi:10.33216/1998-7927-2021-265-1-133-137.

126. Фомін, О.В. Аналіз причин виникнення аварій на залізничних коліях та способи підвищення рівня безпеки / О.В. Фомін, М.І. Горбунов, Н.Г. Мурашова, А. О. Швець, С.С. Сова // Локомотив-інформ. – Харків, 2020. - № 1 – С. 7-12

127. Фомін, О.В. Визначення вертикальних прискорень несучої конструкції вагона-платформи з в'язкими зв'язками в повздовжніх балках/ О.В. Фомін, А.О. Ловська // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського:Серія: Технічні науки. – Київ: ТНУ імені В.І. Вернадського, 2021– Том 32(71) № 1 2021, Частина 2 – С. 135-140 DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/22>

128. Фомін, О.В. Визначення залишкового ресурсу вантажного вагона з строком служби який перевищує нормативний / О.В. Фомін, П.М. Прокопенко, Броницька Л.В., Цвик Н.О. // Вісник сертифікації залізничного транспорту, - м. Дніпро: ДП «ДОСЗТ», 2019. – № 02/54 (12/2019). – С. 27-38

129. Фомін, О.В. Визначення міцності несучих конструкцій вагонів з круглих труб при перевезенні на залізничних поромах / Фомін О.В., Ловська А.О., Радкевич В.О., Склярєнко І.Ю. // Матеріали VI міжнародної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса, 20-24 травня 2019 року)

130. Фомін, О.В. Вплив повздовжньо-динамічних навантажень на міцність гальмової важільної передачі візка вагона, обладнаного новим концептом упряжного пристрою / О. В. Фомін, А.О. Ловська, М.І. Горбунов // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2020. – № 5(261) – с. 67-73, doi:10.33216/1998-7927-2020-261-5-67-63

131. Фомін, О.В. Дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб, завантаженого контейнерами-цистернами / О. В. Фомін, А.О. Ловська // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і

технології». – Київ: ДУІТ, 2021. – Вип. 37. С. – 31-40. DOI:10.32703/2617-9040-2021-37-4

132. Фомін, О.В. Дослідження динамічної навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом / Ловська А.О., Фомін О.В., Горбань А.В., Скок П.О // Матеріали VI міжнародної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса, 20-24 травня 2019 року)

133. Фомін, О.В. Дослідження несучих систем вагонів з метою визначення їх залишкового ресурсу / Фомін О.В., Прокопенко П.М. // Тези 79 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, 16-17.05.2019) – Д.: ДИИТ, 2019. – С.88, 89.

134. Фомін, О.В. Контрольні випробування вагона-цистерни з метою оцінки залишкового ресурсу несучих конструкцій / О.В. Фомін, П.М. Прокопенко, Н.М. Крисенко, С.С. Сова // матеріали третьої всеукраїнській практично-пізнавальній інтернет-конференції «Наукова думка сучасності і майбутнього». – 2019. <http://naukam.triada.in.ua/index.php/konferentsiji/64-tridtsyat-tretya-vseukrajinska-praktichno-piznavalna-internet-konferentsiya/819-kontrolni-viprobuvannya-vagona-tsisterni-z-metoyu-otsinki-zalishkovogo-resursu-nesuchikh-konstruksij>

135. Фомін, О.В. Модернізація автогальмівного обладнання електропоїздів з впровадженням системи попередження самовільного скочування вагонів з місця / О.В. Фомін, Туровець Д.А. // Науковий журнал – Наукові вісті Далівського університету – Сєверодонецьк: СХУ ім. В.Даля, 2021. – № 20 – DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-20-13>

136. Фомін, О.В. Модернізація автогальмівного обладнання електропоїздів з впровадженням системи попередження самовільного скочування вагонів з місця / Фомін О.В., Ловська А.О., Рибін А.В. // Науковий журнал – Наукові вісті Далівського університету – Сєверодонецьк: СХУ ім. В.Даля, 2021. – № 21 – DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-17>

137. Фомін, О.В. Обґрунтування удосконалення схеми взаємодії контейнера з вагоном-платформою при перевезенні залізничним поромом / Фомін О.В., Ловська А. О // Матеріали III Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного

морського університету, квітень 2021. – Х.: Видавництво Іванченка І.С., 2021. – С. 366-368 <http://2021.depas.od.ua/ru/glavnaya/>

138. Фомін, О.В. Особливості визначення залишкового ресурсу вагоповірочних вагонів з терміном служби, який перевищує призначений / О.В. Фомін, П.М. Прокопенко, М.І. Горбунов, С.С. Сова // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДУІТ, 2019. – Вип. 34. – С. 95-105

139. Фомін, О.В. Оцінка залишкового ресурсу несучих конструкцій пасажирського вагона за межами призначеного терміну служби / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Сова С.С. // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць науково-практичної конф., 14-16 жовтня 2019 р., м. Лиман (Донецька обл.) / відп. ред. Н.Б. Чернецька-Білецька. – Сєверодонецьк: СНУ ім.В.Даля, 2019. 160-164

140. Фомін, О.В. Підсилення несучих систем вагонів-зерновозів з метою продовження терміну служби / Фомін О.В., Прокопенко П.М. // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ. 2019. – вип. 184, додаток. – С. 22, 23.

141. Фомін, О.В. Теоретичне оцінювання залишкового ресурсу вагоповірочного вагона / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С., Фоміна А.М. // Транспортні технології та безпека дорожнього руху. Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, Запоріжжя, 14–15 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. С. 47-49

142. Фомін, О.В. Теоретичні особливості визначення залишкового ресурсу несучих конструкцій вантажного вагона з строком служби який перевищує призначений / О.В. Фомін, П.М. Прокопенко, Р.О. Борович, А.С. Литвиненко // матеріали третьої всеукраїнській практично-пізнавальній інтернет-конференції «Наукова думка сучасності і майбутнього». – 2019.

143. Фомін, О.В. Технічне оцінювання залишкової несівної здатності металоконструкцій напіввагона / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М. // Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку. Тези доповідей Регіональної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів і учнів 12 квітня 2019 року [Електронний ресурс] / – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019 – С.24–26.

144. Фомін, О.В. Удосконалення несучої конструкції вагона-хопера з метою конструктивної протидії виникненню пошкоджень / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М., Омельченко В.О. // Вісник сертифікації залізничного транспорту, - м. Дніпро: ДП «ДОСЗТ», 2019. – № 02/54 (12/2019). – С. 5-16

145. Фомін, О.В. Теоретичні основи визначення залишкового ресурсу напіввагона з терміном служби що минув / Фомін О.В., Горбунов М.І., Прокопенко П.М., Сова С.С., Магомаєв Ю.М. // LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2020. – С.14

146. Фомін, О.В. Математичне моделювання процесу термічної правки балки хребтової вантажних вагонів-платформ / Фомін О.В., Логвіненко О.А., Бурлуцький О.В., Шелест Д.А., Фоміна А.М. // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2019. – № 3(251) – С. 186-190.

147. Фомін, О.В. Оцінка показника якості руху легковагових вагонів в складі поїзда / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М. І., Фоміна А.М. // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2019. – № 2(250) – С. 103-109.

148. Фомін, О.В. Визначення динамічної навантаженості вагонів з пружними елементами в несучих конструкціях / О. В. Фомін, А. О. Ловська // *Розвиток транспорту (науковий журнал)*. – Одеса: Одеський національний морський університет, 2021. – N 1(8). – С. 103-113. – Режим доступу : DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2021.1-8.04>

## ДОДАТОК А

### ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ – МІЦНІСТНІ ВИПРОБУВАННЯ КРИШКИ ЛЮКА НАПІВВАГОНА

#### Б.1 ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Таблиця Б.1 – Перелік скорочень

Скорочення	Значення
Університет	Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
ЗВТ	Засоби вимірювальної техніки
АПЦ	Аналого-цифровий перетворювач
ПМ	Програма та методика випробувань

#### Б.2 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

2.1 ПМ призначена для виконання розширених міцнісних випробувань [63, 66, 68, 71-73] кришки люка напіввагона з імітацією реальних експлуатаційних навантажень.

2.2 ПМ розроблена з врахуванням вимог: ОСТ 32.55-96 «Система испытаний подвижного состава. Требования к составу, содержанию, оформлению и порядку разработки программ и методик испытаний и аттестации методик испытаний», ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)», ДСТУ ГОСТ 33211:2017 «Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей», ДСТУ ISO/IEC-17025 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій».

2.3 Випробування проводяться фахівцями університету або інших наукових організацій, які мають відповідний досвід та компетенції.

2.4 Організація та проведення міцнісних випробувань кришки люка напіввагону необхідна для оцінки забезпечення міцності кришки люка під час реальних експлуатаційних навантажень.

### Б.3 МЕТА ВИПРОБУВАНЬ

Метою випробувань є вимірювання напружень кришки люка під час запропонованих додаткових експлуатаційних навантажень

### Б.4 ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ

4.1 Об'єктом випробувань є кришка люка (рисунок Б. 1, 2), яка являє собою шестигофровий лист 4 товщиною 5 мм, підкріплений балочками 1 та 2 у вигляді гнутих або штампованих профілів. До листа і планок 9 приклепані три петлі 7. За допомогою петель і валиків кришки люків шарнірно з'єднуються з державками (вушками) двутавра хребтової балки. Державки кріпляться до вертикальної стінки двутавра за допомогою заклепок. У передній частині кришки приклепані два литих запірних кронштейна 5, які за допомогою типового запірного пристрою утримують кришку в закритому (горизонтальному) положенні, а також кріпиться скоба 3. В зоні розміщення планок 9 до листа 4 кріпляться дві опори 8 та дві планки 6.

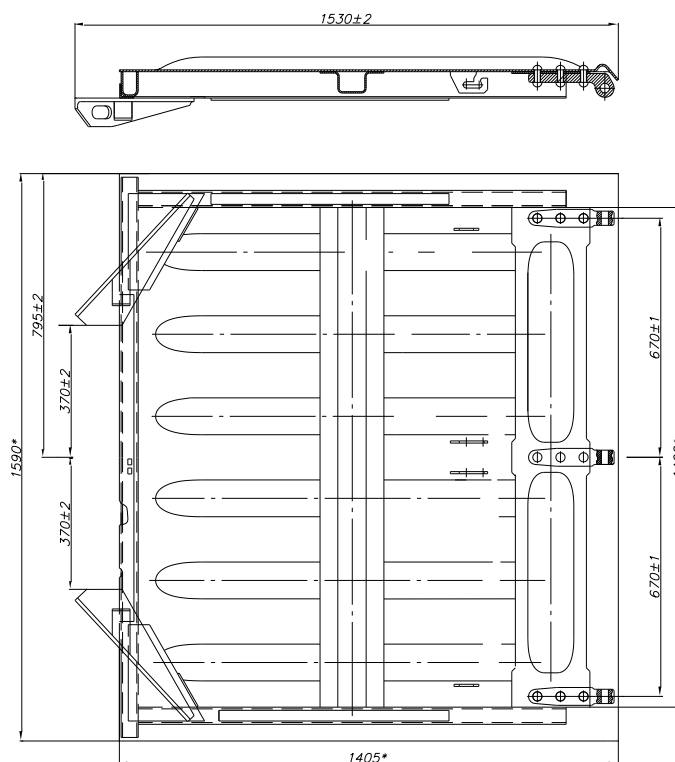


Рисунок Б.1 – Кришка люка напіввагона

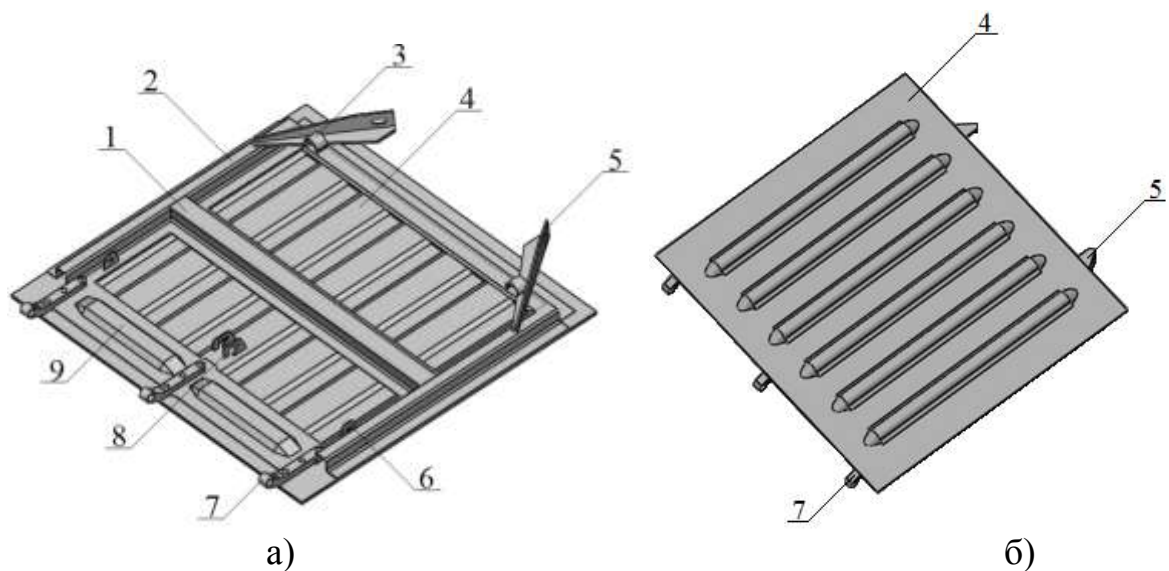


Рисунок Б.2 – Кришка люка напіввагона  
 а) вид знизу; б) вид зверху  
 1, 2 – обв’язка; 3 – скоба; 4 – лист; 5 – кронштейн запірний;  
 6 – планка; 7 – петля; 8 – опора; 9 – планка

Основні технічні характеристики кришки люка наведені в таблиці Б.2.

Таблиця Б.2 – Основні технічні характеристики кришки люка

Найменування параметра	Значення
Маса, кг	161,5 – 191
Довжина, мм	1590
Ширина, мм	1530±2
Відстань між осями петель, мм	670±1
Товщина листа штампованого, мм	5
Матеріал	09Г2С, Сталь Ст3

## Б.5 ПОКАЗНИКИ ТА ЗАЛЕЖНОСТІ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬСЯ НА ПІДСТАВІ ВИМІРЮВАНИХ ДАНИХ

5.1. За результатами проведення випробувань з вимірювання напружень кришки люка згідно схеми розстановки тензодатчиків оцінюються значення номінальних напружень коефіцієнт запасу опору втоми.

## **Б.6 УМОВИ ВИМІРЮВАНЬ**

При виконанні випробувань дотримуються наступних умов:

6.1 Випробування провести в звичайних експлуатаційних умовах при розвантаженні та завантаженні вантажу з різними варіантами відкриття кришки люка, при скиданні вагона з «клинів».

6.2 Вимірювання виконуються в умовах навколишнього середовища:

- температури повітря  $+5\dots+35^{\circ}\text{C}$ ;

- вологості повітря 30 – 80%.

6.3 ЗВТ встановлюються на кришці люка порожнього напіввагону. Випробування проводяться на максимально завантаженому напіввагоні за чотирима режимами:

Перший режим – статичні випробування на міцність кришки люка, оцінка рівня напружень від ваги вантажу.

Другий режим – проведення випробувань кришки люка у закритому положенні завантаженого вагону при скиданні з «клинів».

Третій режим – відкривається один із двох замків які тримають кришку в закритому положенні (статичні випробування).

Четвертий режим – з напіввагону знімаються торсіони кришок люків, проводиться випробування на удар кришки люка під час розвантаження вантажу (відкриття кришки люка з ударом завантаженого напіввагону).

## **Б.7 ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ**

7.1 Для проведення випробувань використовують засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), характеристики яких наведено в таблиці Б.3 або аналогічні з не гіршими технічними характеристиками.

7.2. Для реєстрації показань тензорезисторів використовується програмно – апаратний комплекс, який складається з контролера cRIO NI 9012 з модулями АЦП NI 9237 та спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого в програмному пакеті LabVIEW або аналог.

7.4. Устаткування, засоби вимірювальної техніки та пристосування повинні знаходитися в технічно справному стані і мати комплект технічної документації (ТО, ТУ, ІЕ і ін.).

Таблиця Б.3 – Засоби вимірювальної техніки, що рекомендуються при дослідженнях

№	Назва засобу вимірювальної техніки	Основні технічні характеристики
1	Термогігрометр ИВА-6	Діапазон вологості 0÷98 %; похибка вимірювань вологості ±1% на 1000С. Розширена невизначеність (вологість): 25,5% -0,6%; 51,1%-0,6% 73,3%-0,6% Температура -40÷60°C, похибка вимірювань температури від -40 до 0 0С: ±10С; від 0 до 60 0С: ±0,50С Розширена невизначеність (температура): 20,0°C -0,13°C 0,0°C -0,13 °С 60,0°C -0,14°C
2	Автоматичний реєстратор на базі контролера CompactRIO-9012	
3	Аналого-цифровий перетворювач 4-х канальний NI 9237	Діапазон вимірювань деформацій ±2000 млн-1
4	Тензорезистор типу ВF200-10АА-А(11)-ВХ30	База 10 мм, діапазон опору R = 200,0±0,5 Ом, K= 2,10±1%

## Б.8 ПІДГОТОВКА ДО ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

8.1. Підприємством, на території якого проводяться випробування, розміщується дослідний зразок (універсальний напіввагон) для встановлення вимірювального обладнання у порожньому стані з технічно справним станом дослідних кришок люків.

8.2 За необхідності між підприємством та університетом складається акт відбору зразків.

8.3 Університет виконує:

- вимірювання умов навколишнього середовища: температури повітря та відносної вологості;
- підготовку місць встановлення тензорезисторів наведених в таблиці Б.4 згідно схеми розміщення;
- з'єднання вимірювальних кабелів із засобами вимірювальної техніки та виконує їх кріплення з наступним прокладанням по тепловозу;
- підключення первинних перетворювачів до автоматичного реєстратора на базі контролера CompactRIO-9025;
- перевірку працездатності встановлених засобів вимірювання.

Таблиця Б.4– Місця розміщення тензорезисторів

№	Назва ЗВТ	Зона встановлення ЗВТ	Позн.	Канал
1	тензорезистор	Знизу на передній обв'язці кришки люка	1	1
2	тензорезистор		2	2
3	тензорезистор	Знизу по центру бокової обв'язки кришки люка	3	3
4	тензорезистор		4	4
5	тензорезистор	Знизу на по центру центральної балки обв'язки	5	5

## **Б.9 ВИДИ ТА ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИМІЮВАНЬ**

9.1 Перед початком випробувань виконують такі операції:

- підбір тензорезисторів;
- підготовку місць установки тензорезисторів на кришці люка згідно схеми;
- наклейку тензорезисторів;
- монтаж з'єднувальних кабелів до тензорезисторів і апаратури, що реєструє;
- налагодження та перевірку працездатності апаратури.

Тензорезистори з'єднуються в напівмостову схему Уїтстона. Така схема складає вимірювальний канал, який доповнюється тензометричним модулем NI 9237.

9.2 Виконати підключення узгоджувального пристрою, автоматичного реєстратора на базі контролера CompactRIO-9025, та персонального комп'ютера до автономного живлення. Вимірювальну схему з підключеним живленням витримати не менше 0,5 годин до початку вимірювань.

9.3 Встановити частоту дискретизації запису 400 Гц, без цифрової фільтрації.

9.4 Виконати вимірювання, переконавшись у значенні показань на рівні «0».

9.5 Завантажити напіввагон до максимального навантаження ( $\pm 5\%$ ) сипучим вантажем.

9.6 Провести випробування за режимами 1–4 згідно п. 6.3 ПМ з трьохкратний повторюванням випробувань.

## Б.10 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

10.1 Вимірювання напружень кришки люка напіввагона, виконується з використанням типової методики виконання вимірювань деформацій.

10.2 Кількість реалізацій для кожного режиму випробувань повинна бути не менше трьох.

10.3 Результати зазначених величин наводять у вигляді таблиця Б.5.

Таблиця Б.5 – Приклад таблиці основних результатів випробувань

Найбільше ймовірне значення напружень	Канал 1 $\sigma_{\max 1}$ , МПа	Канал 2 $\sigma_{\max 2}$ , МПа	Канал 3 $\sigma_{\max 3}$ , МПа	Канал 4 $\sigma_{\max 4}$ , МПа	Канал 5 $\sigma_{\max 5}$ , МПа
Режим 1 Перший замір					
Другий замір					
Третій замір					
Режим 2 Перший замір					
Другий замір					
Третій замір					
n – коеф. запасу опорпу втоми згідно [2, 3]					
Режим 3 Перший замір					
Другий замір					
Третій замір					
Режим 4 Перший замір					

Другий замір					
Третій замір					



Рисунок Б.2 – Фото з випробувань

## **Б.11 КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТІ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ**

Похибка вимірювань прискорень при ходових випробувань не повинна перевищувати 10%.

## **Б.12 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ**

12.1 Під час реалізації даної програми та методики випробувань виконавці робіт повинні неухильно дотримуватися правил виробничої санітарії, охорони праці та пожежної безпеки.

12.2 Випробування повинні проводитися у відповідності з Правилами технічної експлуатації залізниць України ЦРБ-0004.

12.3 Перед допуском до робіт з проведення випробувань всі учасники повинні пройти цільовий інструктаж з охорони праці.

12.4 Роботи з підготовки та проведення випробувань повинні проводитися під безпосереднім керівництвом та контролем керівника випробувань.

12.5 Керівник випробувань особисто забезпечує неухильне дотримання цієї ПМ.

12.6 Для виконання вимірювань допускаються працівники, які мають практичний досвід роботи в даній області, вивчили технічну документацію на засоби вимірювальної техніки згідно з цією методикою і конструкцію напіввагона, що досліджується.

12.7 Всі роботи під вагоном або в інших небезпечних місцях у ході випробувань повинні виконуватись щонайменше двома виконавцями, один з яких забезпечує безпеку того, хто безпосередньо працює.

12.8 У разі виникнення небезпечної ситуації слід негайно повідомити про неї керівника випробувань, який визначає порядок подальших дій для всіх причетних до проведення випробувань.

12.9 Початок випробувань необхідно проводити після підтвердження керівником випробувань готовності до проведення вимірювань.

### **Б.13 РОЗПОДІЛЕННЯ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ**

13.1 Керівника випробувань (відповідального виконавця) від призначають наказом по університету.

13.2 Керівник випробувань від університету несе відповідальність за дотримання правил техніки безпеки при проведенні випробувань, а також за придатність методик виконання вимірювань вимогам нормативної документації, за використання при вимірюваннях і обробці отриманих результатів повіреного (відкаліброваного) та атестованого устаткування.

### **Б.14 ВИМОГИ ДО КВАЛІФІКАЦІ ОПЕРАТОРІВ**

Для виконання вимірювань та обробки результатів допускаються працівники, які мають практичний досвід роботи в даній області, вивчили технічну документацію на засоби вимірювальної техніки згідно з цією ПМ і конструкцію рухомого складу, що досліджується.

### **Б.15 ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ**

15.1 Результати вимірювань оформлюються протоколом, який повинен містити наступні відомості: дату, час і місце виконання робіт, посилання на керівні

документи, що були використані при виконанні робіт, основні відомості про об'єкт випробувань; отримані результати випробувань; дані про відступ від вимог даної ПМ, якщо такі відступи мали місце, або констатацію відповідності випробувань вимогам ПМ; підписи відповідальних виконавців.

15.2 Після проведення випробувань оформлюється протокол випробувань.

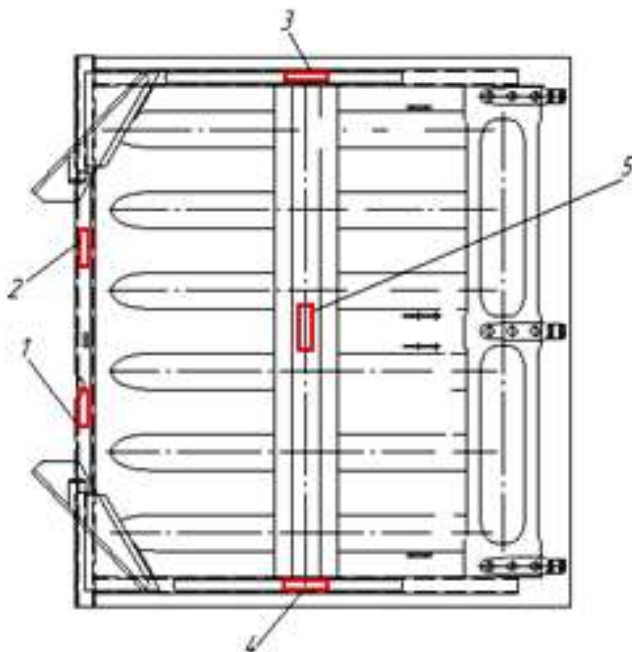


Рисунок Б.3 – Місця встановлення тензорезисторів на кришці люка

Таблиця Б..6

№	Назва ЗВТ	Зона встановлення ЗВТ	Позн.	Канал
1	тензорезистор	Знизу на передній обв'язці кришки люка	1	1
2	тензорезистор		2	2
3	тензорезистор	Знизу по центру бокової обв'язки кришки люка	3	3
4	тензорезистор		4	4
5	тензорезистор	Знизу на по центру центральної балки обв'язки	5	5