

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет "Транспортна інженерія"

Кафедра "Локомотиви"

"ДО ЗАХИСТУ"

Зав.кафедрою Б. Боднар Борис БОДНАР

" 11 " 01 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: "Підвищення надійності шкворневого вузла тепловоза"

за освітньою програмою: "Локомотиви та локомотивне господарство"
зі спеціальності 273 "Залізничний транспорт"
галузі знань 27 "Транспорт"

Виконав: студент групи ЛГ2221

Олексій ЛУК'ЯНЧЕНКО

Керівник Дмитро БОБИРЬ

Нормоконтролер Людмила КОЛОДІЙ

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент Олексій ЛУК'ЯНЧЕНКО

Дніпро, 2024

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Faculty “*Transport engineering*”

Department “*Locomotives*”

Explanatory Note
to Master’s Thesis

master

on the topic: “**Improving the reliability of the locomotive kingpin assembly**”

according to educational curriculum: “*Locomotives and Locomotive Economy*”
in the Speciality 273 “*Railway transport*”
Branch of knowledge 27 “*Transport*”

Done by the student of the group *LG2221*:

Oleksiy LUKYANCHENKO

Scientific Supervisor: Dmytro BOBYR

Normative controller: Liudmyla KOLODII

Dnipro, 2024

Український державний університет науки і технологій

Факультет «*Транспортна інженерія*», кафедра «*Локомотиви*»

Спеціальність 273 «*Залізничний транспорт*»

за ОП «*Локомотиви та локомотивне господарство*»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри «Локомотиви»

_____ Борис БОДНАР

« ____ » _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу на здобуття ОС «*магістр*»

студенту групи *ЛГ2221*

Лук'янченку Олексію Вікторовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «**Підвищення надійності шкворневого вузла тепловоза**»

затверджена наказом від «17» січня 2023 р № 33ст

2. Термін подання студентом закінченої роботи «12» січня 2024 р

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: статистичні данні про відмови тепловозів та складових елементів екіпажної частини в експлуатації; конструкторська документація на шкворневий пристрій тепловоза; навантаження, що діють на шкворневий пристрій; радіус кривої 125 м; ширина колії зазорів 24 мм; статичний навантаження від колісної пари на рейки 221 кН; швидкість руху в кривій 80 км/год; підвищення зовнішньої рейки 0,15 м; сила опору гідродемпфера 80 кН; жорсткість пружини при поперечній деформації 2,5 кН/мм.

4. Перелік креслень (демонстративного матеріалу)

- 1) Аналіз технічного стану екіпажної частини
- 2) Аналіз конструкції досліджуваного об'єкта
- 3) Визначення навантажень, що діють на шкворневий вузол в експлуатації
- 4) Побудова 3D-моделі
- 5) Аналіз міцнісних характеристик шкворневого вузла
- 6) Визначення економічної ефективності модернізації шкворневого вузла

5. Перелік питань до розробки та термін виконання

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Обсяг розділу, %
Аналіз несправностей шкворневого вузла в експлуатації. Аналіз конструкції шкворневого вузла	28.11.2023	30
Навантаження, що діють на об'єкт в експлуатації. Побудова 3D-моделі шкворневого вузла	19.12.2023	30
Аналіз міцнісних характеристик досліджуваного об'єкта. Визначення економічної ефективності модернізації шкворневого вузла тепловоза	09.01.2024	40

Студент _____

Олексій ЛУК'ЯНЧЕНКО

Керівник роботи _____

Дмитро БОБИРЬ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з шести розділів на 75 сторінках, налічує 57 ілюстрацій, 8 таблиць та 10 літературних джерел.

Метою кваліфікаційної роботи є поліпшення характеристик шкворневого вузла тепловоза шляхом підвищення коефіцієнту запасу міцності на основі удосконалення його конструкції з розробкою методики оцінки навантаженості та виробленні рекомендацій щодо вдосконалення конструкції досліджуваного об'єкта.

Об'єктом дослідження в роботі є шкворневий вузол тепловоза, а предметом – його характеристики міцності.

Актуальність даного питання обумовлена економічними умовами в яких працює залізничний транспорт, – вони ставлять серед першочергових завдань ефективне використання ресурсів локомотивного парку з високою експлуатаційною надійністю для забезпечення безпеки руху поїздів.

Методологічною основою дипломного проекту є сучасне уявлення про міцність і довговічність конструкційних елементів тягового рухомого складу. Загальна методика досліджень побудована на використанні чисельних методів аналізу та віртуального тривимірного моделювання.

Ключові слова: ТЕПЛОВОЗ, НАДІЙНІТЬ, МІЦНІСТЬ, ЕКІПАЖНА ЧАСТИНА, ШКВОРНЕВИЙ ВУЗОЛ

Зміст

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ НЕСПРАВНОСТЕЙ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ	8
2 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА.....	13
2.1 Конструкція шкворневого пристрою	13
2.2 Матеріали и их свойства	24
3 НАВАНТАЖЕННЯ, ЩО ДІЮТЬ НА ОБ'ЄКТ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	26
3.1 Вихідні умови	26
3.2 Умова під час рушання з місця.....	27
3.3 Умова при боксуванні колісних пар	30
3.4 Умова при входженні тепловоза в криву з боксуванням колісних пар.....	31
4 ПОБУДОВА 3D МОДЕЛІ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА.....	38
4.1 Побудова деталей.....	38
4.2 Створення збірки моделі	44
5 АНАЛІЗ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРСТИК ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА... ..	49
5.1 Постановка умов завдань	49
5.2 Створення сітки.....	49
5.3 Постановка першої задачі	50
5.4 Постановка другої задачі.....	54
5.5 Постановка третьої задачі	57
5.6 Внесення змін до конструкції моделі.....	61
6 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ШКВОРНЕВОГО ВУЗЛА ТЕПЛОВОЗА	64
6.1 Економічна ефективність модернізації технічно складного пристрою	64

					<i>0032.180156.000.04КР.ПЗ</i>			
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Підвищення надійності шкворневого вузла тепловоза</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
<i>Розроб.</i>	<i>Лук'яненко</i>							
<i>Перевір.</i>	<i>Бобирь</i>						5	75
<i>Рецензування</i>						<i>УДУНТ, зр. ЛГ2221</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Колодій</i>							
<i>Затверд.</i>								

6.2	Визначення витрат на ремонт шкворневого вузла тепловоза	68
6.4	Визначення витрат на модернізацію шкворневого вузла тепловоза	69
6.5	Доцільність впровадження змін у конструкцію локомотива	70
ВИСНОВКИ.....		73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		74

					<i>0032.180156.000.04КР.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

ВСТУП

На магістральному залізничному транспорті значна частина експлуатованих тепловозів уже виробили свій ресурс. Економічна ситуація не дозволяє оновлювати швидкими темпами рухомий склад залізниць. Тому існує проблема продовження терміну служби тепловозів і скорочення витрат на їх ремонт. Серед комплексу заходів, спрямованих на розв'язання цієї задачі, важливе значення мають питання вдосконалення конструкцій вузлів на основі застосування сучасних методів розрахунку і проектування [1, 2].

Досвід експлуатації тепловозів показує, що більшість несправностей в екіпажній частині припадають на тягові електродвигуни, підвіску тягового електродвигуна, моторно-осьові підшипники, гасителі коливань та шкворневий вузол.

Метою кваліфікаційної роботи є поліпшення характеристик шкворневого вузла тепловоза шляхом підвищення коефіцієнту запасу міцності на основі удосконалення його конструкції з розробкою методики оцінки навантаженості та виробленні рекомендацій щодо вдосконалення конструкції досліджуваного об'єкта.

Об'єктом дослідження в роботі є шкворневий вузол тепловоза, а *предметом* – його характеристики міцності.

Актуальність даного питання обумовлена економічними умовами в яких працює залізничний транспорт, – вони ставлять серед першочергових завдань ефективного використання ресурсів локомотивного парку з високою експлуатаційною надійністю для забезпечення безпеки руху поїздів.

Методологічною основою дипломного проекту є сучасне уявлення про міцність і довговічність конструктивних елементів тягового рухомого складу. Загальна методика досліджень побудована на використанні чисельних методів аналізу та віртуального тривимірного моделювання.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 АНАЛІЗ НЕСПРАВНОСТЕЙ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У першому розділі кваліфікаційної роботи проводиться аналіз несправностей шкворневого вузла тепловоза ТЕП70 за період експлуатації 2020–2022 р. Цей аналіз дасть змогу визначити кількість несправностей за роки експлуатації, а також визначити найслабші місця в конструкції шкворневого пристрою.

Розподіл несправностей обладнання тепловозів ТЕП70 наведено на рис. 1.1.

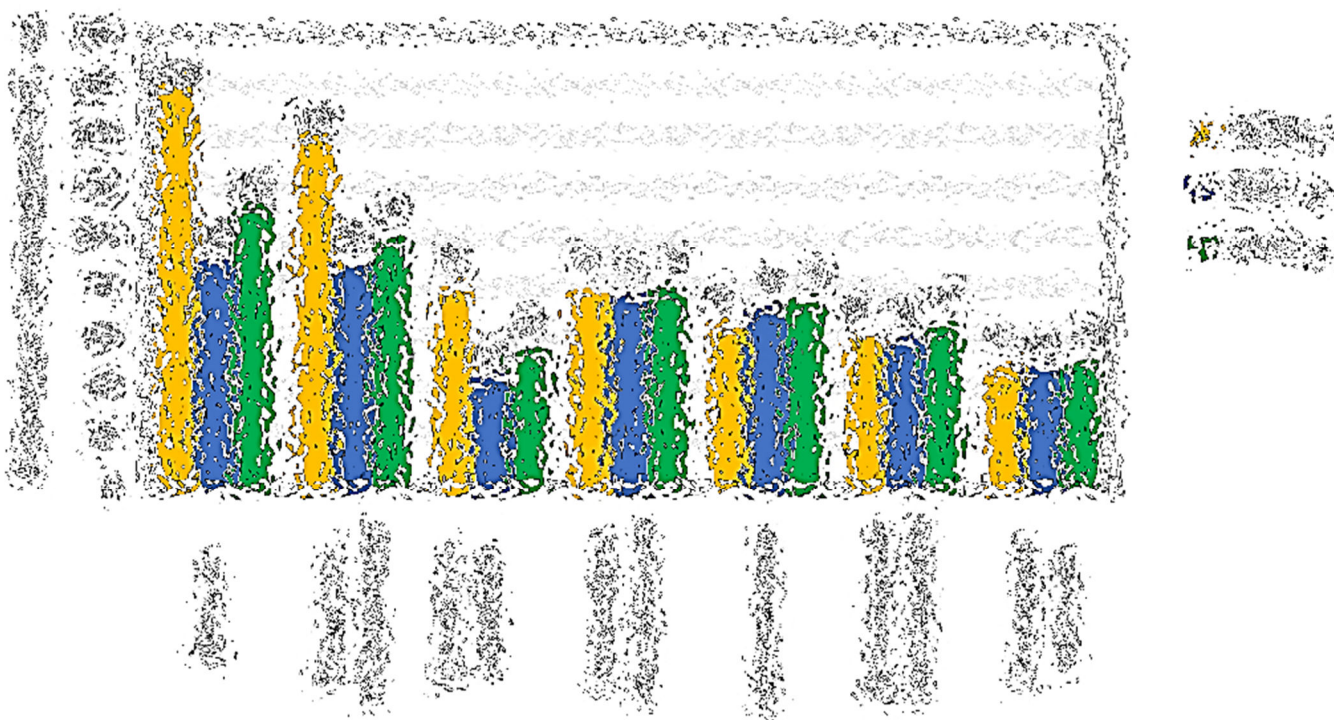


Рисунок 1.1 – Розподіл несправностей обладнання тепловоза за період 2020–2022 р.

Згідно з діаграмою, кількість відмов обладнання в екіпажній частині становить у середньому 10% від загальної маси. На ці 10% припадають несправності в шкворневому вузлі, підвісках тягового електродвигуна (ТЕД), гідродемпферах, моторно-осьових підшипниках (МОП) і так далі.

Несправності обладнання екіпажної частини наведено на рис. 1.2.

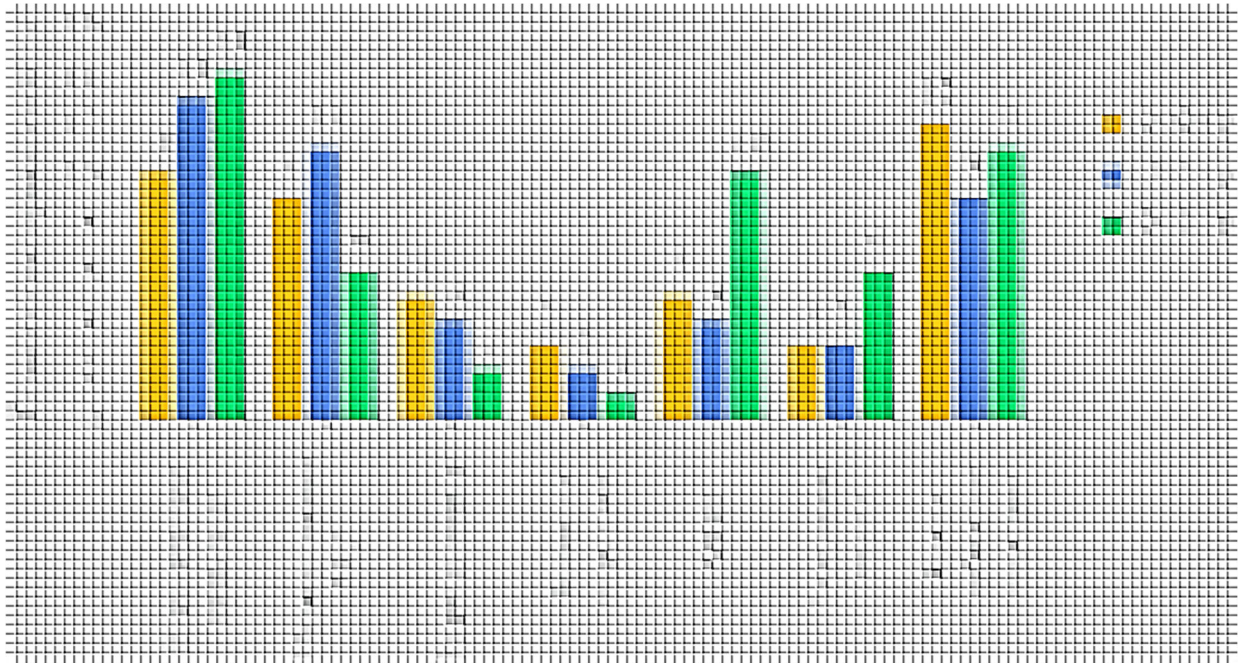


Рисунок 1.2 – Розподіл несправностей обладнання екіпажної частини за період 2020–2022 р.

З діаграми випливає, що більшу частину всіх несправностей становить шкворневий пристрій. У регіональній філії «Південна залізниця» в середньому фіксується 12 несправностей на рік по цьому вузлу. З економічної точки зору витрати на усунення несправностей не такі великі, як з точки зору безпеки руху, адже будь-яка з цих несправностей може стати причиною сходу рухомого складу з рейок.

Розглянемо характерні несправності в шкворневному вузлі під час експлуатації. Несправності шкворневого вузла наведено в табл. 1.1.

Як показує практика, основні несправності припадають на недотримання технології ремонту та значні механічні навантаження. Якщо в першому випадку проблему можна контролювати більш компетентними та висококваліфікованими фахівцями, то в другому – своєчасним виявленням несправностей і їх усуненням шляхом обробки деталей або заміною на нові.

Таблиця 1.1 – Несправності шкворневого вузла, їхні причини та способи попередження

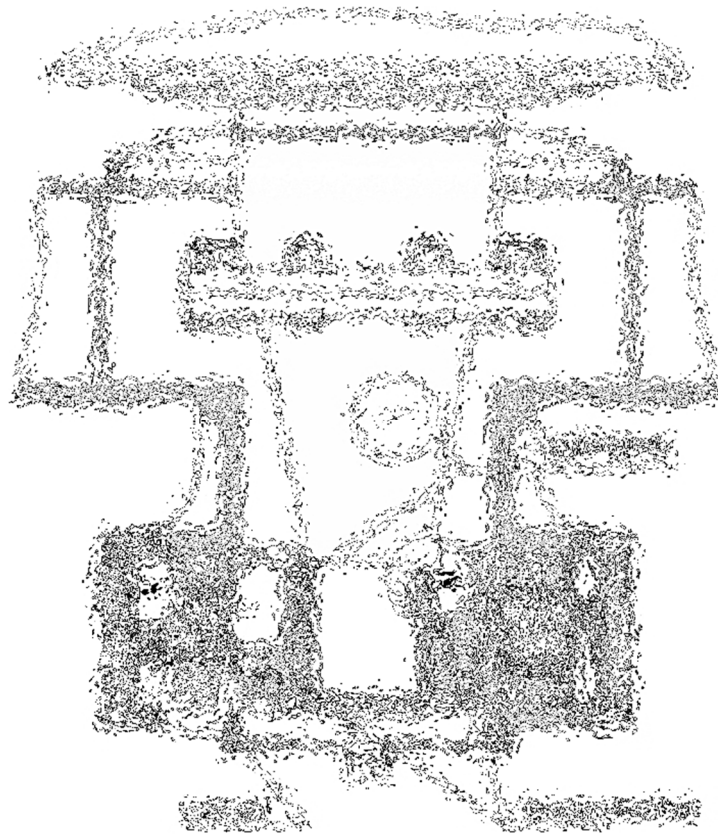


Рисунок 1.3 – Місця утворення несправностей у шкворневому вузлі

Як наведено на рис. 1.3, дефекти мають внутрішнє та зовнішнє походження. До внутрішніх відносяться тріщини, відколи й залишкові деформації, до зовнішніх – зноси робочих поверхонь деталей, натирання та риски. Причиною виникнення перших слугує велике механічне навантаження, ударне навантаження та резонансні коливання. Також причиною може стати і наявність дефектів під час виготовлення деталей ще на стадії виробництва [3].

У разі виникнення тріщин у шворні, дефекти усуваються вирубкою та заварюванням з подальшою механічною обробкою. Тріщини, сколи та залишкова деформація пружин не усуваються і деталі замінюються на нові. Зноси усуваються наплавленням металу на поверхню з подальшою механічною обробкою до найближчих градаційних розмірів, якщо деталь не підлягає ремонту, то замінюється на нову. Риски та натири усуваються зняттям металу до наступних градаційних розмірів або, за відсутності таких, деталі замінюються на нові [3].

На основі проведеного аналізу досліджуваного об'єкта можна зробити

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

висновок, що в екіпажній частині локомотива найбільша частка несправностей припадає на шкворневий пристрій. Причиною більшості несправностей можуть слугувати поздовжні та поперечні навантаження, яких зазнає шкворень під час експлуатації. Для глибшого аналізу необхідно розглянути конструкцію шкворневого вузла.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

2 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА

У цьому розділі розглядається конструкція шкворневого вузла, її особливості, а також розглядаються властивості матеріалів, з яких виготовлено конструкцію.

2.1 Конструкція шкворневого пристрою

Зв'язок між рамою візка і головною рамою локомотива у різних серій локомотивів може здійснюватися двома шляхами – з жорстким зв'язком і з пружним зв'язком [3].

У першому випадку візок має можливість обертатися тільки відносно шкворня, який жорстко передає навантаження в поздовжньому і поперечному напрямку. У другому випадку, візок не тільки повертається відносно кузова, а й має поперечне переміщення.

На тепловозі ТЕП70 реалізовано зв'язок із пружним шкворневим пристроєм. У головній рамі локомотива закріплено два шкворні, кожен з яких своїм нижнім кінцем під час опускання кузова на візок входить у шарнірний механізм. Шарнір, своєю чергою, встановлений між упорами в корпусі шкворневої балки рами візка, а також шарнір має фіксацію знизу притискними планками. Ця конструкція дає змогу вільно переміщатися пристрою поперек візка, що забезпечує поперечний нахил кузова.

Через шкворневий пристрій передаються поздовжні та поперечні сили, а також шкворневий пристрій є центром обертання візка відносно головної рами локомотива. Поздовжній зв'язок – жорсткий, він здійснюється через шкворень і шарнір. У випадку з поперечними силами, шкворневий вузол має пружний елемент у вигляді пружин, призначених для демпфування бічних коливань шкворневого пристрою під час бічного відносу візка [3].

У візку шкворневий пристрій розташовується в центральній частині. Між

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

двома поздовжніми балками екіпажної частини вварюють шкворневу балку. Вона має зварену конструкцію з чотирьох листів: нижній лист завтовшки 20 мм, верхній лист завтовшки 14 мм і два бічні листи завтовшки по 12 мм. Балка має вигнутий вигляд. Її центр зміщений на відстань 60 мм у бік середньої колісної пари. Це необхідно для того, щоб шкворневий пристрій був ближче до центру опор кузова локомотива. Середня частина шкворневої балки, що передає поздовжні сили тяги-гальмування, посилена двома поперечними ребрами, тим самим утворюючи замкнутий контур у балці. Зверху контур має окантовку у вигляді смуги для кріплення захисного брезентового чохла. Знизу, в центральній частині балки приварюється корпус для встановлення шкворневого пристрою. Під шкворневий пристрій у корпусі виконується вертикальна і горизонтальна розточка [3].

Рама візка тепловоза наведена на рис. 2.1.

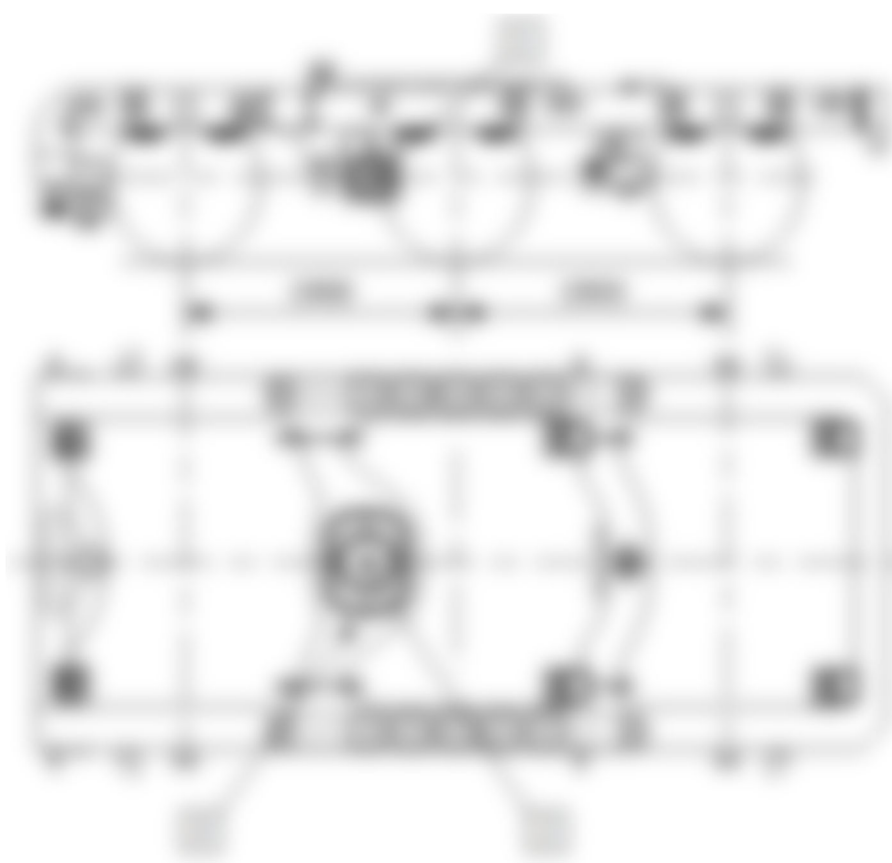


Рисунок 2.1 – Рама візка тепловоза:

- 1 – шкворневий пристрій; 2 – гніздо для встановлення шкворня;
3 – шкворнева балка

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Шкворень пов'язаний з рамою тепловоза не безпосередньо, а через тумбу. Завдяки цій конструкції, шкворень має менші габарити і його центр розташований на одній осі обертання колісних пар. При такому розташуванні шкворня на рамі візка не виникають моменти, що призводять до нахилу самого візка, а також перерозподілу навантажень на колісні пари, що позначається на реалізації зчіпної ваги та сили тяги локомотива [3].

Елементи шкворневого пристрою поділяються на такі групи:

- шкворневий вузол:
 - шкворень;
 - втулка;
 - тумба;
- шарнір:
 - камінь верхній;
 - камінь нижній;
 - куля;
- пружний елемент:
 - пружина, що повертає;
 - пружина, що підтискає;
 - стакан;
- корпус:
 - шкворневий корпус;
 - бічна кришка (2 шт.);
 - нижня кришка.

Необхідно розглянути кожну групу окремо.

Загальний вигляд шкворневого пристрою представлений на рис. 2.2.

2.1.1 Шкворневий вузол

Шворінь являє собою стрижень шарніра поворотного з'єднання між рамою

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

На нижню частину шворня припадають всі основні динамічні зусилля, що передаються від візка до рами кузова тепловоза. Також нижня частина схильна до тертя з боку шарніра, який вільно обертається відносно циліндричної поверхні шкворня. Щоб уникнути зносів і тріщин, на нижню частину шкворня напресовують загартовану втулку, а також заповнюють корпус шкворневого пристрою осьовим маслом [3].

Зовнішній вигляд шворня зображено на рис. 2.3–2.4.

Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд шкворня

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

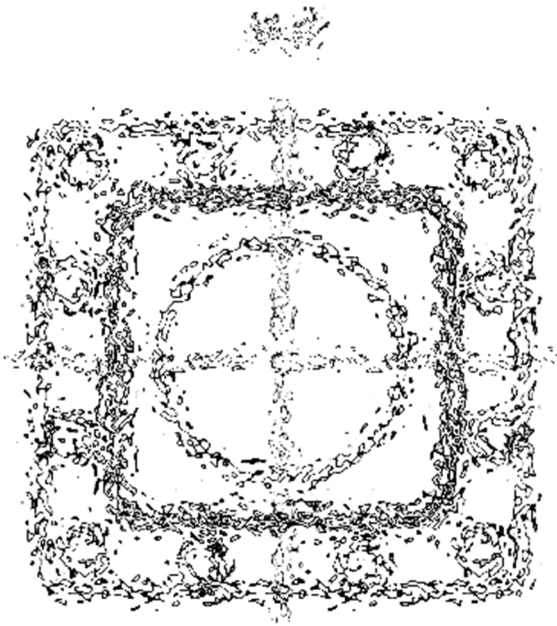


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд шкворня (перетин А–А)

2.1.2 Шарнірний механізм

Шарнірний механізм призначений для вільного обертання шкворня.

Шарнір встановлюється між бічними упорами, закріпленими у вертикальній розточці корпусу шкворневої балки гвинтами з кільцями ущільнювачів і гайками. Під час установа упорів витримують допуск із паралельністю робочих площин 0,3 мм, а прокладками регулюють поздовжній зазор із шарніром від 0,3 до 0,8 мм, тим самим забезпечуючи вільне поперечне переміщення шарніра впоперек візка [3].

Сам шарнір складається з двох каменів з розточеними півсферами, в які під час складання шарніра вставляється куля з отвором під загартовану втулку шкворня.

Зовнішній вигляд шарнірного механізму представлений на рис. 2.5–2.6.

2.1.3 Пружний елемент

Пружний елемент шкворневого пристрою призначений для гасіння бічних коливань і повернення шкворня у вихідне положення в разі бічного відносу [3].

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

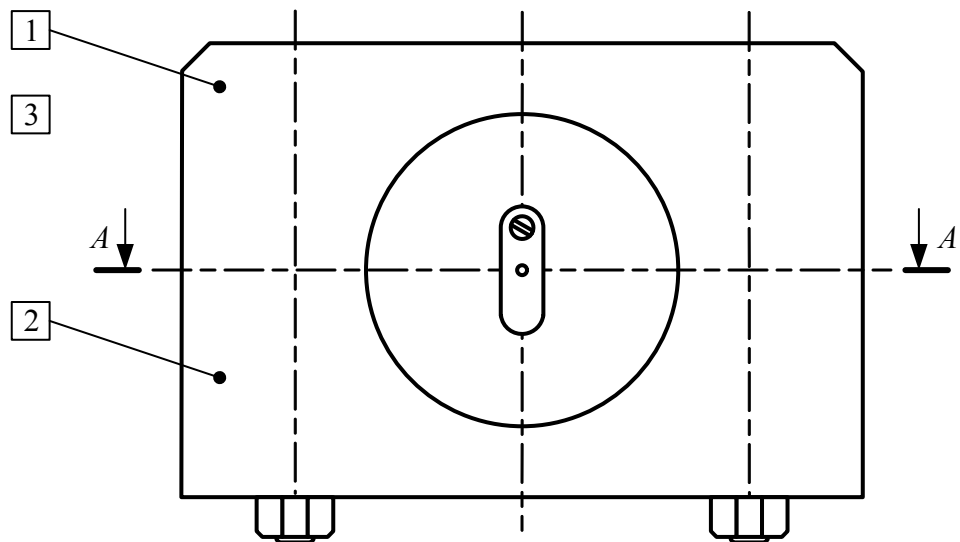


Рисунок 2.4 – Шарнірний механізм:

1 – верхній камінь; 2 – нижній камінь; 3 – шпонка

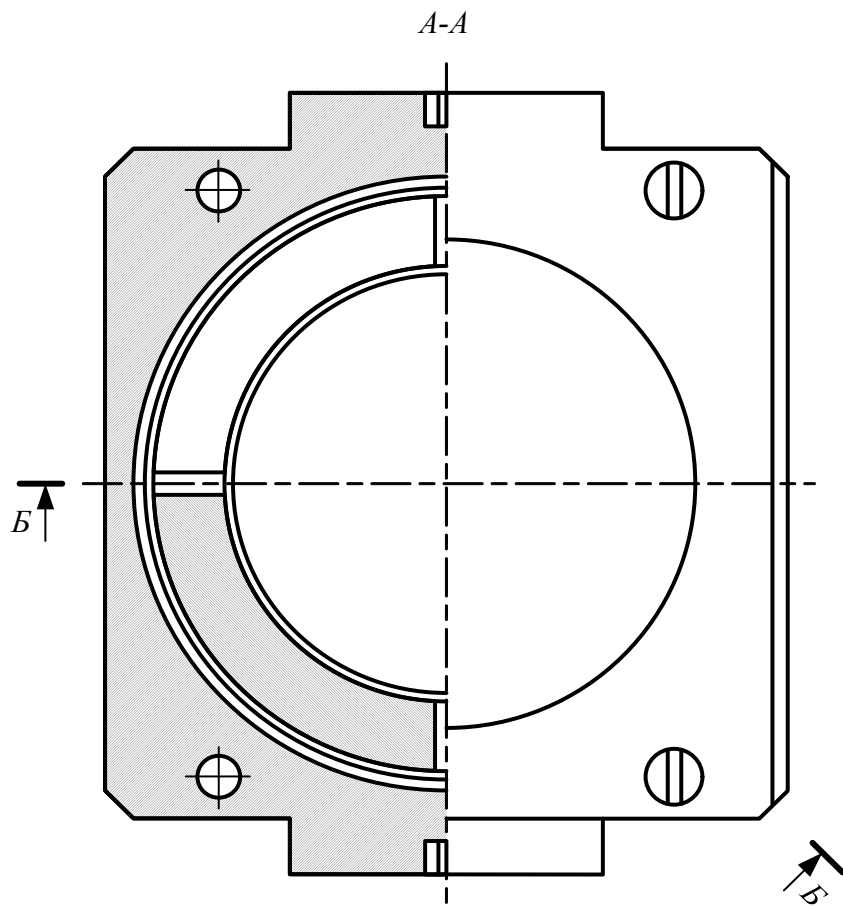


Рисунок 2.5 – Шарнірний механізм (перетин А-А рис. 2.4)

змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180156.000.04КР.ПЗ

Арк.

19

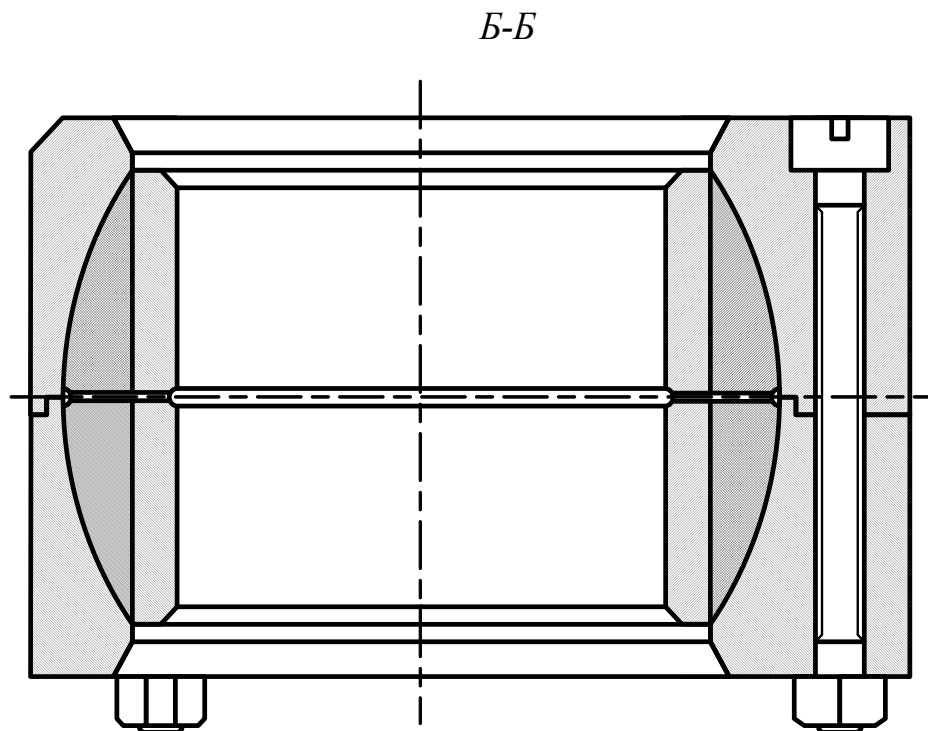


Рисунок 2.6 – Шарнірний механізм (перетин Б-Б рис. 2.4)

Пружний елемент складається зі стакану та двох пружин. Першу пружину – підтискаючу, встановлюють у стакан, який вставлено в пружину, що повертає. Усю конструкцію встановлюють у корпус, після чого закривають кришкою з відповідною кількістю прокладок. Далі проводиться затягування болтів та їх обв'язка дротом. Зовнішній вигляд пружного елемента представлений на рис. 2.7

Пружина, що підтискає, забезпечує вільний поперечний хід шкворня, що дорівнює 20 мм в обидва боки, тобто в разі зміщення центру шкворня до 20 мм включно пружина сама повертає шкворень. У разі більшого відхилення в роботу вступає повертаюча пружина, яка штовхає шарнір у зворотний бік. Пружини регулюються так, щоб зазор між стаканом і кришкою корпусу становив 20 мм, а між стаканом і шарніром – 25 мм. У сумі шкворень може поперечно зміщуватися в обидва боки до 45 мм [3].

Схему роботи пружного елемента представлено на рис. 2.8.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

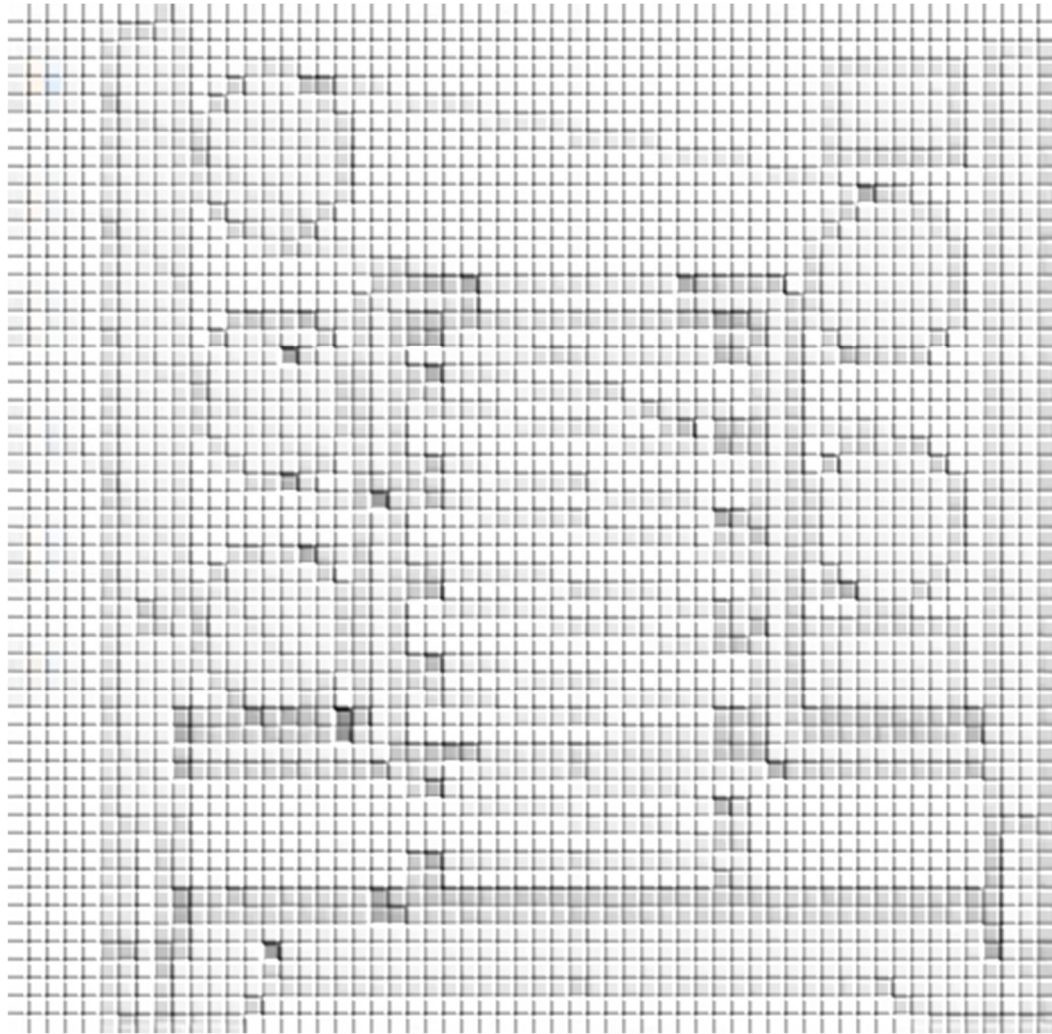


Рисунок 2.7 – Пружний елемент:

1 – пружина, що підтискає; 2 – пружина, що повертає; 3 – стакан;
4 – прокладки; 5 – корпус; 6 – бічна кришка

2.1.4 Корпус

У центральній частині шкворневої балки приварюється корпус для встановлення шкворневого пристрою. У корпусі виконується вертикальна та горизонтальна розточка. Він має зварену конструкцію та виготовлений з тієї самої марки сталі, що й шкворнева балка [3].

Зовнішній вигляд корпусу представлений на рис. 2.9–2.11.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

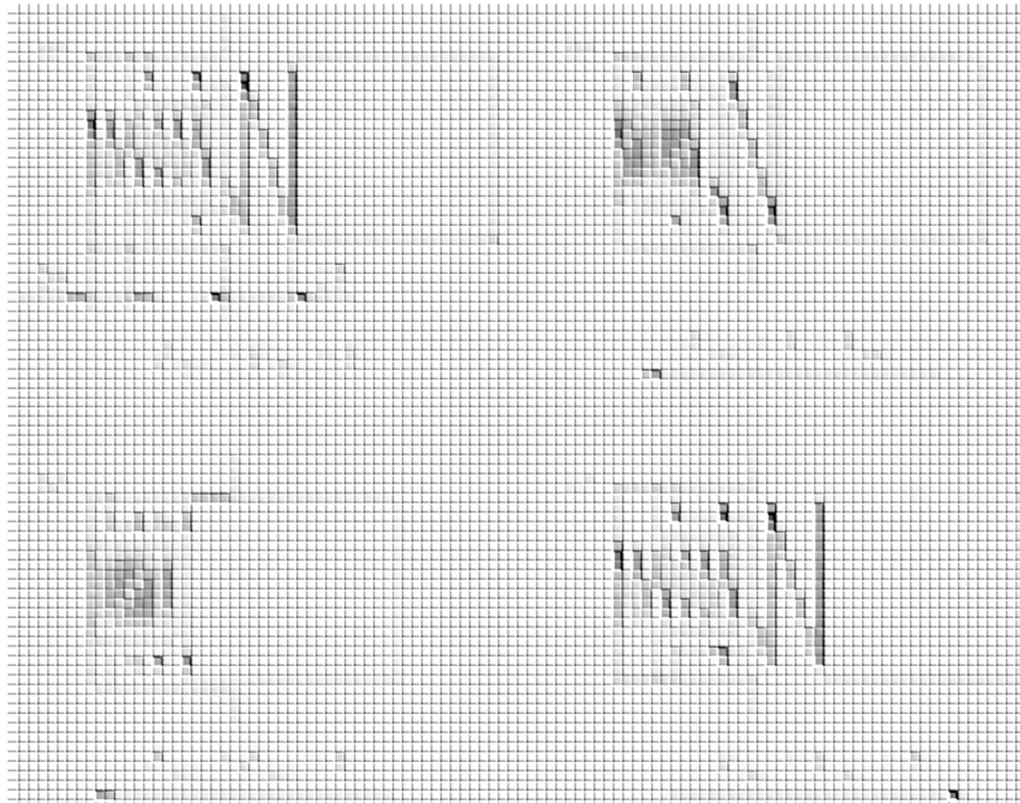


Рисунок 2.8 – Схема роботи пружного елемента:

a) стан спокою; *б)* зміщення шкворня до 20 мм; *в)* зміщення шкворня понад 20 мм; *г)* повернення шкворня у вихідне положення

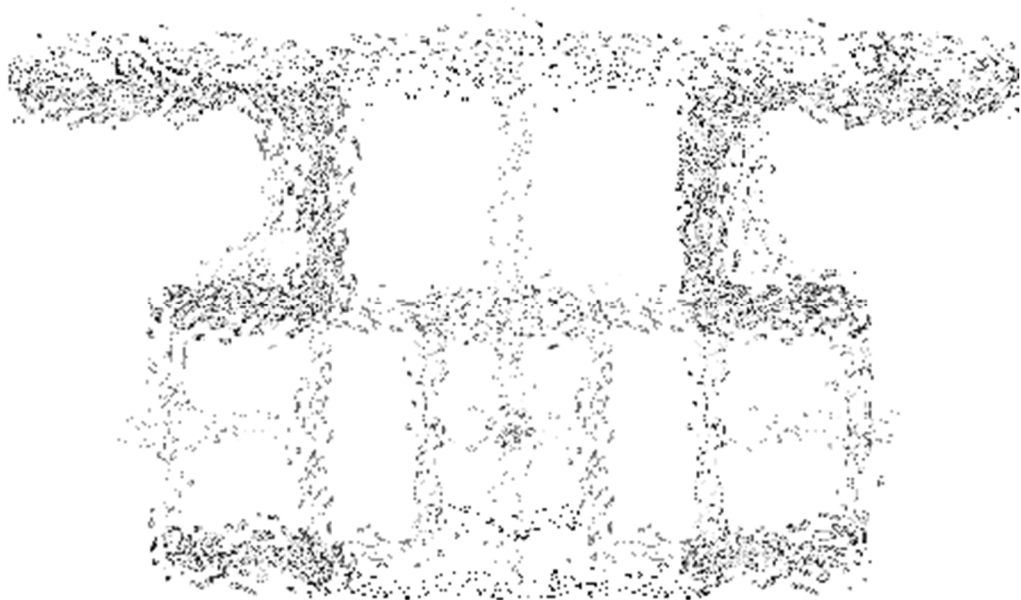


Рисунок 2.9 – Корпус (вид спереди)

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

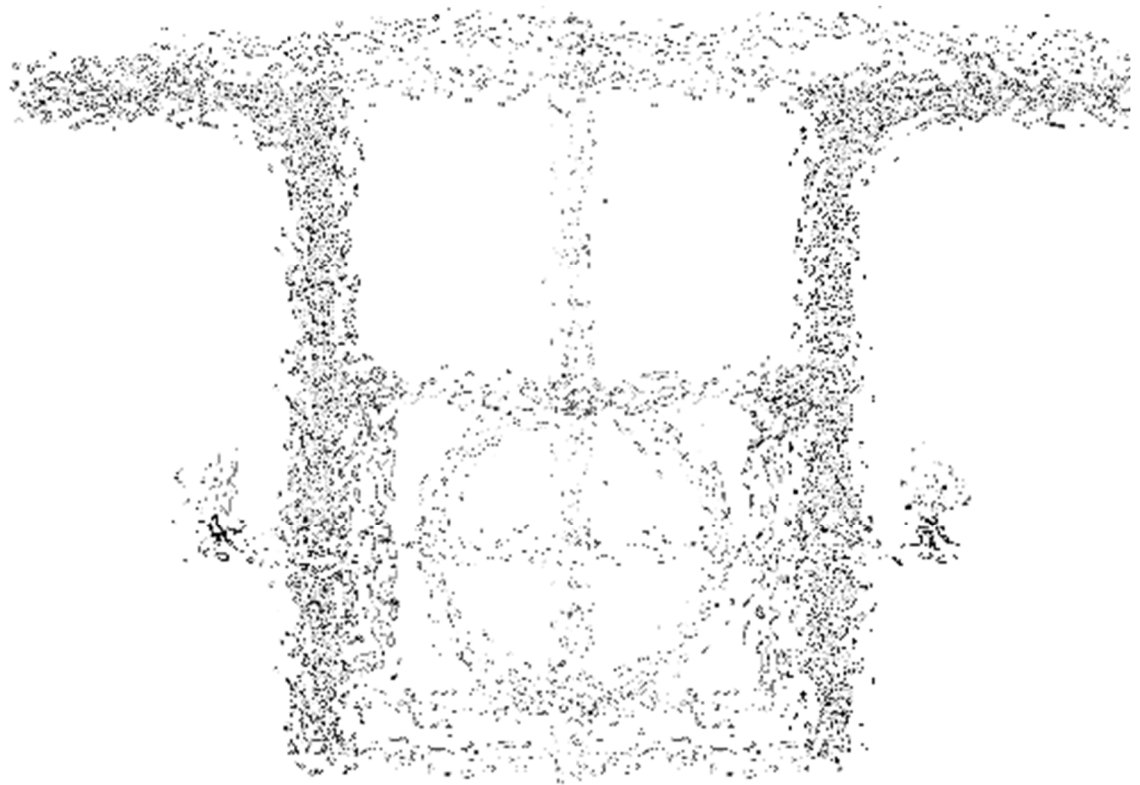


Рисунок 2.10 – Корпус (вид збоку)

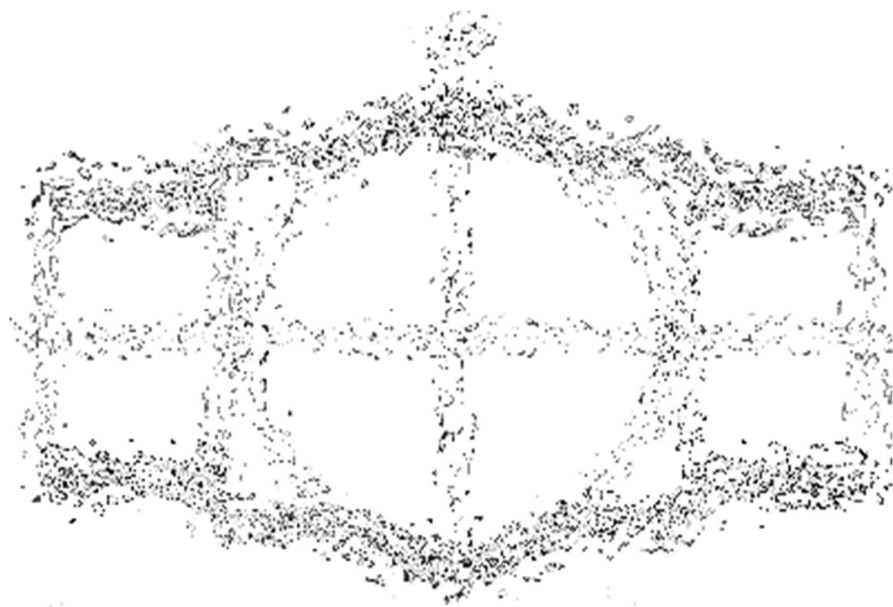


Рисунок 2.11 – Корпус (перетин А-А рис. 2.10)

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2.2 Матеріали и их свойства

У табл. 2.1 представлено марки сталі для деталей, що входять до шкворневого пристрою.

Таблиця 2.1 – Марки сталі деталей [4]

Деталь	Шкворень	Втулка	Камені, болти, гайки, кришки	Куля	Корпус	Пружини
Марка сталі	25Л	25Л (загартована)	40Х	БрО4Ц4С17	09Г2С	60С2А

Розшифровку марок сталі наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розшифровка марок сталі [4]

Параметр	Одиниця вимірювання	Величина по марках сталі					
		25Л	25Л (заг.)	40Х	БрО4Ц4С17	09Г2С	60С2А
1	2	3	4	5	6	7	8
Модуль пружності	ГПа						
Коефіцієнт Пуассона	–						
Модуль зсуву	ГПа						
Масова густина	кг/м ³						
Межа міцності при розтягуванні	МПа						

змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
						24

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Межа міцності при стисненні	МПа						
Межа плинності	МПА						
Коефіцієнт теплового розширення	$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$						
Теплопровідність	Вт/(м·К)						
Питома теплоємність	Дж/(кг·°C)						

На основі аналізу конструкції шкворневого пристрою можна зробити висновок, що вузол має схожі конструктиви з аналогічними пристроями у тепловоза 2TE70 і електровоза ВЛ80. Отримані дані під час аналізу конструкції будуть необхідні для розроблення моделі шкворневого пристрою в системі автоматизованого проектування SolidWorks і подальшого її аналізу в системі інженерного аналізу SolidWorks Simulation.

					<i>0032.180156.000.04КР.ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

кривій [4].

У рамках дослідження розглядаються умови за яких зусилля, що діють на шкворень під час експлуатації, досягають свого максимуму:

а) умова під час зрушення тепловоза з місця (визначення номінальної сили тяги);

б) умова під час боксування колісних пар (визначення сили тяги під час ударного навантаження);

в) умова при входженні тепловоза в криву з боксуванням колісних пар (визначення сили тяги в кривій при ударному навантаженні).

3.2 Умова під час рушання з місця

Розрахунок сили тяги проводиться за умови зрушення тепловоза з місця, оскільки за цієї умови буде реалізовуватися найбільше тягове зусилля.

Під час руху сила, що діє на шкворень, передається через раму візка, а та зі свого боку сприймає тягові зусилля від колісно-моторних блоків (КМБ) у вигляді сили опору руху. Також на візок діють додаткові моменти від навантаження на опорах тягових двигунів. У сумі всі ці моменти або розвантажують колісні пари, або довантажують їх. Це призводить до перерозподілу зчеплення колісних пар з рейкою, що зі свого боку позначається на силі тяги всього візка. Але перед початком розрахунку, необхідно розглянути розташування КМБ у візку та тип пружного підвішування тепловоза.

Схематичне розташування КМБ у візку представлено на рис. 3.1. Як показано на схемі, ТЕД розташовані «гуськом», тобто двигуни розташовані за колісними парами. Це означає, що під час руху колісними парами вперед, колеса розвантажуватимуться і матимуть меншу зчїпну вагу, а якщо рух буде в протилежний бік – довантажуватимуться. Також варто взяти до уваги, що середня частина шкворня розташована на одному рівні з колісними парами. Оскільки на тепловозі застосовано двоступеневе пружне підвішування, то висота шкворня відіграє вагомий роль. У цьому разі, за такого розташування шкворня, додаткові

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

моменти не виникають на рамі візка. Отже, на раму діє тільки сила опору руху, а на шкворень передаватиметься реакція від рами візка [3].

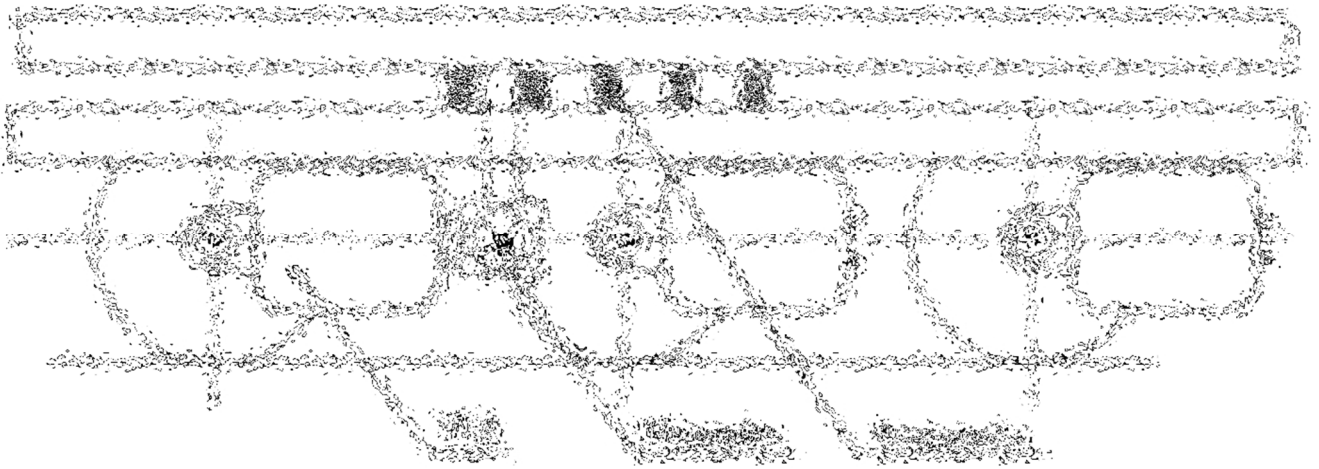


Рисунок 3.1 – Розташування КМБ у візку

Для спрощення розрахунку, приймається низка таких припущень:

- колісна пара навантажена рівномірно, тобто зчїпна вага на лівому і правому колесі буде однаковою;
- не враховується розвантаження та довантаження колісних пар.

Технічні характеристики тепловоза наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика тепловоза ТЕП70 [4]

Параметр	Одиниці виміру	Значення
1	2	3
Потужність тепловоза по дизелю	кВт (к.с.)	2942 (4000)
Службова маса	т	135,3%
Осьова формула	–	3 ₀ – 3 ₀

Продовження табл. 3.1

1	2	3
Дотична сила тяги:		
– під час зрушення з місця, максимальна	кН	280 (28,55)
– розрахункового режиму		167 (17)
Швидкість:		
– конструкційна	км/год	160
– розрахункового режиму		48

Згідно з наведеними даними з таблиці 3.1, тепловоз у момент початку руху реалізовуватиме дотичну силу тяги $F_d = 280$ кН. На візок у момент початку руху діятиме половина цієї сили, яка дорівнює

$$F_{d, \text{візок}} = 140 \text{ кН.} \quad (3.1)$$

Отримана сила $F_{d, \text{візок}} = 140$ кН є результуючою від трьох колісних пар і прикладається в точці контакту колеса з рейкою за напрямком руху. Під час руху на шкворень діятиме реакція від рами візка W , кН, яка спрямована проти руху і дорівнює

$$W = 140 \text{ кН.} \quad (3.2)$$

Утворення сил у візку представлено на рис. 3.3.

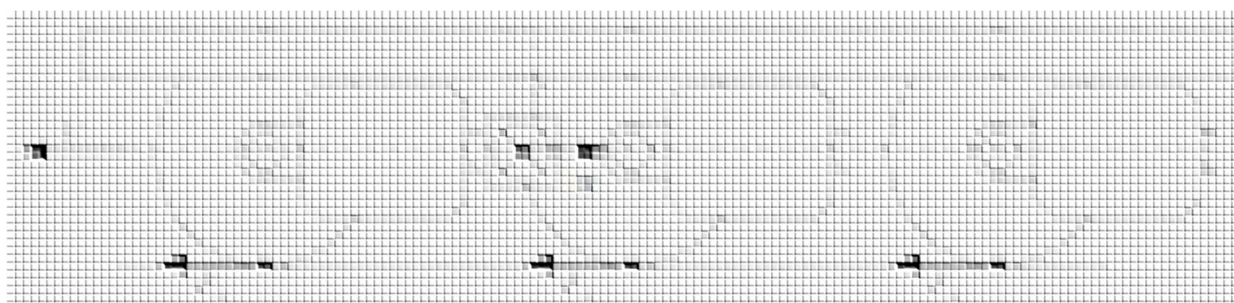


Рисунок 3.3 – Утворення сил у візку під час руху

За результатом розрахунку встановлено, що на шкворень під час зрушення

тепловоза з місця діятиме реакція від номінальної сили тяги ... кН.

3.3 Умова при боксуванні колісних пар

Термін «боксування» означає зрив зчеплення між колесом і рейкою під час реалізації тягового зусилля локомотивом [5]. Під час боксування відбувається різке збільшення частоти обертання валів ТЕД, що насамперед різко погіршує комутацію та сприяє виведенню з ладу ТЕД, а також зносу бандажів колісних пар і рейок.

Виникненню і розвитку явища боксування сприяє [5]:

- зволоження поверхні рейки під час слабкого дощу;
- забруднення поверхні рейки або поверхні катання бандажа колісної пари маслянистими рідинами;
- розвантаження осі тягового рухомого складу через неправильне його розважування;
- наявність на колісній парі великого прокату, що зменшує пляму контакту колеса і рейки;
- знаходження тягового рухомого складу в кривій малого радіусу (при цьому неминуче виникає прослизання, оскільки колесо, що йде зовнішньою ниткою рейкової колії, проходить шлях більший, ніж колесо, що йде внутрішньою ниткою).

У момент припинення боксування виникає різке збільшення сили тяги (поштовх) і небезпека розриву поїзда. Поштовх характеризується ударним навантаженням у місцях передачі тягових зусиль від екіпажної частини до кузова локомотива.

Точний вплив боксування на тягове зусилля оцінити неможливо, зважаючи на безліч зовнішніх факторів. Однак, згідно з експертною оцінкою, тягове зусилля в момент ударного навантаження може перевищувати силу тяги на 20%, що реалізується в момент початку руху [5].

Для моделювання ситуації боксування колісних пар необхідно задати умову, що в момент руху екіпажу з постійною швидкістю відбувається стрибок напруги на всіх обмотках тягових електродвигунів, що призводить до підвищення частоти

					<i>0032.180156.000.04КР.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

обертання валів тягових електродвигунів та, відповідно, до боксування колісних пар. У момент припинення боксування на шворінь діятиме реакція від сили тяги, збільшена на 20% від номінального навантаження, тоді

$$b_{1.2.3.4} \quad (3.3)$$

$$b_{1.2.3.4} \text{ кН.}$$

Отримане значення $b_{1.2.3.4}$ кН можна прийняти для подальших розрахунків як реакцію від сили тяги в момент ударного навантаження на шкворень, унаслідок припинення боксування колісних пар.

3.4 Умова при входженні тепловоза в криву з боксуванням колісних пар

Під час входження тепловоза в криву, на візок локомотива, крім тягових зусиль, діятимуть і бічні зусилля, які передаються через шкворень на раму тепловоза [6].

Для знаходження бічних зусиль необхідно зобразити схему сил, що діють на візок тепловоза в положенні найбільшого перекосу, тобто коли перша колісна пара притиснута до внутрішньої рейки, а задня – до зовнішньої. Схему сил наведено на рис. 3.4.

Згідно з представленою схемою, у кривій шворень сприйматиме на собі такі сили [7]:

- спрямовуючі зусилля з боку рейок від впливу коліс, що впираються в них коліс 1 і 3, кН;
- відцентрова сила, що діє на візок C , кН;
- горизонтальна складова маси локомотива, що виникає від підвищення зовнішньої рейки в кривій 1 , кН.

Перераховані вище сили можна представити у вигляді результуючої сили R , кН, яка алгебраїчно матиме вигляд:

$$R_{1.2.3.4} \quad (3.4)$$

					<i>0032.180156.000.04КР.ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Рисунок 3.4 – Схема сил, що діють на візок тепловоза в кривій

Щоб визначити невідомі сили, за наведеною схемою необхідно скласти систему рівноваги всіх сил і моментів, що діють у кривій

$$\begin{matrix} 1, 3 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 11, 33 & 2 & 12 & & B & 11, 33 \end{matrix} \quad (3.5)$$

де 1, 2, 3 – полюсні відстані від осей колісних пар до центру повороту візка, м;

1, 3 – сили тертя бандажів першої та третьої колісної пари об рейки, кН.

Сили тертя бандажів другої колісної пари об рейки не враховуються, оскільки ця сила тертя спрямована в напрямку руху і на раму візка не передається;

1, 3 – відстані від центру повороту візка до точки прикладання сил тертя 1 і 3, м;

1, 3 – кути зміщення сил тертя 1 і 3, град;

B – момент, що повертає, створюваний гідродемпферами і пружинами типу «Флексікойл», кН·м.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Полюсна відстань від першої осі колісної пари до центру повороту візка визначається за формулою:

$$l_1 = \frac{K_{\text{пов}}}{K} \cdot b, \quad (3.6)$$

де $b = 3,8$ м – база візка;

K – радіус кривої, приймаємо мінімальний радіус $K = 125$ м;

$K_{\text{пов}}$ – ширина колії зазорів, приймаємо $K_{\text{пов}} = 0,024$ м.

$$l_1 = \frac{0,024 \cdot 3,8}{125} = 0,007296 \text{ м.}$$

Полюсні відстані для другої та третьої колісних пар визначається через геометричні співвідношення (див. рис. 3.4) і дорівнюватимуть

$$l_2 = l_1 = 0,007296 \text{ м;} \quad (3.7)$$

$$l_3 = l_1 = 0,007296 \text{ м.} \quad (3.8)$$

Середні значення сил тертя в опорних точках коліс вважається рівними для всіх колісних пар тепловозів і визначаються за формулою:

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot P, \quad (3.9)$$

де $P = 221$ кН – статичний тиск від колісної пари на рейки;

μ – коефіцієнт тертя між рейками і бандажами; приймаємо рівним 0,25 [7].

$$F_{\text{тр}} = 0,25 \cdot 221 = 55,25 \text{ кН.}$$

Відцентрова сила, що діє на візок, визначається за формулою

$$G = \frac{v^2}{R} \cdot m, \quad (3.10)$$

де $G = 662$ кН – частина ваги тепловоза, що припадає на візок;

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

V – швидкість руху в кривій, приймаємо $V=80$ км/год;
 $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння..

$$\frac{2}{2} \text{ кН.}$$

Сила від підвищення зовнішньої рейки визначається за формулою:

$$1_{\dots}, \quad (3.11)$$

де h – підвищення зовнішньої рейки; $h = 0,15$ м [4];

$2S = 1,6$ м – відстань між колами катання коліс [7].

$$1_{\dots} \text{ кН.}$$

Відстані від центру повороту візка до точки прикладання сил тертя 1 і 3 відповідно до рис. 3.4 визначаються через геометричні співвідношення:

$$1 \sqrt{\frac{2}{1} \frac{2}{1}} \text{ м;} \quad (3.12)$$

$$3 \sqrt{\frac{2}{3} \frac{2}{3}} \text{ м.} \quad (3.13)$$

Кути зсуву сил тертя 1 і 3 визначаються також через геометричні співвідношення:

$$1_{\dots} 11_{\dots}; \quad (3.14)$$

$$3_{\dots} 33_{\dots}. \quad (3.15)$$

Момент, що повертає, створюваний гідродемпферами і пружинами типу "Флексікойл", розраховується за формулами [7]:

$$V \cdot G \cdot P \cdot r; \quad (3.16)$$

$$G \cdot C \cdot G; \quad (3.17)$$

					<i>0032.180156.000.04KP.ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Підставивши отримані значення моментів у формулу (3.16), момент, що повертає, дорівнюватиме

$$M = 1100 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Підставивши всі знайдені значення сил і моментів у рівняння (3.5) і вирішивши їх відносно 1 і 3, вийде така система рівнянь:

$$\begin{cases} 1 & 3 \\ 3 & 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1 \\ 3 \end{cases}$$

Підставивши всі знайдені значення у формулу (3.4), результуюча сила R дорівнюватиме

$$R = 127 \text{ кН}.$$

Для моделювання умови входження тепловоза в криву з боксуванням колісних пар, необхідно провести геометричне складання тягової сили у момент боксування колісних пар b із результуючою силою R за правилом паралелограма

$$b \text{ кр } \sqrt{\frac{2}{6}}. \quad (3.27)$$

$$b \text{ кр } \sqrt{2} \text{ кН}.$$

Вектор сили $b \text{ кр}$ відносно руху буде спрямований під кутом

$$b \text{ кр} \cdot \quad (3.28)$$

У розділі розглянуто умови виникнення сил, що чинять найбільший вплив на шкворневий вузол під час експлуатації. Отримано наступний результат

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

розрахунків:

– під час рушання тепловоза з місця на шкворень діятиме номінальне тягове навантаження, що дорівнює 140 кН;

– у момент ударного навантаження після припинення боксування всіх колісних пар на шворень діятиме зусилля, що перевищує номінальне навантаження на 20% – 168 кН;

– під час вписування тепловоза в криву на візок локомотива впливатимуть бічні навантаження, дія яких передається через шкворень на раму тепловоза. Додатковим навантаженням в умовах поставленого завдання є навантаження в момент удару після припинення дії боксування колісних пар. Результатом дії всіх сил у цей момент буде сила 271 кН, вектор дії якої зміщений на $51,8^\circ$ відносно напрямку руху.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

4 ПОБУДОВА 3D МОДЕЛІ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА

У цьому розділі описується процес створення 3D-моделі шкворньового пристрою в програмному комплексі SolidWorks, окремих її частин, а також створення збірки, яка передаватиме точні свідчення справжньої деталі.

4.1 Побудова деталей

За кресленнями проєктної документації будуються 3D деталі в пакеті SolidWorks. Усі елементи шкворневого пристрою змодельовані в масштабі 1:1. До готових виробів задаються характеристики матеріалу, згідно з табл. 2.2.

3D моделі кріпильних елементів наведено на рис. 4.1.

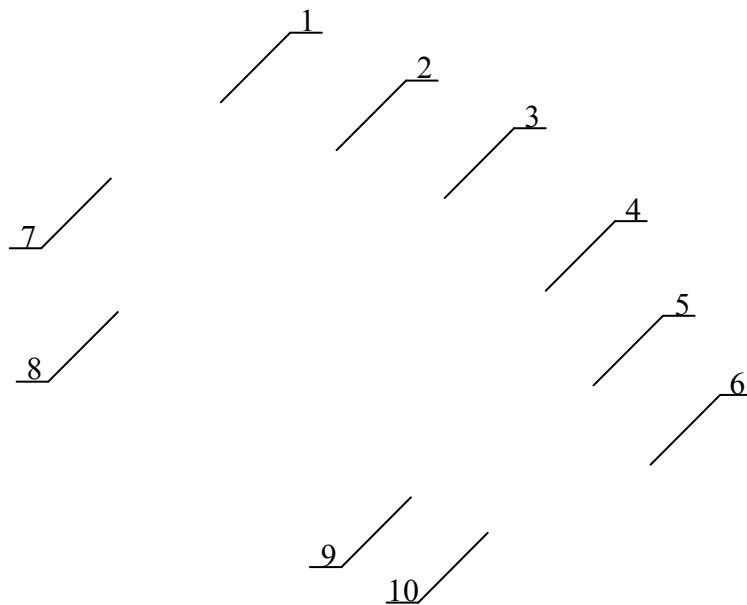


Рисунок 4.1 – Кріпильні елементи:

1 – гвинт M20; 2 – пробка; 3 – гвинт M32; 4 – болт M16; 5 – болт M10; 6 – болт M12; 7 – гвинт M8; 8 – гайка M20; 9 – шайба M16; 10 – шайба M10

На рис. 4.2 зображено шкворень і втулку.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

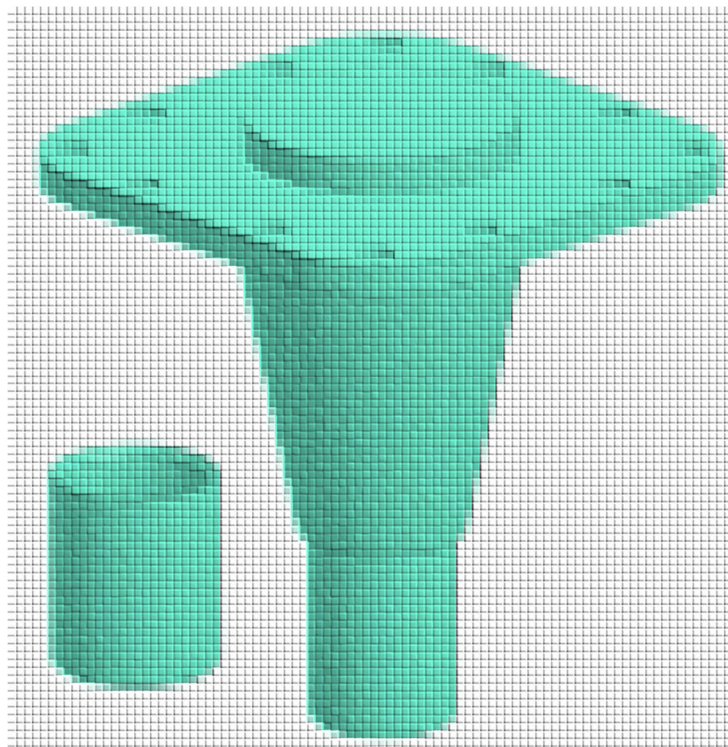


Рисунок 4.2 – Шворінь і втулка

На рис. 4.3 зображено пружини, що підтискають і повертають.

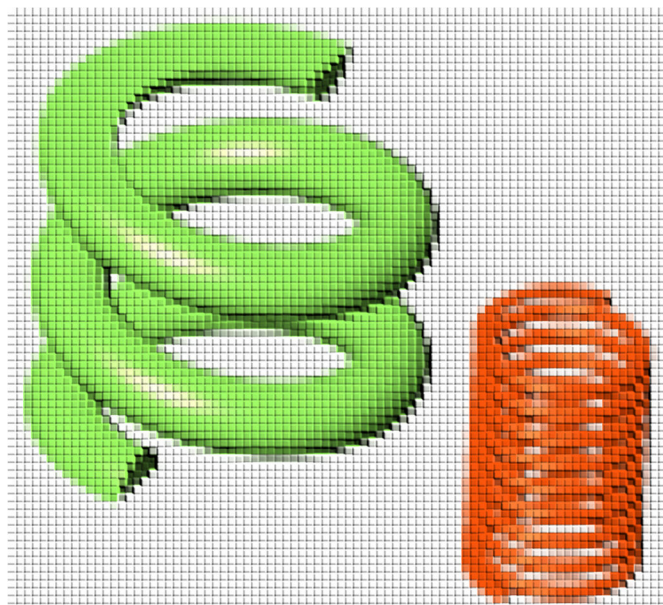


Рисунок 4.3 – Пружини (що підтискає і повертає)

На рис. 4.4 зображено стакан і його перетин.

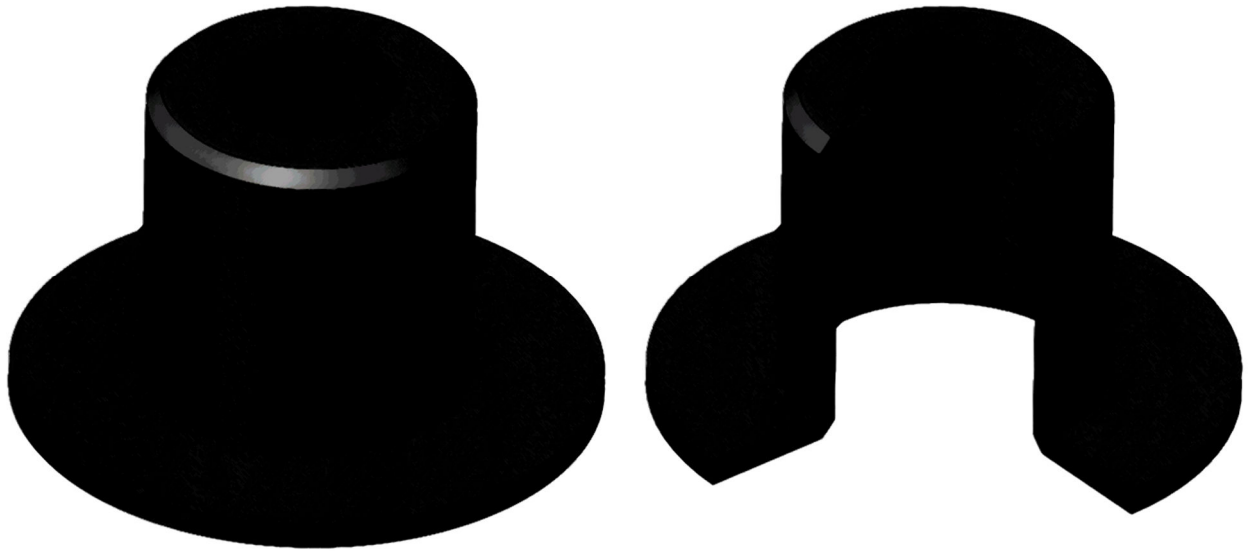


Рисунок 4.4 – Стакан та його перетин

На рис. 4.5 зображено кулю та її переріз.

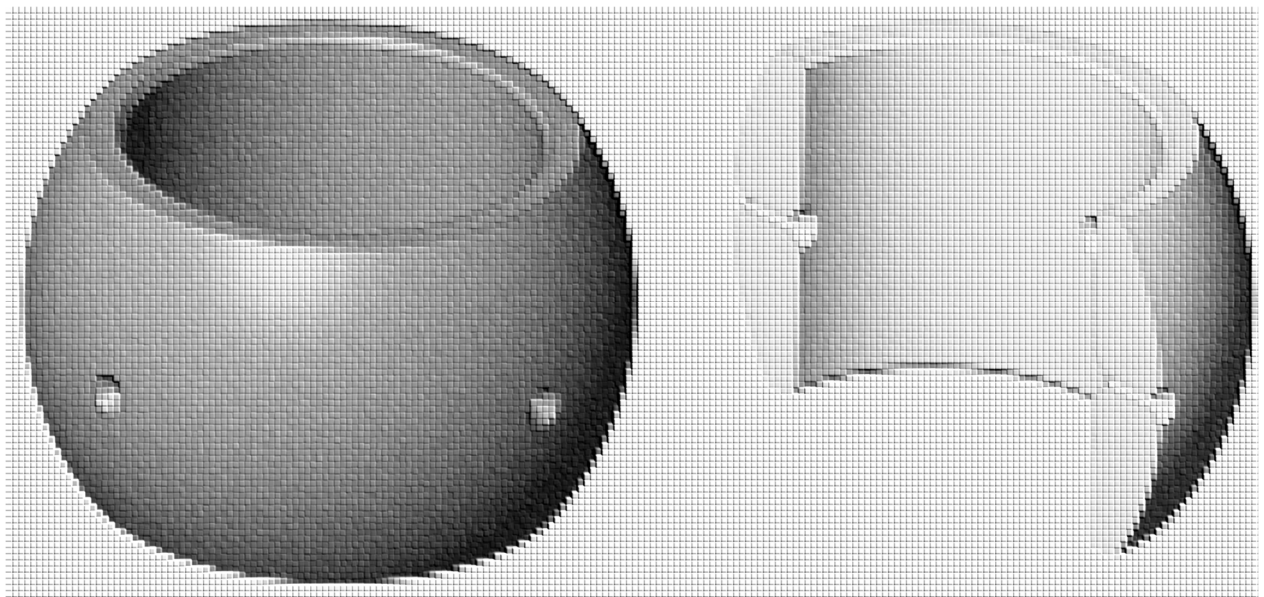


Рисунок 4.5 – Куля та її перетин

На рис. 4.6 зображено каміння верхнє і нижнє, а також їхні перерізи.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

На рис. 4.8 зображено нижню кришку та її перетин.

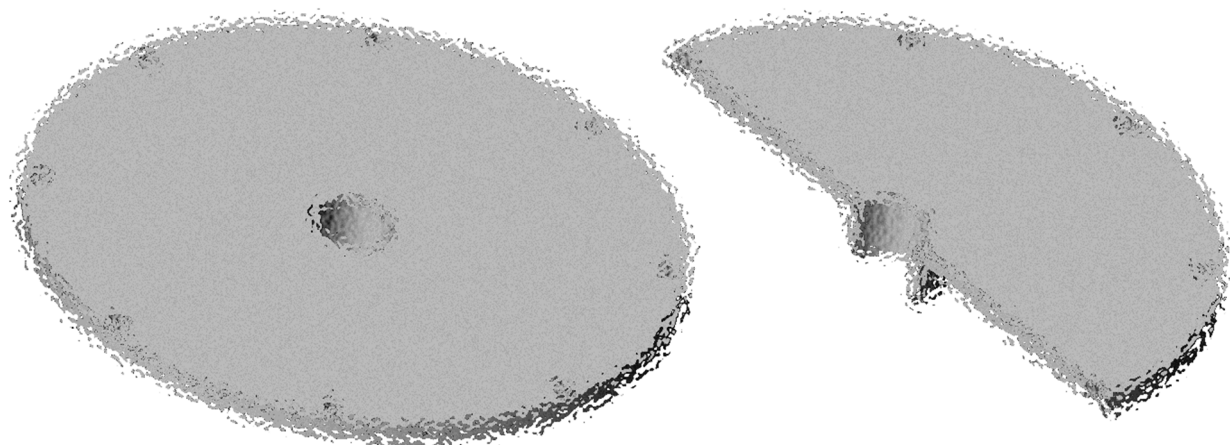


Рисунок 4.8 – Нижня кришка та її перетин

На рис. 4.9 зображено бічний упор і його перетин.

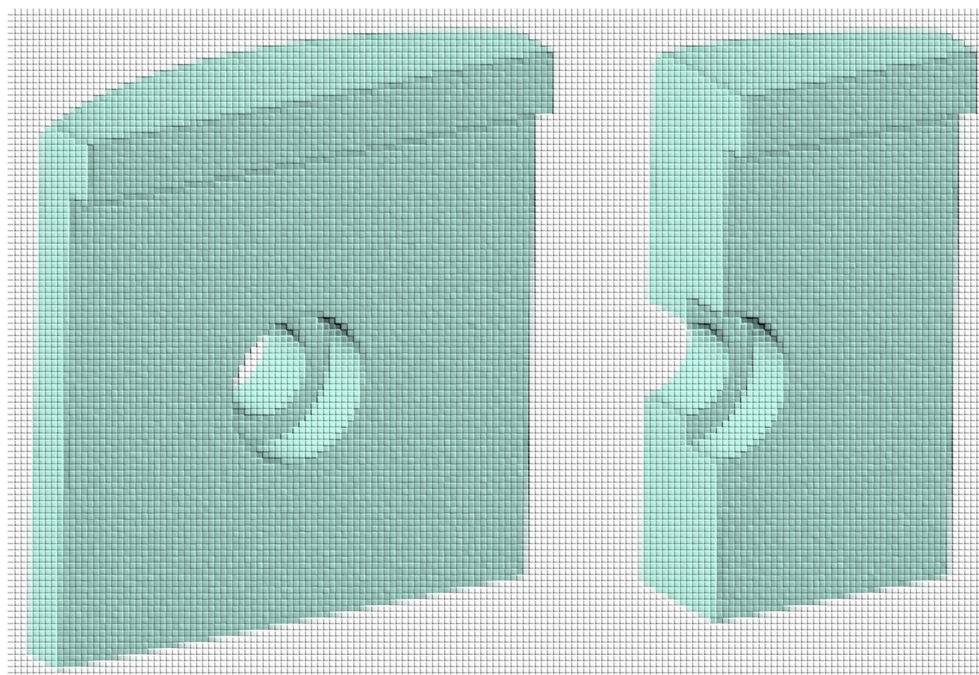


Рисунок 4.9 – Бічний упор і його перетин

На рис. 4.10 зображено притискну планку та її перетин.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

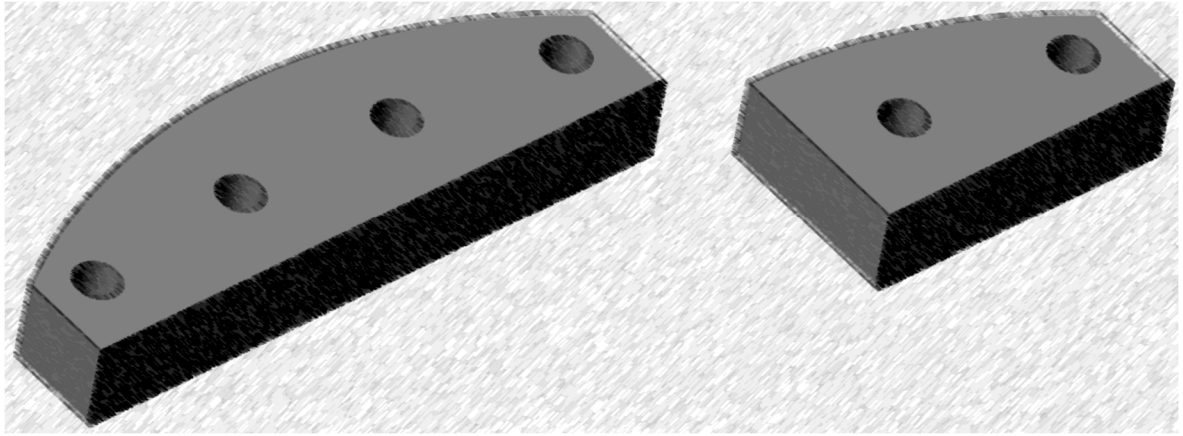


Рисунок 4.10 – Притискна планка та її переріз

На рис. 4.11 зображено корпус шкворневого пристрою в перерізі.

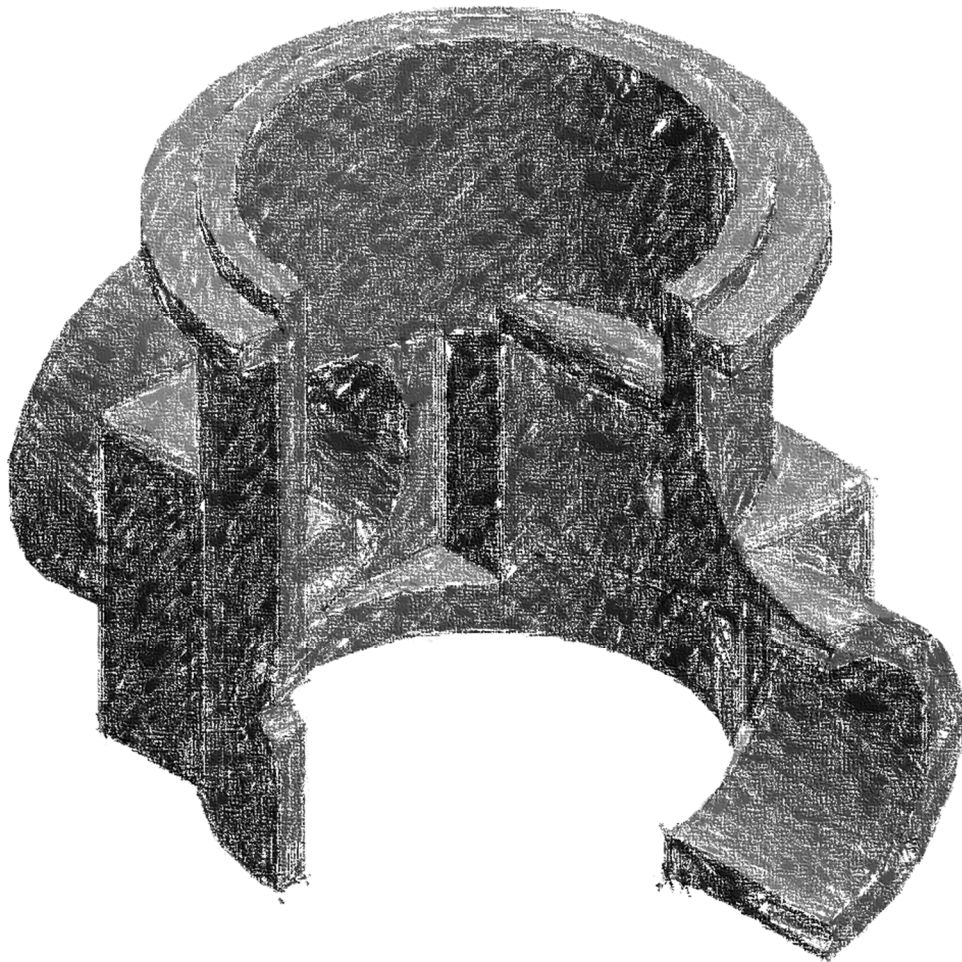


Рисунок 4.11 – Корпус шкворневого пристрою в перерізі

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

4.2 Створення збірки моделі

Деталі, описані вище, у збірці утворюють шкворневий пристрій. Збірка пружного елемента шкворневого пристрою представлена на рис. 4.12.

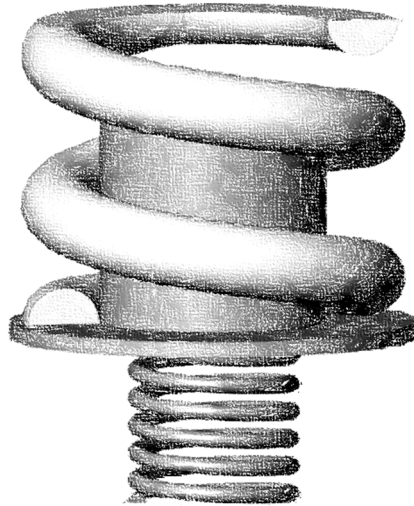


Рисунок 4.12 – Складання пружного елемента шкворневого пристрою

Складання притискної планки з рознесеними частинами представлено на рис. 4.13.

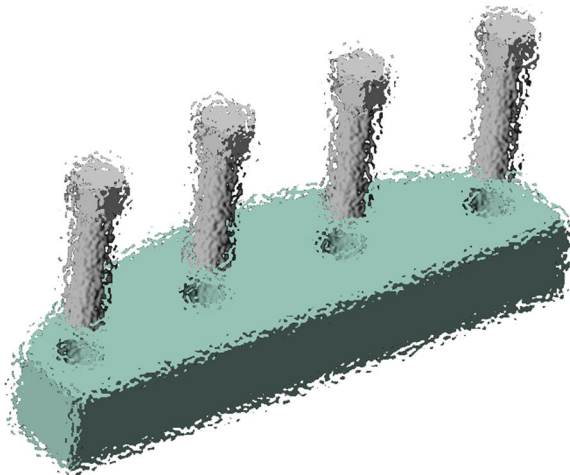


Рисунок 4.13 – Складання притискної планки з рознесеними частинами

Складання бічної та нижньої кришок із рознесеними частинами представлено на рис. 4.14–4.15.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

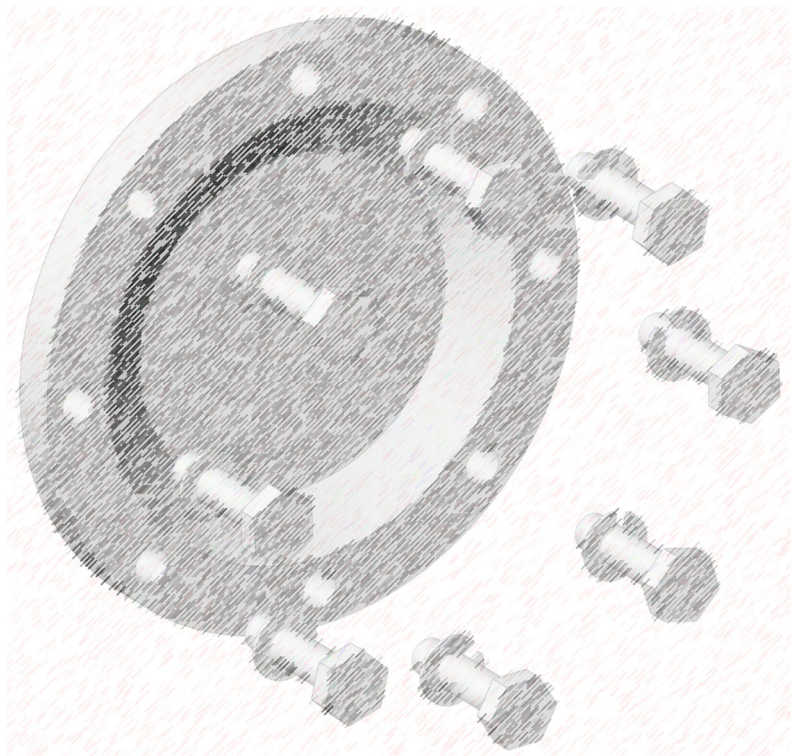


Рисунок 4.14 – Збірка бічної кришки з рознесеними частинами

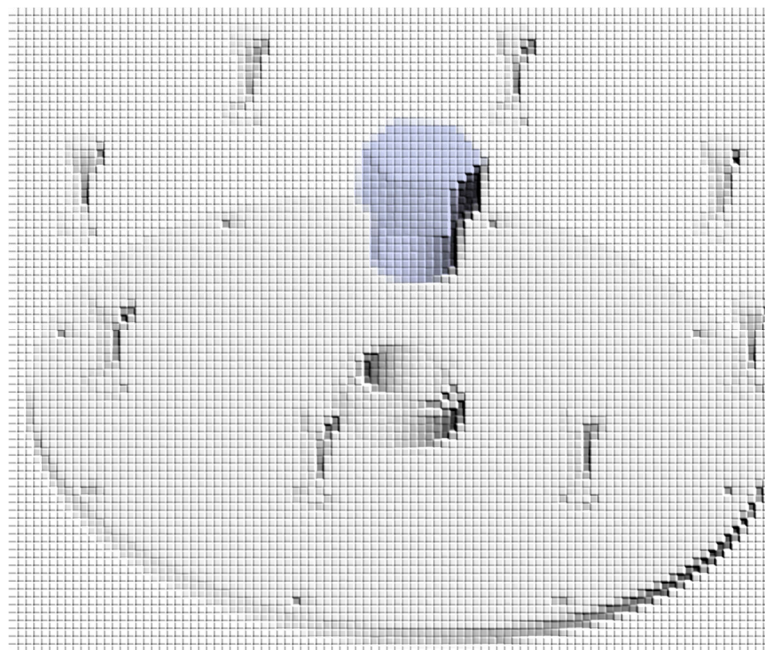


Рисунок 4.15 – Складання нижньої кришки з рознесеними частинами

Складання шарнірного механізму з рознесеними частинами представлено на рис. 4.16.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

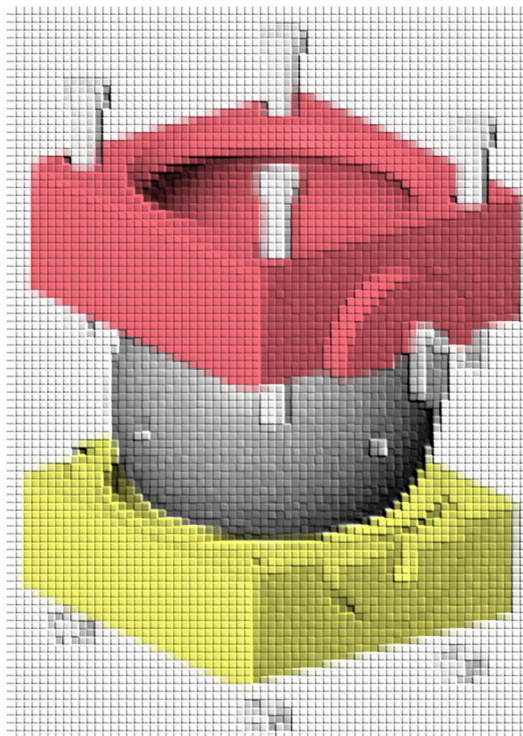


Рисунок 4.16 – Складання шарнірного механізму з рознесеними частинами

Складання бічного упору і притисної планки представлено на рис. 4.17.

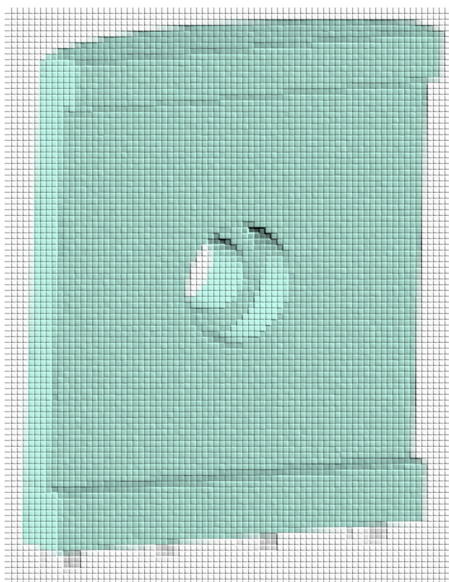


Рисунок 4.17 – Складання бічного упору та притисної планки

Складання шкворневого пристрою представлено на рис. 4.18–4.19.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

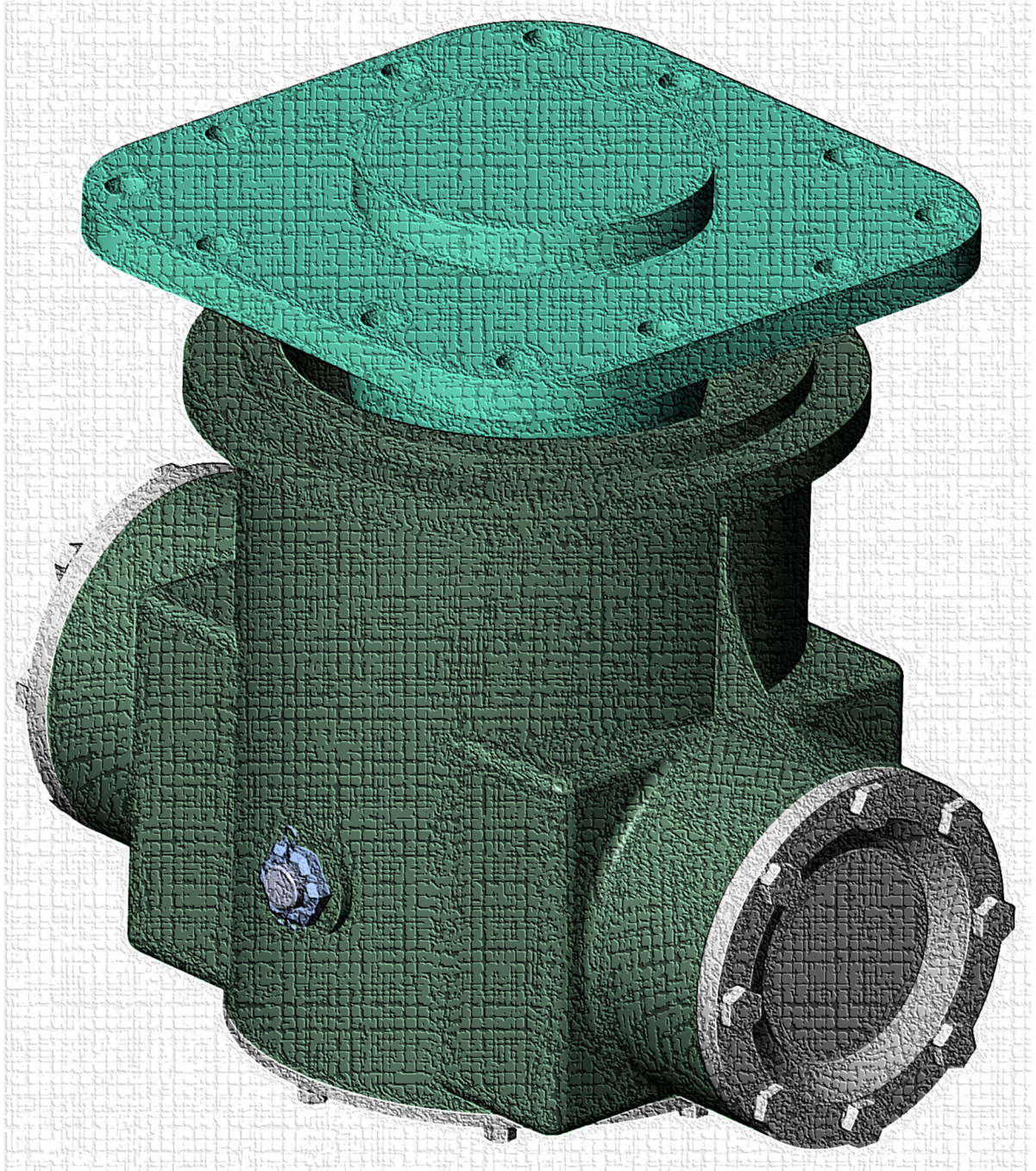


Рисунок 4.18 – Шкворневий пристрій у зборі

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

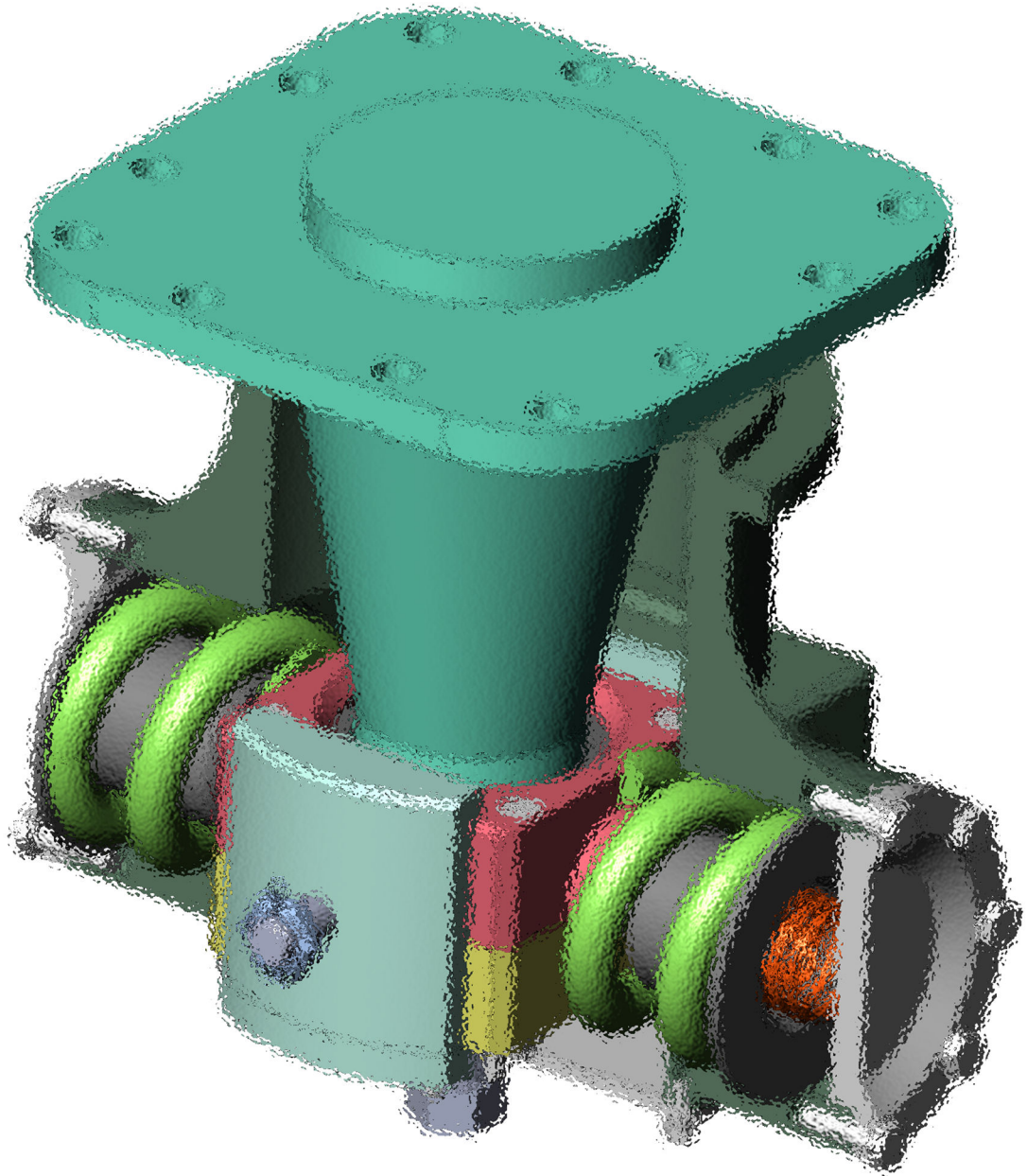


Рисунок 4.19 – Шкворневий пристрій у зборі з перетином

У розділі описано процес створення 3D моделі шкворневого пристрою в програмному комплексі SolidWorks. Ця модель призначена для вивчення міцнісних властивостей у системі інженерного аналізу SolidWorks Simulation.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

5 АНАЛІЗ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРСТИК ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА

У цьому розділі описується процес аналізу характеристик міцності шкворневого вузла в пакеті SolidWorks Simulation. Величини навантажень приймаються зусилля, розраховані у третьому розділі.

5.1 Постановка умов завдань

Для аналізу буде використовуватися зібрана 3D модель шкворневого пристрою (рис. 4.18). Перед початком розрахунків необхідно упевнитися в справності моделі на відсутність інтерференцій, а також у правильному виборі матеріалу, відсутності зазорів і повної нерухомої збірки [8].

У рамках дослідження необхідно розв'язати такі задачі:

- виконати міцнісний розрахунок шкворневого вузла під час дії номінального тягового навантаження;
- виконати міцнісний розрахунок шкворневого вузла в момент удару після закінчення дії боксування колісних пар;
- виконати міцнісний розрахунок шкворневого вузла під час руху тепловоза в кривій з боксуванням колісних пар.

5.2 Створення сітки

Створення сітки дуже важливий етап в аналізі моделі. Від розміру сітки залежить точність результатів. На ранніх стадіях аналізу конструкції, де можуть підійти приблизні результати, можна задати більший розмір елемента для швидшого розв'язання. Для більш точного рішення може знадобитися менший розмір елемента [8].

Для оцінювання властивостей міцності моделі, що розглядається, необхідно задати більшу щільність сітки, з глобальним розміром тетраедральних елементів 10 мм і допустимим розміром 0,5 мм.

Встановлення значень для створення сітки в SolidWorks Simulation наведено

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

на рис. 5.1.

Рисунок 5.1 – Встановлення значень для створення сітки в SolidWorks Simulation

Результат нанесення сітки на 3D модель представлено на рис. 5.2.

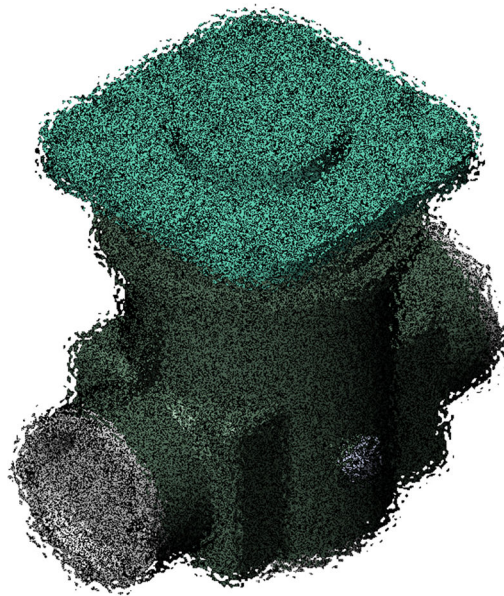


Рисунок 5.2 – Результат нанесення сітки на 3D модель

5.3 Постановка першої задачі

У задачі необхідно навантажити шкворневий пристрій силою тяги, що реалізується під час зрушення тепловоза з місця.

На першому етапі аналізу необхідно визначити місця кріплень у досліджуваній моделі. Якщо в реальних умовах шкворень за допомогою болтів кріпиться до тумби, а та кріпиться до рами тепловоза, то верхню частину моделі необхідно визначити фіксованою геометрією. На другому етапі необхідно прикласти силу до місця її дії. У реальних умовах сила передається через корпус

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

шкворневого вузла до бічного упору і розподіляється по всій його площі поверхні. До цієї поверхні прикладається сила, що дорівнює $W = 140$ кН.

Модель розрахунку зі встановленим кріпленням і прикладеним навантаженням зображено на рис. 5.3.

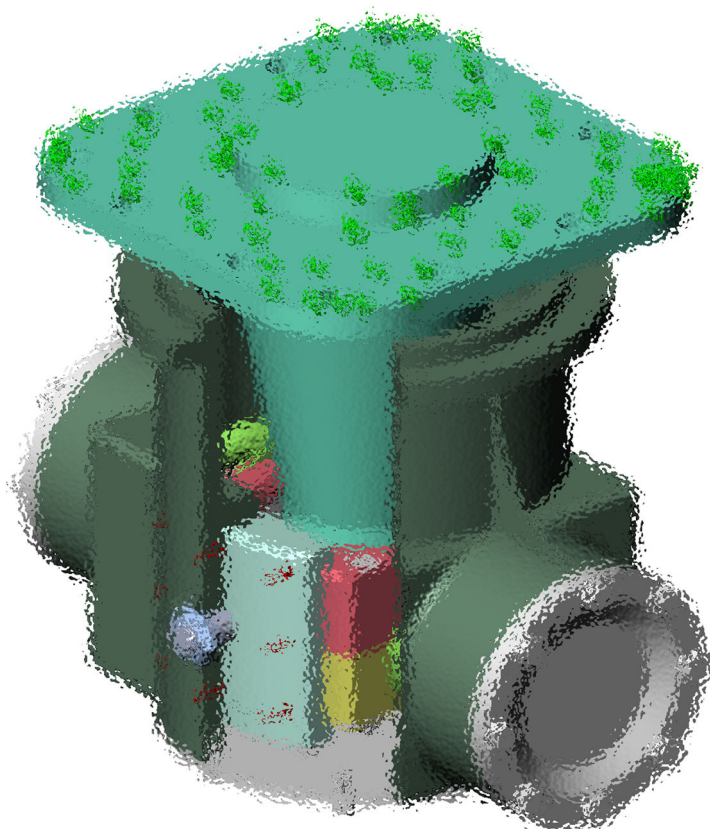


Рисунок 5.3 – Модель розрахунку зі встановленим кріпленням і прикладеним навантаженням

Після проведення симуляції, результати розрахунків представляються у вигляді епюри еквівалентних напружень за шкалою "von Mises". Епюри напружень представлено на рис. 5.4–5.5.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

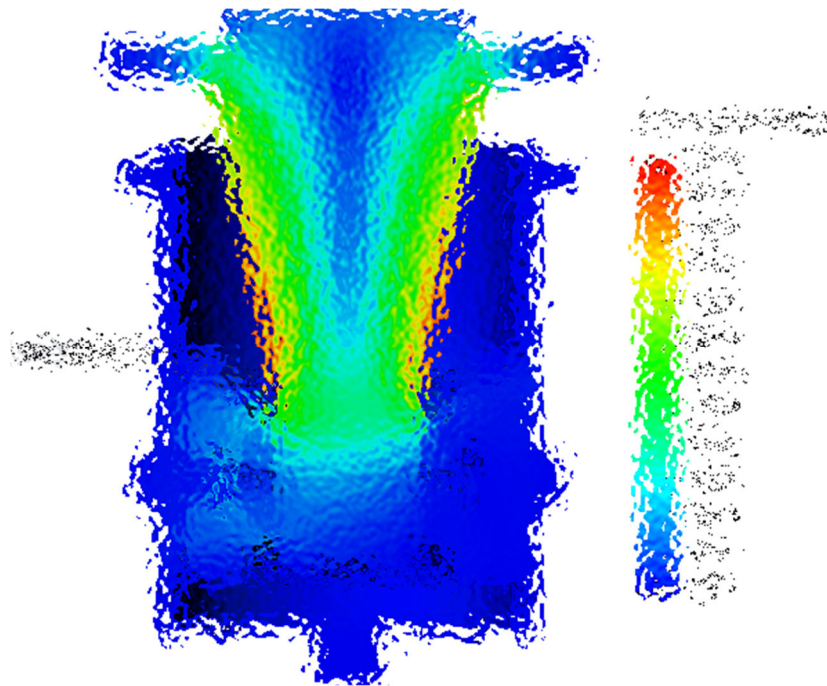


Рисунок 5.4 – Епюра напружень у поздовжньому перерізі (перша задача)

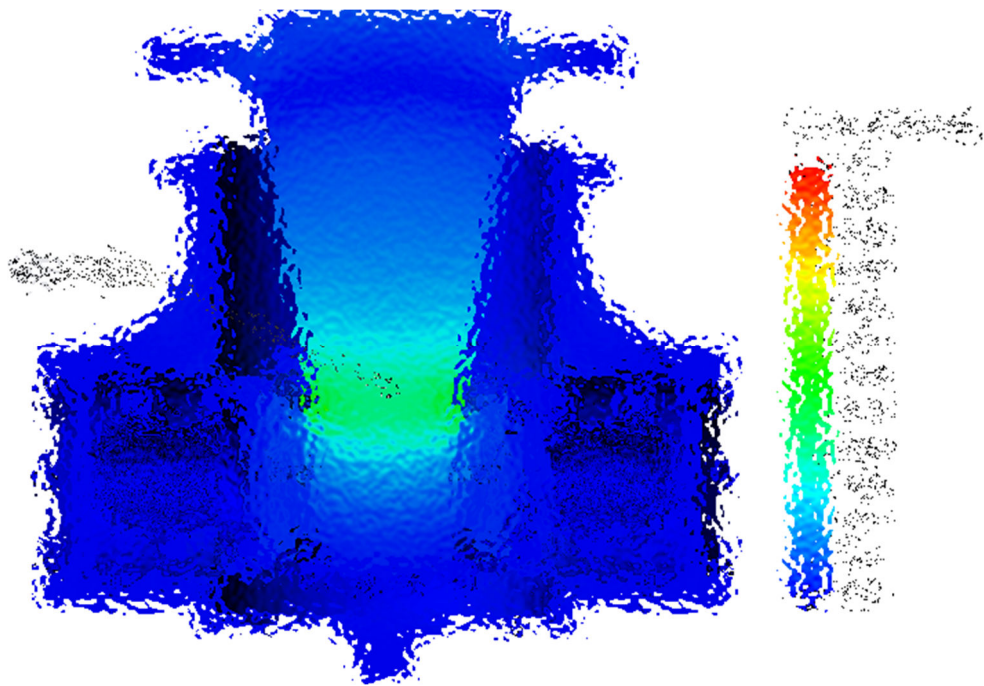


Рисунок 5.5 – Епюра напружень у поперечному перерізі (перша задача)

Аналізуючи отримані епюри, можна зробити висновок, що під час зрушення тепловоза з місця на шкворень діятимуть напруження, значення яких сягає 67,6 МПа, що не перевищує межу плинності матеріалу 24 МПа. Максимальні

					<i>0032.180156.000.04КР.ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

напруження виникають у середній частині шкворня в поздовжньому перерізі. Зіставивши отриманий результат з експлуатаційними статистичними даними в цих місцях фіксуються тріщини.

З епюри напружень у поперечному перерізі видно, що середня частина шкворня зазнає напруження в МПа, а і з потовщенням основного перерізу напруженість зменшується.

На основі отриманих епюр напружень можна зробити висновок, що за напрямком дії сили, слабкою ділянкою в моделі є середня частина шкворня.

На підставі побудованих епюр можна визначити запас міцності матеріалу за шкалою "FOS". Епюри запасу міцності матеріалу наведено на рис. 5.6–5.7.

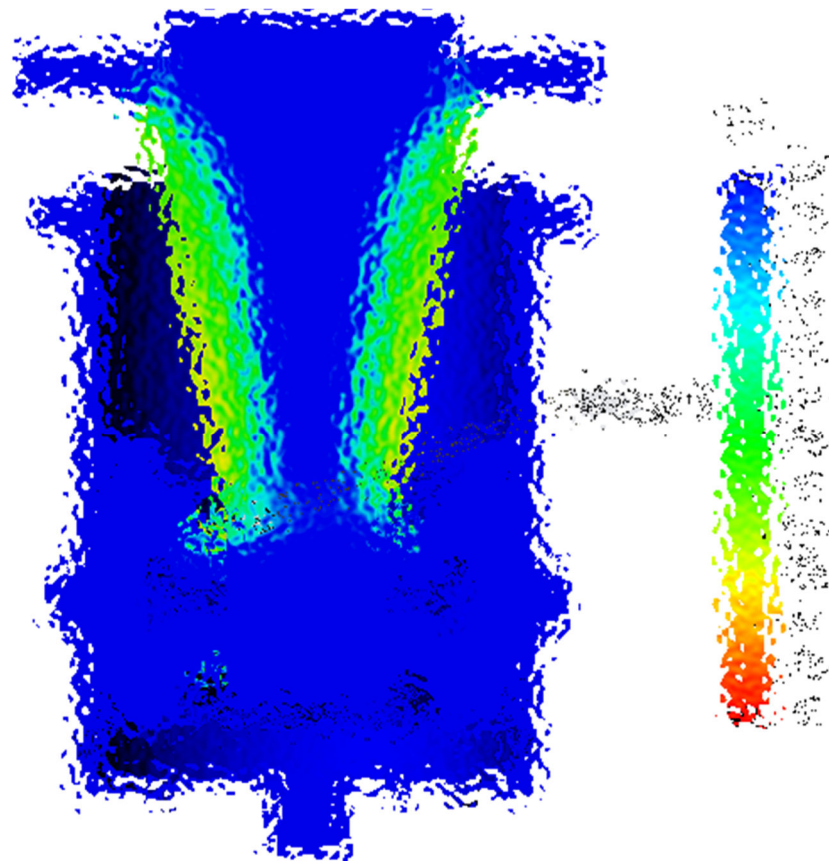


Рисунок 5.6 – Епюра запасу міцності в поздовжньому перерізі (перша задача)

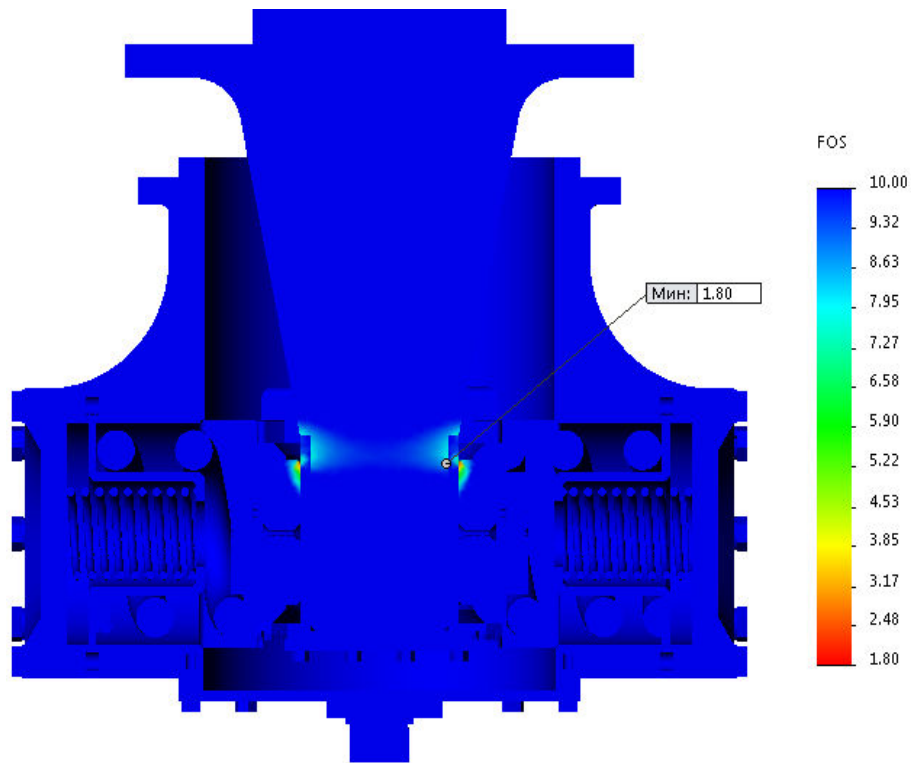


Рисунок 5.7 – Епюра запасу міцності в поперечному перерізі (перша задача)

На наведених епюрах місця, пофарбовані не синім кольором, представляють малий запас міцності в конструкції шкворневого вузла. Найменше значення коефіцієнта запасу міцності припадає на верхню частину сфери. Коефіцієнт запасу міцності в цьому місці становить

На основі результатів першої задачі можна зробити висновок, що найбільші напруження в конструкції шкворня виникають у поздовжньому перерізі, тобто у напрямку дії номінальної сили тяги. Максимальне напруження становить, а коефіцієнт запасу міцності в слабких місцях дорівнює.

5.4 Постановка другої задачі

У другій задачі необхідно навантажити шкворневий пристрій силою в момент удару, що виникає в результаті припинення боксування колісних пар.

Місця дії сил і кріплень у моделі аналогічні першій задачі. До поверхні бічного упору прикладається сила

Епюри напружень наведено на рис. 5.8–5.9.

										0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							54

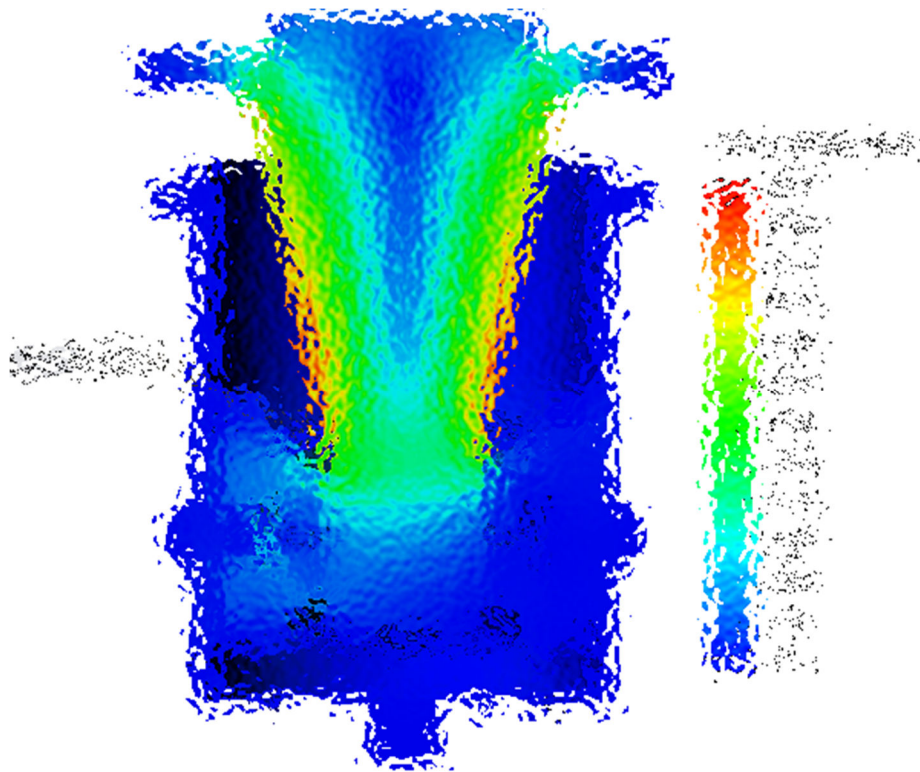


Рисунок 5.8 – Епюра напружень у поздовжньому перерізі (друга задача)

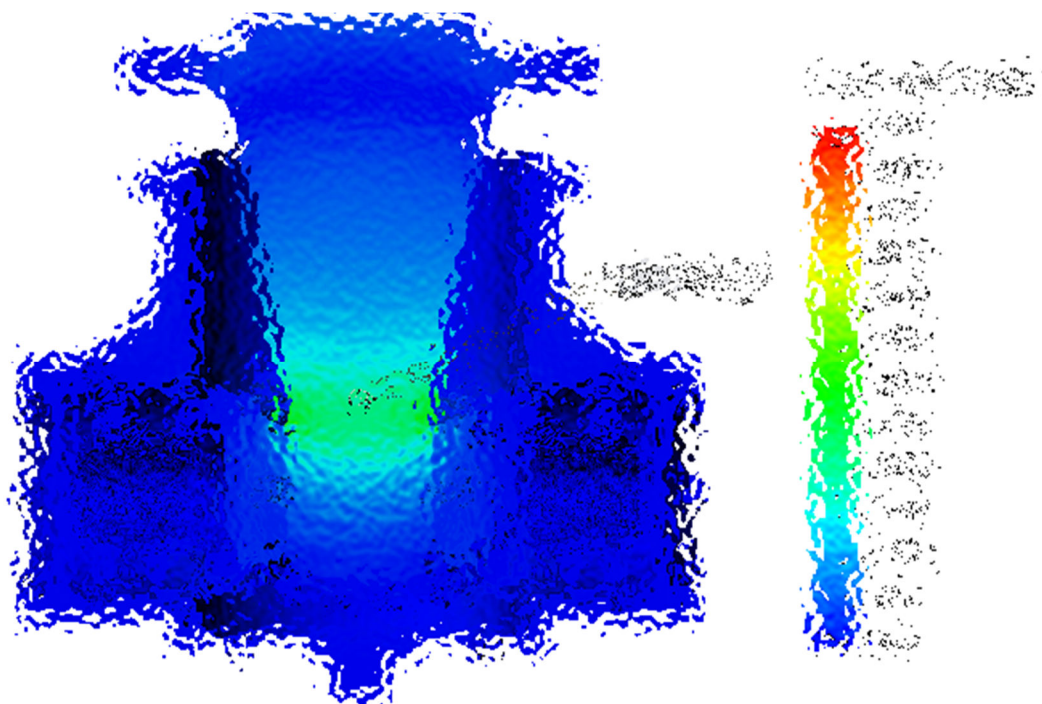


Рисунок 5.9 – Епюра напружень у поперечному перерізі (друга задача)

Аналізуючи отримані епюри, можна зробити висновок, що напруження еквівалентно зростають разом із силою, і максимальне напруження становить

					<i>0032.180156.000.04КР.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

81,15 МПа, що не перевищує межу плинності матеріалу 2МПа. Максимальні навантаження виникають у середній частині шкворня в поздовжньому перерізі.

За епюрою напружень у поперечному перерізі видно, що середня частина шкворня зазнає напруження в МПа, і з потовщенням основного перерізу напруженість зменшується.

На підставі побудованих епюр можна визначити запас міцності матеріалу за шкалою "FOS". Епюри запасу міцності матеріалу наведено на рис. 5.10–5.11.

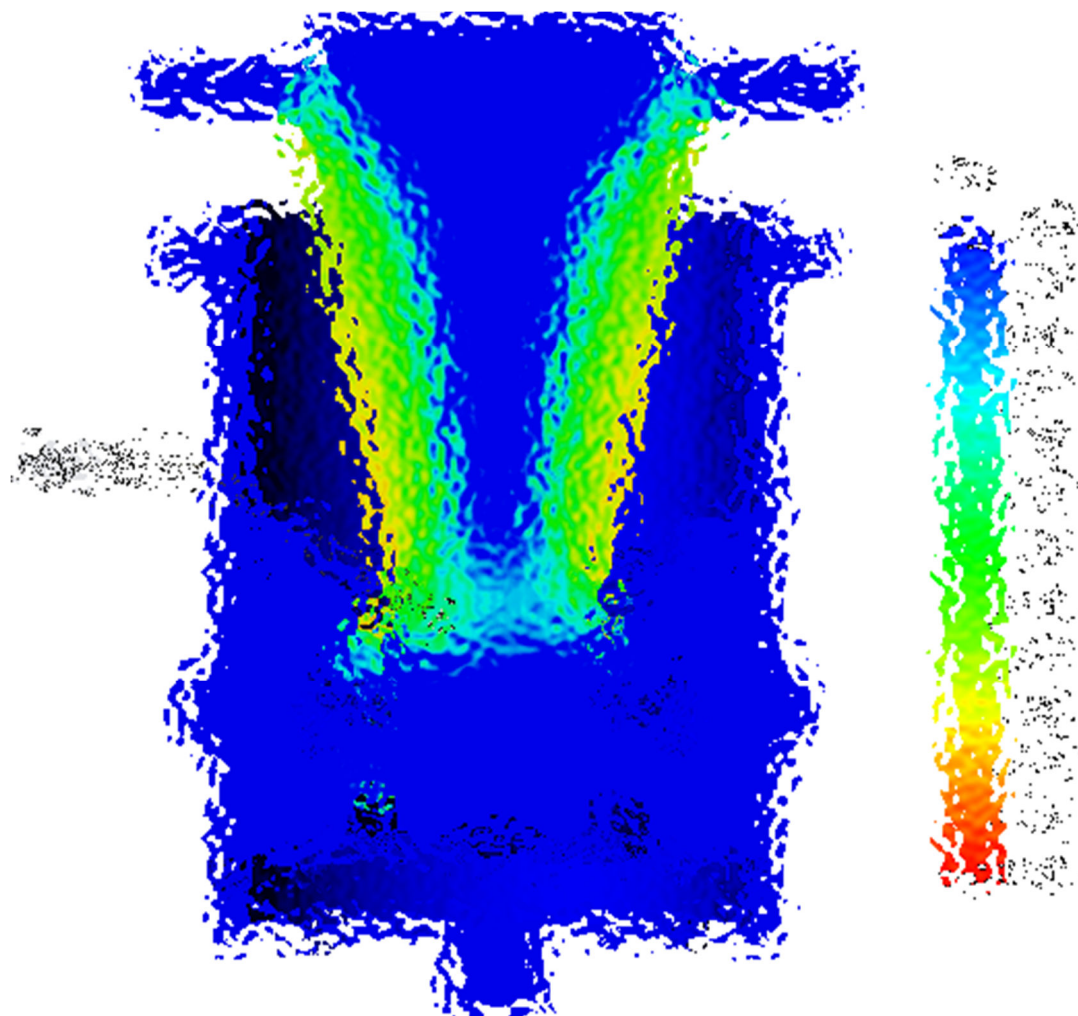


Рисунок 5.10 – Епюра запасу міцності в поздовжньому перерізі (друга задача)

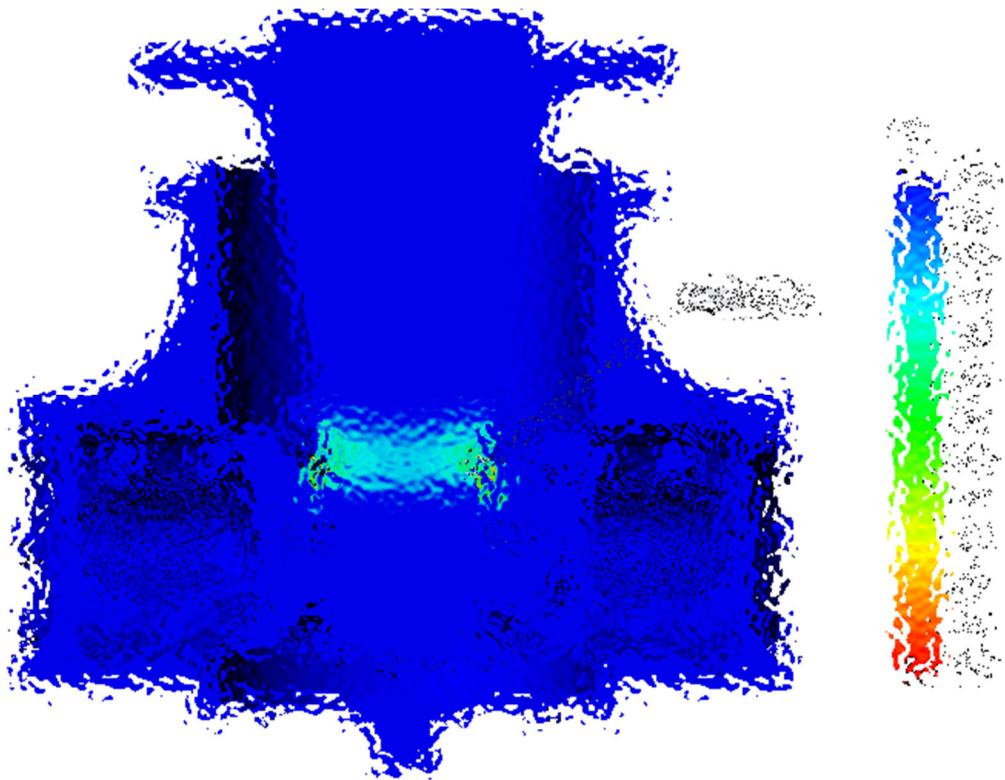


Рисунок 5.11 – Епюра запасу міцності в поперечному перерізі (друга задача)

Найменше значення коефіцієнта запасу міцності припадає на верхню частину сфери. Коефіцієнт запасу міцності в цьому місці становить

Порівнюючи отримані результати епюр під час дії сили в момент удару з номінальним навантаженням, сфера має запас міцності. Це означає, що в момент удару сфера матиме на більше від запасу міцності матеріалу, що є неприпустимим значенням.

На основі результатів другої задачі можна зробити висновок, що великі напруження в конструкції шкворня виникають у поздовжньому перерізі, а коефіцієнт запасу міцності сфери становить.

5.5 Постановка третьої задачі

В останній задачі необхідно змоделювати ситуацію дії сили на шкворень під час проходження тепловозом кривої з боксуванням колісних пар.

Кріплення в моделі аналогічні розглянутим попереднім задачам, а вектор дії сили прикладається до поверхні бічного упору під кутом і має значення, що

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

дорівнює H .

Напрямок сили представлено на рис. 5.12.

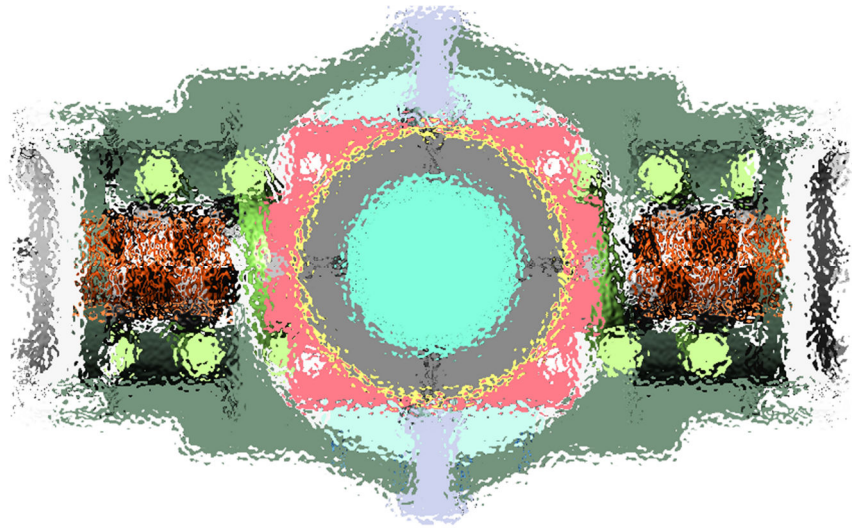


Рисунок 5.12 – Напрямок сили в умовах третьої задачі

Епюри напружень подано на рис. 5.13–5.14.

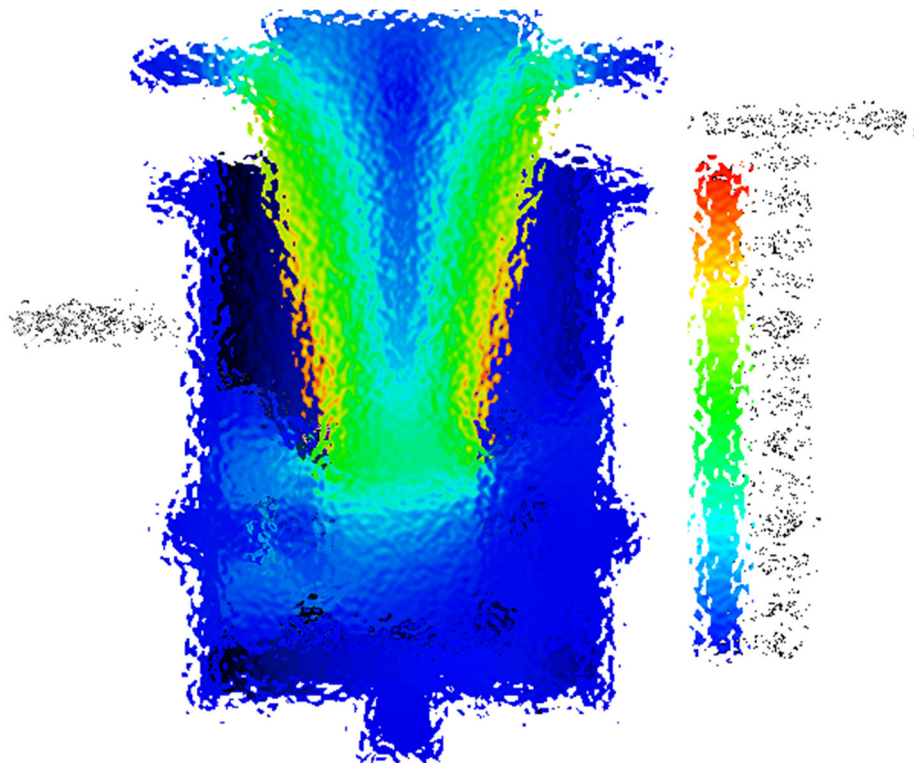


Рисунок 5.13 – Епюра напружень у поздовжньому перерізі (третя задача)

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

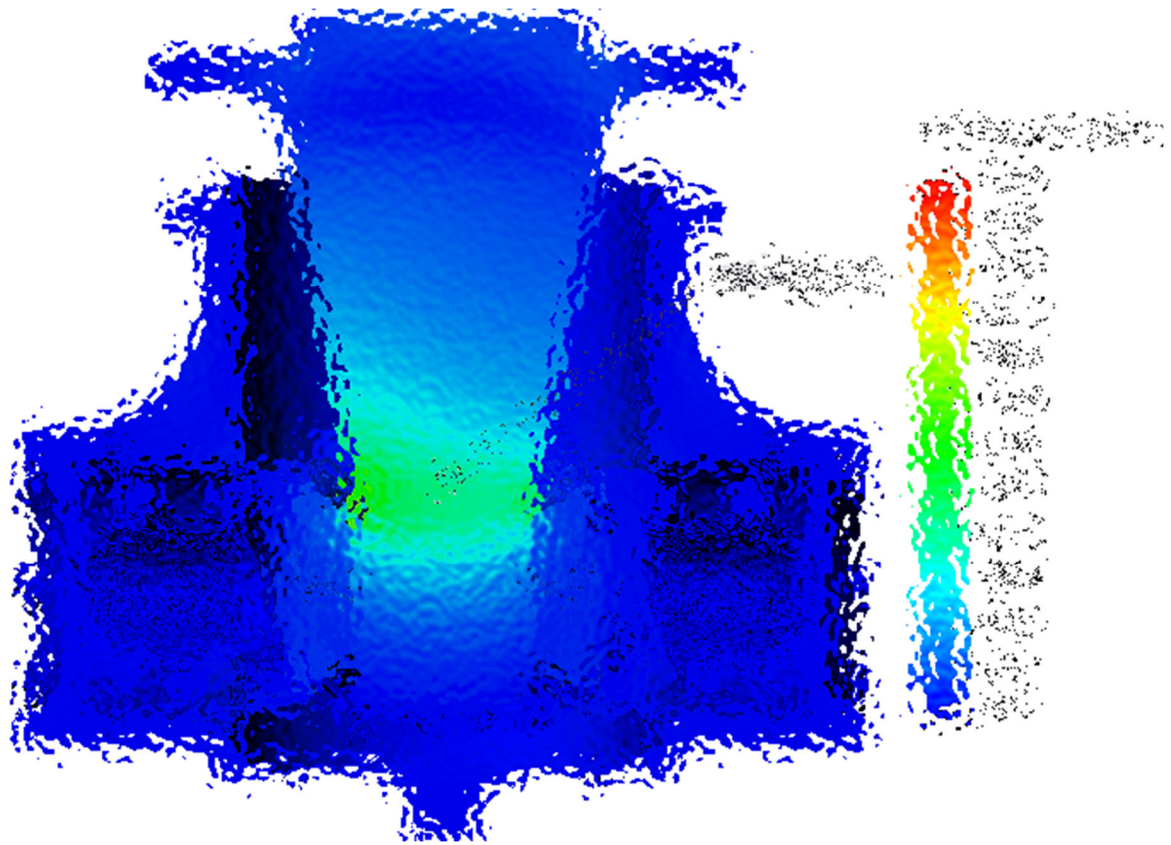


Рисунок 5.14 – Епюра напружень у поперечному перерізі (третє завдання)

Аналізуючи отримані епюри, можна зробити висновок, що максимальне напруження не змінилося порівняно з умовами другої задачі і становить МПа. Максимальні навантаження виникають у середній частині шкворня в поздовжньому перерізі.

За епюрою напружень у поперечному перерізі видно, що площа напружень змістилася в бік унаслідок дії сили під кутом а максимальна напруга в поперечному перерізі становить а.

На підставі побудованих епюр можна визначити запас міцності матеріалу за шкалою "FOS". Епюри запасу міцності матеріалу наведено на рис. 5.15–5.16.

На наведених епюрах найменше значення коефіцієнта запасу міцності відноситься до верхньої частини сфери. Коефіцієнт запасу міцності в цьому місці становить Це означає, що в момент удару в кривій сфера матиме на від запасу міцності матеріалу, що є неприпустимим значенням.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

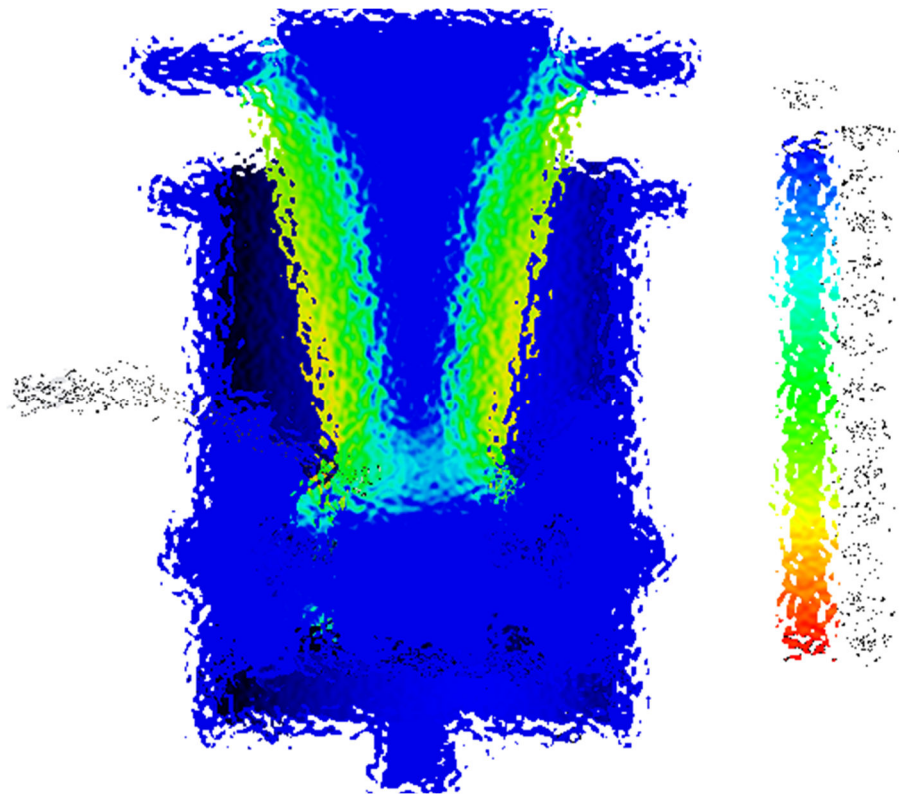


Рисунок 5.15 – Епюра запасу міцності в поздовжньому перерізі (третя задача)

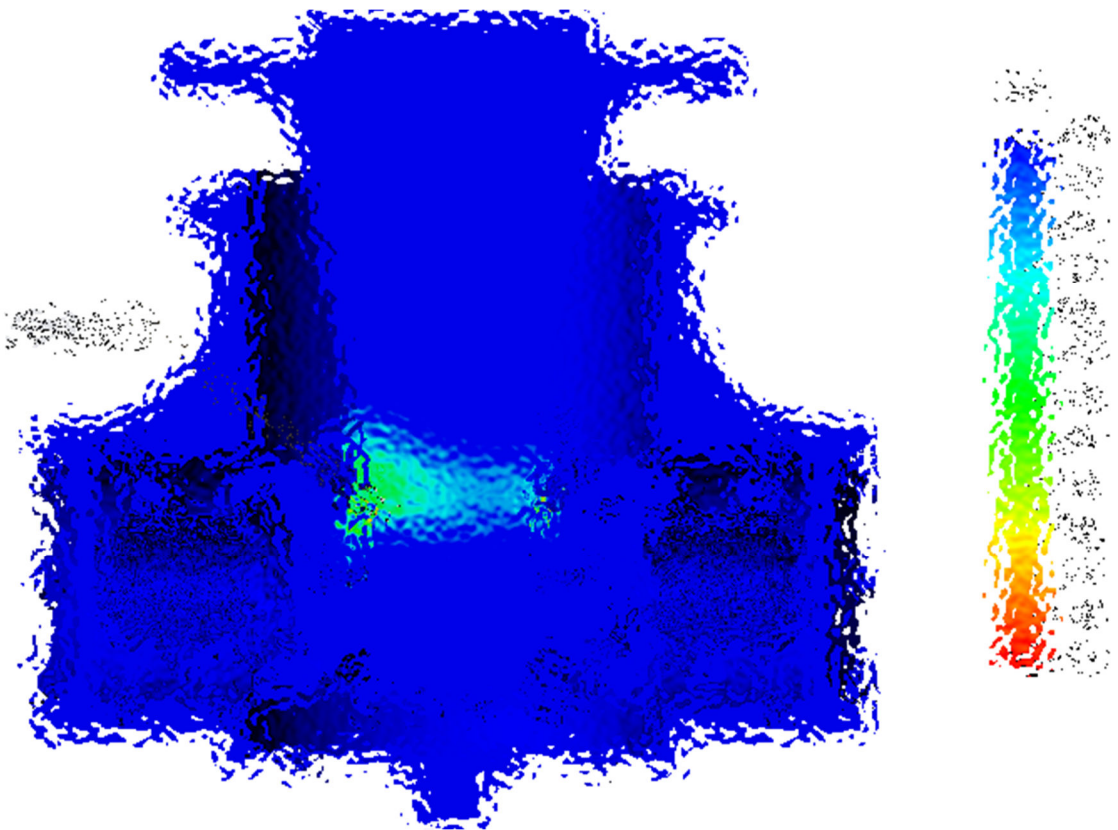


Рисунок 5.16 – Епюра запасу міцності в поздовжньому перерізі (третя задача)

					<i>0032.180156.000.04KP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60

Підбиваючи підсумок за всіма результатами аналізу, встановлено, що слабкі місця в конструкції шкворневого вузла розташовані в середній частині шкворня і у верхній частині сфери. Мінімальним коефіцієнтом запасу міцності за найбільшого навантаження.

5.6 Внесення змін до конструкції моделі

На основі проведеного аналізу за трьома задачами визначено слабкі місця в конструкції шкворневого вузла. За отриманими результатами пропонується посилити циклічну міцність матеріалів шкворня та сфери, з метою підвищення коефіцієнта запасу міцності.

Для цих цілей пропонується:

- піддати шворень загартуванню за температури з подальшим відпуском за температури щоб модуль пружності матеріалу становив МПа;
- піддати сферу загартуванню за С з подальшим старінням за температури 300–°С протягом двох годин, щоб модуль пружності матеріалу становив МПа.

Для модернізованої конструкції необхідно провести перерахунок напружень за умовами трьох задач. Результати перерахунку епюр напружень у поздовжньому перерізі наведено на рис. 5.17–5.19.

На основі отриманих епюр можна зробити висновок, що підвищення циклічної міцності матеріалів не зменшило напруження у "вузьких" місцях і вони залишилися незмінними.

На підставі побудованих епюр необхідно визначити коефіцієнти запасу міцності матеріалів за шкалою "FOS".

Результати перерахунку епюр запасу міцності в поздовжньому перерізі представлено на рис. 5.20–5.22.

На основі отриманих епюр можна зробити висновок, що результатом підвищення циклічної міцності матеріалів шкворня і сфери стало підвищення коефіцієнта запасу міцності в рази за всіма трьома умовами задач, що свідчить про ефективність запропонованої зміни в конструкції шкворневого вузла.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

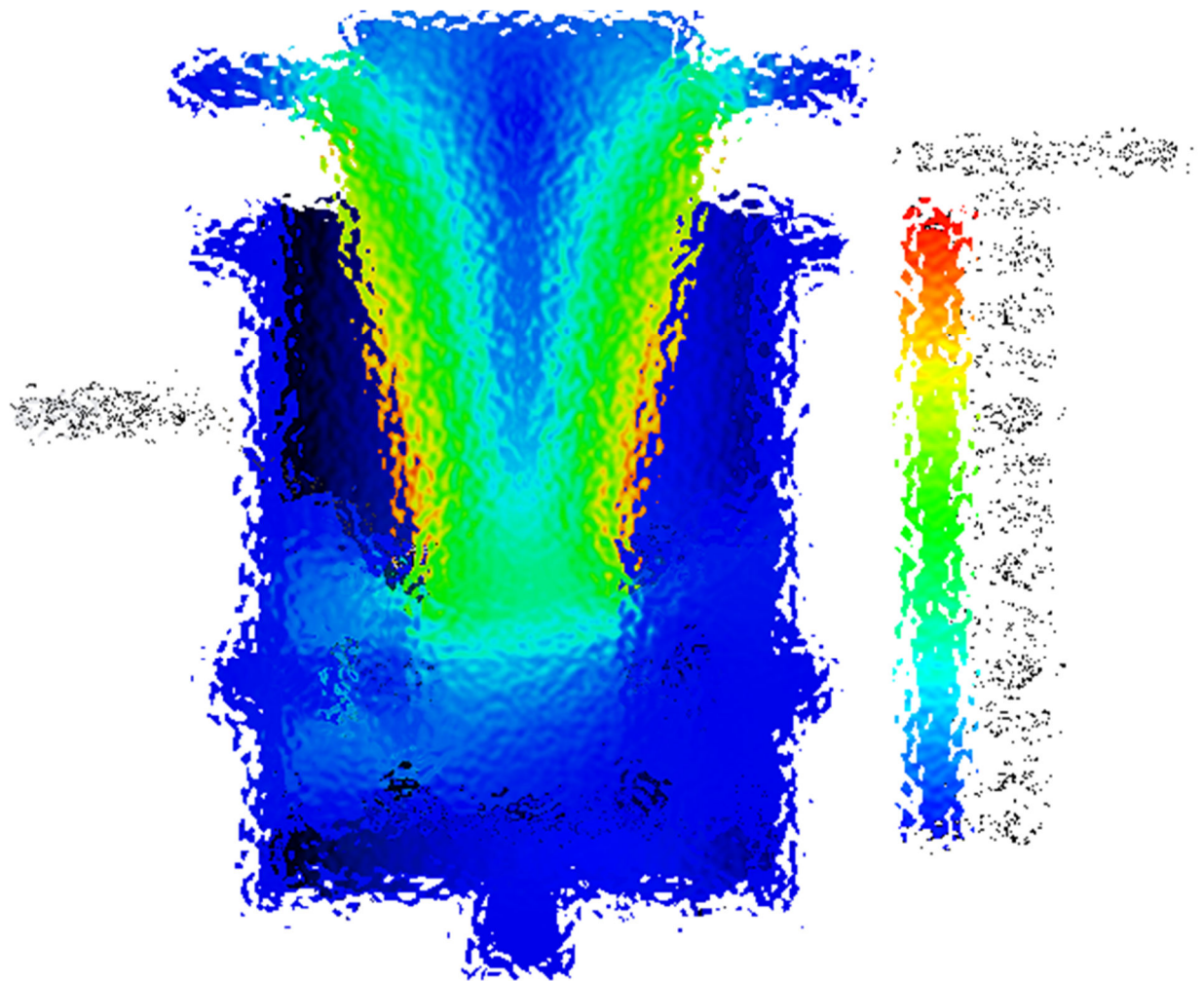


Рисунок 5.19 – Перерахунок епюри напружень за умовами третьої задачі

У розділі описано процес аналізу характеристик міцності шкворневого вузла в пакеті SolidWorks Simulation. У процесі аналізу встановлено, що основні навантаження припадають на середню частину шкворня і верхню частину сфери, а мінімальний коефіцієнт запасу міцності при максимально можливому навантаженні становить K . З метою підвищення запасу міцності запропоновано виконати підвищення циклічної міцності матеріалів шкворня і сфери шляхом загартування деталей. Перерахунок міцнісних характеристик показав, що загартування сприяє підвищенню коефіцієнта запасу міцності та встановлює його мінімальний поріг за максимального можливого навантаження K , що є прийнятним значенням для екіпажної частини локомотива.

										0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							63

6 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ШКВОРНЕВОГО ВУЗЛА ТЕПЛОВОЗА

Економіка відіграє невід'ємну та одну з найважливіших ролей у залізничному транспорті. Завдяки економіці, як науці, є можливість визначення доцільності впровадження тієї чи іншої розробки, рішення, модифікації або модернізації [9].

В даний час зросла необхідність впровадження різноманітних модернізацій на залізничному транспорті. Дане явище обумовлюється тим, що залізничний транспорт займає чільне місце в рейтингу транспортної системи країни і має найбільшу кількість корисних годин роботи в порівнянні з іншими. Звідси випливає, що залізничний транспорт більше схильний до ризику виникнення несправності при експлуатації.

У кваліфікаційній роботі розглядається можливість модернізації шкворневого вузла тепловоза ТЕП70, тому в даному розділі необхідно розрахувати економічну ефективність від модернізації технічно складного пристрою.

6.1 Економічна ефективність модернізації технічно складного пристрою

Під поняттям економічна ефективність розуміють результат, якого можна досягти, порівнюючи показники дохідності виробництва стосовно загальних витрат і затребуваним ресурсам. У разі модернізації технічного складного устрою, у нашому випадку, тягового рухомого складу необхідно провести порівняння необхідних витрат на модернізацію з фінансовими втратами без урахування впровадження розробки [9].

При визначенні ефективності виділяють такі поняття як [9]:

- продуктивність праці;
- матеріаломісткість;
- капіталомісткість;
- рентабельність.

Виробничі та економічні показники оцінки економічної ефективності наведено у табл. 6.1.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Таблиця 6.1 – Зведена таблиця показників [10]

Показник	Одиниці виміру	Визначення
1	2	3
Виробничі показники		
Час від приймання до відправлення	доба, година	
Показник якості	%, випадки відмов	
Своєчасне здавання продукції	%	
Об'єм виробництва	шт., т, м, т-км	
Обсяг виробництва одного працівника	шт., т, м, т-км, доба, год/люд.	
Вартість запасів	грн	

Продовження табл. 6.1

1	2	3
Витрати ТЗ	грн	Сума витрат потоку створення вартості
Витрати на оплату праці	грн	
Відрахування на соціальні потреби	грн	
Матеріали	грн	
Паливо	грн	Відображається вартість палива всіх видів (дизельного палива, мазуту, нафти, бензину, вугілля, газу, сланців, дров, і т.д.), що витрачається на технологічні цілі (у тому числі на тягу поїздів),

		опалення будівель, вироблення (у в тому числі самою організацією для виробничих потреб) всіх видів енергії (електричної, теплової, стисненого повітря, холоду тощо), а також на трансформацію та передачу енергії
--	--	---

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

розрахунок абсолютної ефективності.

6.2 Визначення витрат на ремонт шкворневого вузла тепловоза

Для визначення доцільності впровадження змін у конструкції шкворневого пристрою при плановому ремонті, необхідно визначити собівартість ремонту одного шкворневого вузла.

Для визначення заробітної плати працівників за виконання ремонту одного шкворневого вузла необхідно годинну тарифну ставку помножити на кількість робочих годин при ремонті [9]

$$P, \quad (7.1)$$

де k – годинна тарифна ставка, грн. Для бригадира становить 126 грн., для слюсаря 5-го розряду – 98 грн, для зварювальника 7-го розряду – 115 грн [10];
 p – кількість годин роботи, год. Кількість слюсарних годин складає p_1 год, зварювальних – p_2 .

Підставивши чисельні значення у формулу (6.1), визначаються заробітні плати бригадира, слюсаря та зварювальника за виконання ремонту одного шкворневого вузла:

P_B – грн.;

P_C – грн;

P_Z – грн.

Далі необхідно визначити собівартість витрат на усунення тріщин у шкворневому вузлі при виявленні. Ці недоліки усуваються вирубкою металу з наступними зварювальними роботами. Слюсарні роботи відбуваються без витратних матеріалів, а для зварювальних робіт необхідні дріт та газ пропан-бутан.

Кошторис на зварювальні роботи наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Кошторис на зварювальні роботи

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Найменування	Ціна за одиницю	Кількість	Собівартість, грн
Дріт			
Газ пропан-бутан			
Витрата електроенергії			

Загальну собівартість ремонту одного шкворневого вузла можна визначити за такою формулою:

$$p \cdot i, \quad (7.2)$$

де i – собівартість зварювальних робіт, грн.

$$p \text{ грн.}$$

Відповідно до розрахунку, витрати на ремонт одного шкворневого вузла в екіпажній частині тепловоза становлять 5654 грн. Якщо зважити на той факт, що на рік фіксуються близько 11 несправностей у шкворневному вузлі, то сума витрат на ремонт на рік становитиме 62194 грн. Для залізниці дана сума є прийнятною, якщо не зважати на той факт, що поломку передбачити неможливо і за час ремонту локомотив знаходиться у непрацездатному стані та не виконує своїх функціональних обов'язків з перевезень. Крім цього, існує небезпека його сходження з рейок, що може спричинити ще більші економічні втрати.

6.4 Визначення витрат на модернізацію шкворневого вузла тепловоза

Модернізація шкворневого вузла полягає у підвищенні циклічної міцності шкворня та сфери. Для цього необхідно зробити загартування з наступним відпусткою для шкворня і старінням для сфери. Перераховані вище операції виконує терміст третього розряду.

Необхідно визначити заробітну плату терміста під час модернізації одного

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

шкворневого вузла. Тарифна ставка терміста третього розряду складає 102 грн. Час роботи на термічну обробку для шкворня приділяється дві години, а для сфери – три години.

За формулою (6.1) визначається заробітна плата терміста під час модернізації одного шкворневого вузла

$T = 102 \cdot 2 + 102 \cdot 3 = 510$ грн.

Відповідно до розрахунку, витрати на модернізацію одного шкворневого вузла становитимуть 510 грн.

6.5 Доцільність впровадження змін у конструкцію локомотива

Вартість на модернізацію одного шкворневого вузла тепловоза, згідно з розрахунком, становитимуть 5 грн, що значно менше витрат на усунення несправностей.

У разі модернізації, зменшення кількості несправностей у шкворневому вузлі очікується щонайменше на 15–%. Отже, для розрахунку доцільності впровадження розробки необхідно провести порівняння витрат на ремонт шкворневого вузла за п'ять років без модернізації та на ремонт шкворневого вузла з урахуванням модернізації всього локомотивного парку у складі 38 одиниць.

Результати розрахунку доцільності застосування розробки наведено у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Результати розрахунку доцільності модернізації

Параметр	Значення
1	2
Локомотивний парк	
До модернізації	
Вартість витрат на ремонт одного шкворневого вузла	

Середня кількість несправностей шкворневого вузла протягом року	
Витрати на ремонт шкворневого вузла протягом року	
Витрати на ремонт шкворневого вузла протягом п'яти років	
Після модернізації	
Витрати на модернізацію шкворневого вузла	
Витрати на модернізацію всього локомотивного парку	
Середня кількість несправностей у шкворневому вузлі після модернізації	
Витрати на ремонт шкворневого вузла протягом року	
Витрати на ремонт шкворневого вузла за п'ять років з урахуванням модернізації	
Економія від модернізації за п'ять років	

Згідно з даними таблиці 6.3, витрати на модернізацію локомотивного парку в кількості одиниць дозволять заощадити на ремонті шкворневого вузла гривень протягом п'яти років.

За даними таблиці будуємо графік залежності накопичених витрат за ремонт від часу. Графік наведено на рис. 6.1.

Згідно з побудованим графіком, період окупності від модернізації шкворневого вузла на всьому локомотивному парку складе менше року. Протягом п'яти років локомотивне депо заощадить на обслуговуванні шкворневого вузла тепловоза 65 грн.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Рисунок 6.1 – Графік залежності накопичених витрат від часу

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз характеристик міцності шкворневого вузла тепловоза. Вихідними даними для аналізу послужили:

- дані про несправності в шкворневому вузлі, що виникають в умовах експлуатації;
- особливості конструкції шкворневого вузла;
- властивості деталей і матеріалів, що використовуються в конструкції шкворневого вузла.

Для визначення навантаженості шкворневого вузла тепловоза використано методику визначення передачі сил від екіпажної частини до кузова локомотива, що дає змогу з достатньою точністю оцінити характеристики міцності в умовах дії максимальних зусиль.

Побудовано розрахункову 3D модель шкворневого вузла, засновану на поєднанні об'ємних, оболонкових і стрижневих скінченних елементів, що дає змогу врахувати в одній скінченно-елементній моделі спільну роботу елементів конструкції шкворня, імітувати різні сполучення навантажень, що діють на шкворень в експлуатації, адекватність якої натурній конструкції підтверджується відповідністю розрахункових даних.

Визначено слабкі місця в конструкції шкворня. Запропоновано раціональні параметри конструкції шкворневого вузла, що дають змогу підвищити коефіцієнт запасу міцності.

Визначено очікуваний річний економічний ефект від запропонованого рішення щодо підвищення коефіцієнта запасу міцності, що склав економію, яка дорівнює 7 рокам.

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

транспорті: Навч. посібник / Є. І. Балака, О. І. Зоріна та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 210 с.

- 10 Положення про оплату праці працівників АТ "Укрзалізниця". [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.vpmu.org.ua/polozhennya-pro-oplatu-praci/>

					0032.180156.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75