

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет “*Транспортна інженерія*”

Кафедра “*Локомотиви*”

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав.кафедрою _____ Борис БОДНАР

“ _____ ” _____ 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: “**Підвищення надійності підвішування ТЕД**”

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

Виконав: студент групи *ЛГ2221*

_____ Богдан КОСЕНКО

Керівник _____ Дмитро БОБИРЬ

Нормоконтролер _____ Людмила КОЛОДІЙ

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

Студент _____

Дніпро, 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет "Транспортна інженерія"

Кафедра "Локомотиви"

"ДО ЗАХИСТУ"

Зав.кафедрою Б. Боднар Борис БОДНАР

"12" 01 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: "Підвищення надійності підвішування ТЕД"

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

Виконав: студент групи ЛГ2221

Керівник Богдан КОСЕНКО

Дмитро БОБИРЬ

Нормоконтролер Людмила КОЛОДІЙ

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

Студент Косенко

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 TEM suspension**”

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*:

Bohdan KOSENKO

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.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу на здобуття ОС «*магістр*»

студенту групи *ЛГ2221*

Косенку Богдану Сергійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «**Підвищення надійності підвішування ТЕД**»

затверджена наказом від «**17**» січня 2023 р № 31ст

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

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: статистичні данні про відмови електровозів та складових елементів екіпажної частини в експлуатації; конструкторська документація на підвішування ТЕД електровоза 2ЕЛ5; навантаження, що діють на підвішування ТЕД; навантаження від осі колісної пари на рейку 235 кН; опорна база тягового двигуна 1,22 м; вага ТЕД 4300 кг

4. Перелік креслень (демонстративного матеріалу)

1) Аналіз технічного стану електровозів в експлуатації

- 2) Аналіз конструкції підвішування ТЕД
- 3) Визначення навантажень, що діють на вузол кріплення ТЕД електровоза
- 4) Побудова 3D-моделі
- 5) Аналіз міцнісних характеристик підвіски ТЕД
- 6) Визначення собівартості ремонту підвіски ТЕД на поточному ремонті ПР-3

5. Перелік питань до розробки та термін виконання

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Обсяг розділу, %
Аналіз несправностей підвіски тягового двигуна. Аналіз конструкції та матеріалів вузла кріплення тягового електродвигуна	28.11.2023	30
Сили, що діють на вузол кріплення тягового електродвигуна в експлуатації. Створення 3D-моделі вузла кріплення тягового електродвигуна до рами візка	19.12.2023	30
Аналіз 3D-моделі вузла кріплення ТЯГОВОГО електродвигуна до рами візка. Розрахунок собівартості ремонту підвіски тягового двигуна на поточному ремонті ПР-3	09.01.2024	40

Студент _____ Богдан КОСЕНКО

Керівник роботи _____ Дмитро БОБИРЬ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з шести розділів на 68 сторінках, налічує 43 ілюстрацій, 6 таблиць та 10 літературних джерел.

Об'єктом дослідження в кваліфікаційній роботі є підвіска тягового електродвигуна, а предметом – її міцнісні характеристики.

Метою роботи є аналіз, вивчення можливості модернізації та удосконалення підвіски тягового електродвигуна електровоза з використанням сучасних систем автоматизованого проектування.

Для досягнення поставленої мети розв'язано такі завдання:

- аналіз відмов підвішування ТЕД електровоза, що виникають під час його експлуатації;
- аналіз конструкції та матеріалів підвіски ТЕД;
- аналіз навантажень, що діють на елементи підвішування тягового електродвигуна електровоза в експлуатації.

Отримані дані допоможуть покращити якість роботи підвіски ТЕД в експлуатації, а запропоноване рішення щодо вдосконалення конструкції дасть змогу підвищити надійність та знизити витрати на обслуговування підвіски тягового двигуна під час ремонту.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОВОЗ, НАДІЙНІТЬ, МІЦНІСТЬ, ПІДВІШУВАННЯ ТЕД, 3D-МОДЕЛЬ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
1 АНАЛІЗ НЕСПРАВНОСТЕЙ ПІДВІСКИ ТЯГОВОГО ДВИГУНА.....	4
2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА МАТЕРІАЛІВ ВУЗЛА КРІПЛЕННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА.....	11
3 СИЛИ, ЩО ДІЮТЬ НА ВУЗОЛ КРІПЛЕННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ	20
3.1 Режими роботи тягової передачі.....	20
3.2 Визначення сил, що діють на вузол кріплення ТЕД.....	21
3.3 Визначення необхідної твердості гуми шайби.....	29
4 СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛІ ВУЗЛА КРІПЛЕННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ДО РАМИ ВІЗКА	33
5 АНАЛІЗ 3D-МОДЕЛІ ВУЗЛА КРІПЛЕННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ДО РАМИ ВІЗКА	40
5.1 Статичний аналіз на міцність вузла кріплення ТЕД під дією ваги двигуна.....	41
5.2 Статичний аналіз на міцність вузла кріплення ТЕД під дією максимального тягового моменту	44
5.3 Статичний аналіз на міцність вузла кріплення ТЕД під дією максимального тягового моменту в кривій ділянці колії	47
5.4 Висновки за результатами розрахунків	49
5.5 Статичний аналіз на міцність вузла кріплення ТЕД під дією максимального тягового моменту у кривій ділянці колії після модернізації.....	51
6 РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ ТЯГОВОГО ДВИГУНА НА ПОТОЧНОМУ РЕМОНТІ ПР-3.....	55
ВИСНОВОК.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66

						<i>0032.180152.000.04КР.ПЗ</i>		
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Косенко			<i>Підвищення надійності підвішування ТЕД</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Бобирь					5	68
Рецензування						<i>УДУНТ, гр. ЛГ2221</i>		
Н. Контр.		Колодій						
Затверд.								

ВСТУП

У процесі експлуатації локомотивів на їх екіпажну частину діють великі навантаження, які здатні викликати несправності та привести до неможливості подальшої експлуатації одиниці рухомого складу без проведення ремонтних заходів, тому підвищення надійності екіпажної частини рухомого складу є пріоритетним завданням. Виявити лімітуючі з точки зору міцності елементи екіпажній частині та усунути їх можна завдяки попереднього моделювання та подальшим аналізом елементів за допомогою систем автоматизованого проектування (САПР) [1].

У кваліфікаційній роботі предметом дослідження виступає вузол кріплення тягового двигуна до рами візка електровоза 2ЕЛ5. Вузол спирання тягового двигуна на раму візка слугує для передавання ваги й опорних реакцій на раму візка в умовах їхніх відносних переміщень. Підвіска тягового електродвигуна є головною конструкцією для пом'якшення ударів, що припадають на тяговий електродвигун під час проходження колісною парою нерівностей колії, а також для компенсації зміни взаємного положення тягового електродвигуна та рами візка під час руху електровоза. Можливі несправності вузла кріплення тягового електродвигуна (ТЕД) можуть призвести до позапланового ремонту, простою локомотива, а також несуть загрозу безпеці руху поїздів, оскільки можуть сприяти сходженню рухомого складу з рейок [2].

Об'єктом дослідження в кваліфікаційній роботі є підвіска тягового електродвигуна, а предметом – його міцнісні показники.

Метою роботи є аналіз, вивчення можливості модернізації та удосконалення підвіски тягового електродвигуна з використанням сучасних систем автоматизованого проектування.

Для здійснення мети поставлено такі завдання:

- аналіз відмов досліджуваного об'єкта, що виникають під час його експлуатації;
- аналіз конструкції та матеріалів досліджуваного об'єкта;

									Арк.
									2
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ				

– аналіз навантажень, що діють на досліджуваний об'єкт в експлуатації.

Отримані дані допоможуть якості роботи підвіски ТЕД в експлуатації, а запропоноване рішення щодо вдосконалення конструкції дасть змогу підвищити надійність та знизити витрати на обслуговування підвіски тягового двигуна під час ремонту.

					0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

1 АНАЛІЗ НЕСПРАВНОСТЕЙ ПІДВІСКИ ТЯГОВОГО ДВИГУНА

Підвіска тягового двигуна є важливим вузлом механічної частини локомотива, тому що брак, допущений під час ремонту цього вузла, може призвести не тільки до пошкодження локомотива і верхньої будови колії, а й до сходження рухомого складу [3].

У сучасній практиці відносно рідко спостерігаються випадки виходу з ладу підвіски тягового двигуна, проте існує природне механічне зношування деталей, які залежно від ступеня зношеності мають бути замінені або відремонтовані. Ці дефекти необхідно враховувати й усувати під час приймання або планових видів ремонту локомотивів. До таких дефектів слід віднести: бракувальний зазор між втулками з валиком; просідання втулок; ослаблення болтів кріплення кронштейна; мікротріщини стойки; тріщини кронштейна.

Для аналізу цих дефектів було зібрано статистичні дані про ремонт підвіски тягового двигуна за чотири роки. Ці дані наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Кількість несправностей підвіски ТЕД

Несправність	Кількість
1	2
2019 рік	
Бракувальний зазор між втулками з валиком	
Просідання втулок	
Ослаблення болтів кріплення кронштейна	
Тріщини кронштейна	
Мікротріщини стойки	
2020 рік	
Бракувальний зазор між втулками з валиком	
Просідання втулок	

Продовження табл. 1.1

1	
Ослаблення болтів кріплення кронштейна	
Тріщини кронштейна	
Мікротріщини стойки	
2021 рік	
Бракувальний зазор між втулками з валиком	
Просідання втулок	
Ослаблення болтів кріплення кронштейна	
Тріщини кронштейна	
Мікротріщини стойки	
2022 рік	
Бракувальний зазор між втулками з валиком	
Просідання втулок	
Ослаблення болтів кріплення кронштейна	
Тріщини кронштейна	
Мікротріщини стойки	

Ці дані подано у вигляді гістограм (рис. 1.1 – 1.5), у яких окремі дефекти порівнюються за роками.

Як показує статистика відмов, несправністю підвіски тягового двигуна електровозів 2ЕЛ5, яка найчастіше трапляється в період 2019–2022 років, є бракувальний зазор між втулками з валиком – 7 випадок, або 3% від загальної кількості виявлених випадків відмов. Ослаблення болтів кріплення кронштейна було зафіксовано 5 разів або 2% від загального числа виявлених несправностей. Кількість виявлених випадків просідання втулок становила 4 випадок або 2% від загального числа виявлених випадків несправностей.

Згідно з рис. 1.1 спостерігається збільшення випадків бракувального зазору між втулками з валиком з кожним роком у період з 2019 по 2022 рік.

						0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			5

Кількість

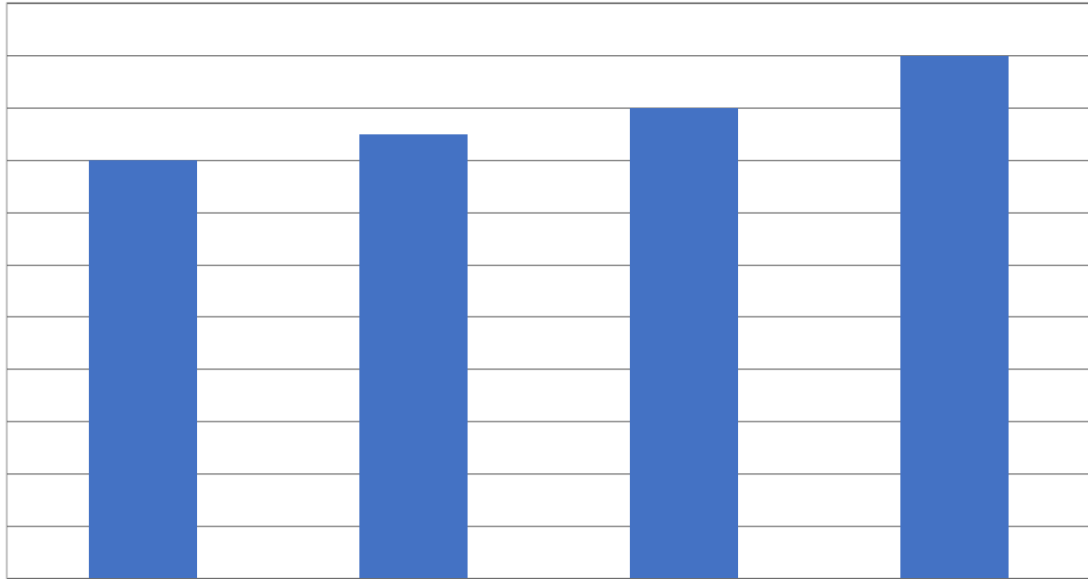


Рисунок 1.1 – Кількість випадків бракувального зазору між втулками з валиком:

Кількість

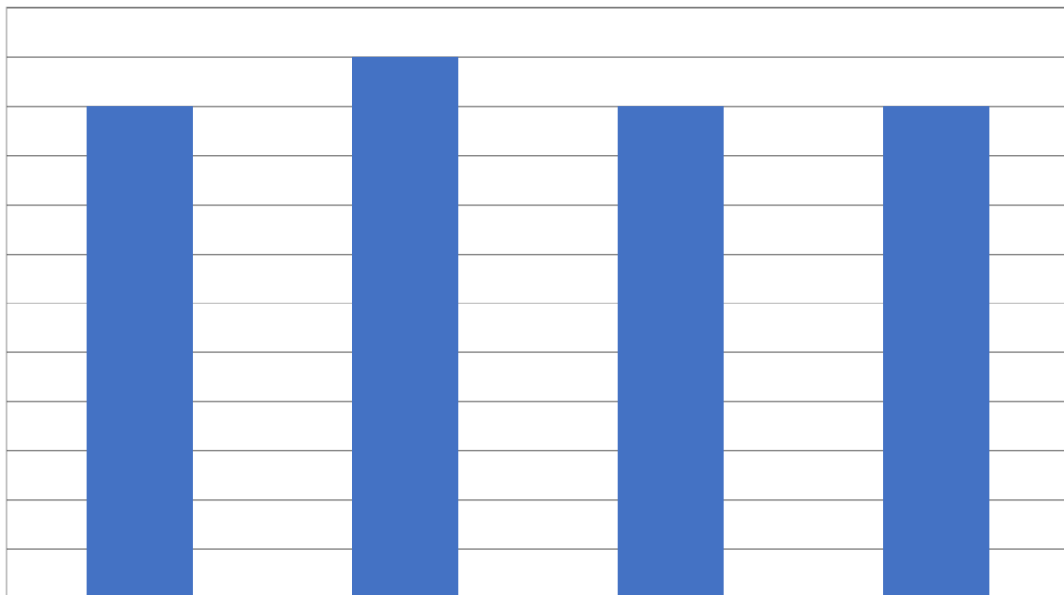


Рисунок 1.2 – Кількість випадків просідання втулок підвіски:

Згідно з рис. 1.2 найбільша кількість випадків просідання втулок підвіски припадає на 2020 рік.

Кількість

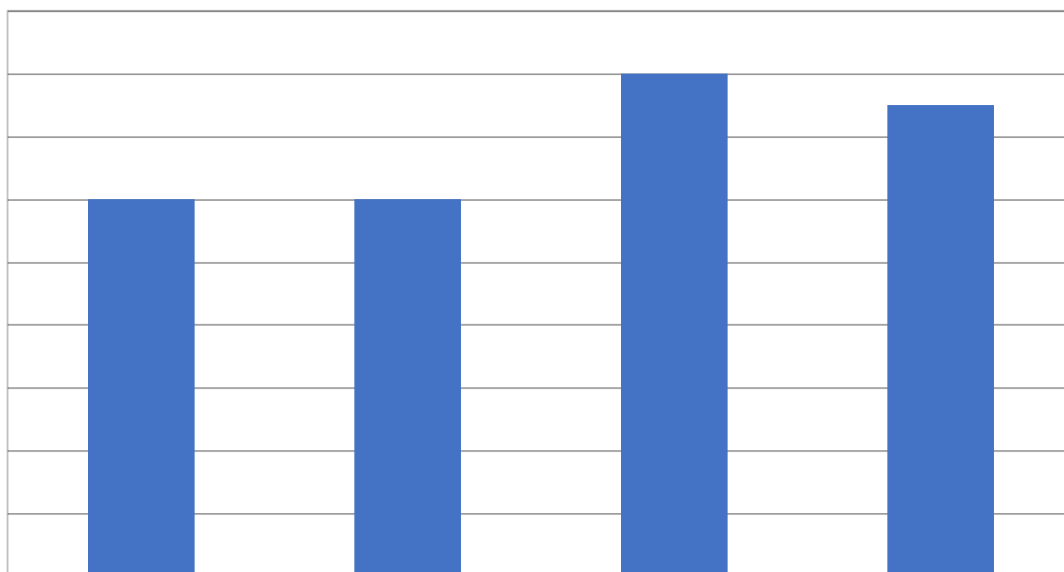


Рисунок 1.3 – Кількість випадків послаблення болтів кріплення кронштейна підвіски:

Кількість

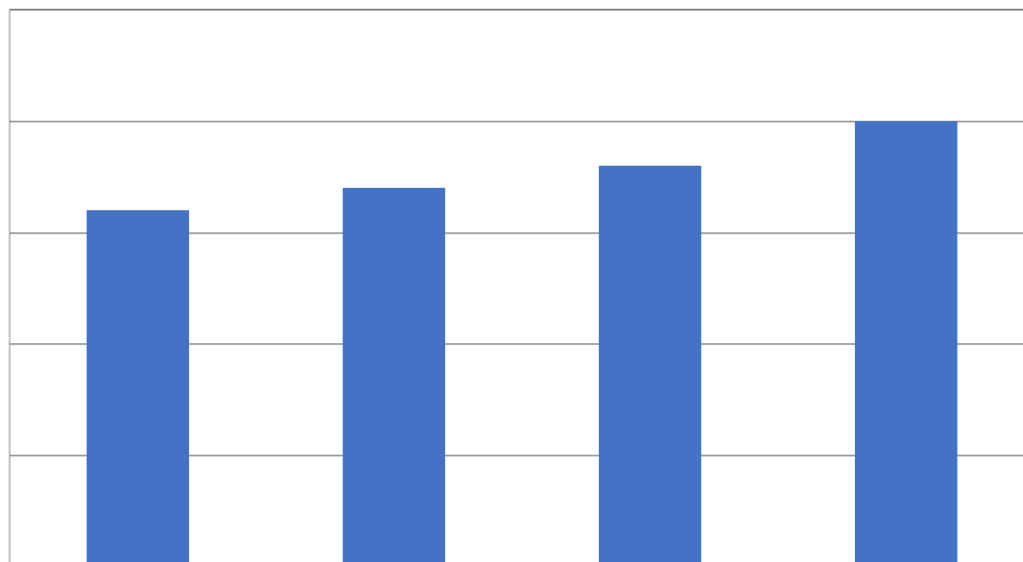


Рисунок 1.4 – Кількість випадків мікротріщин стойки:

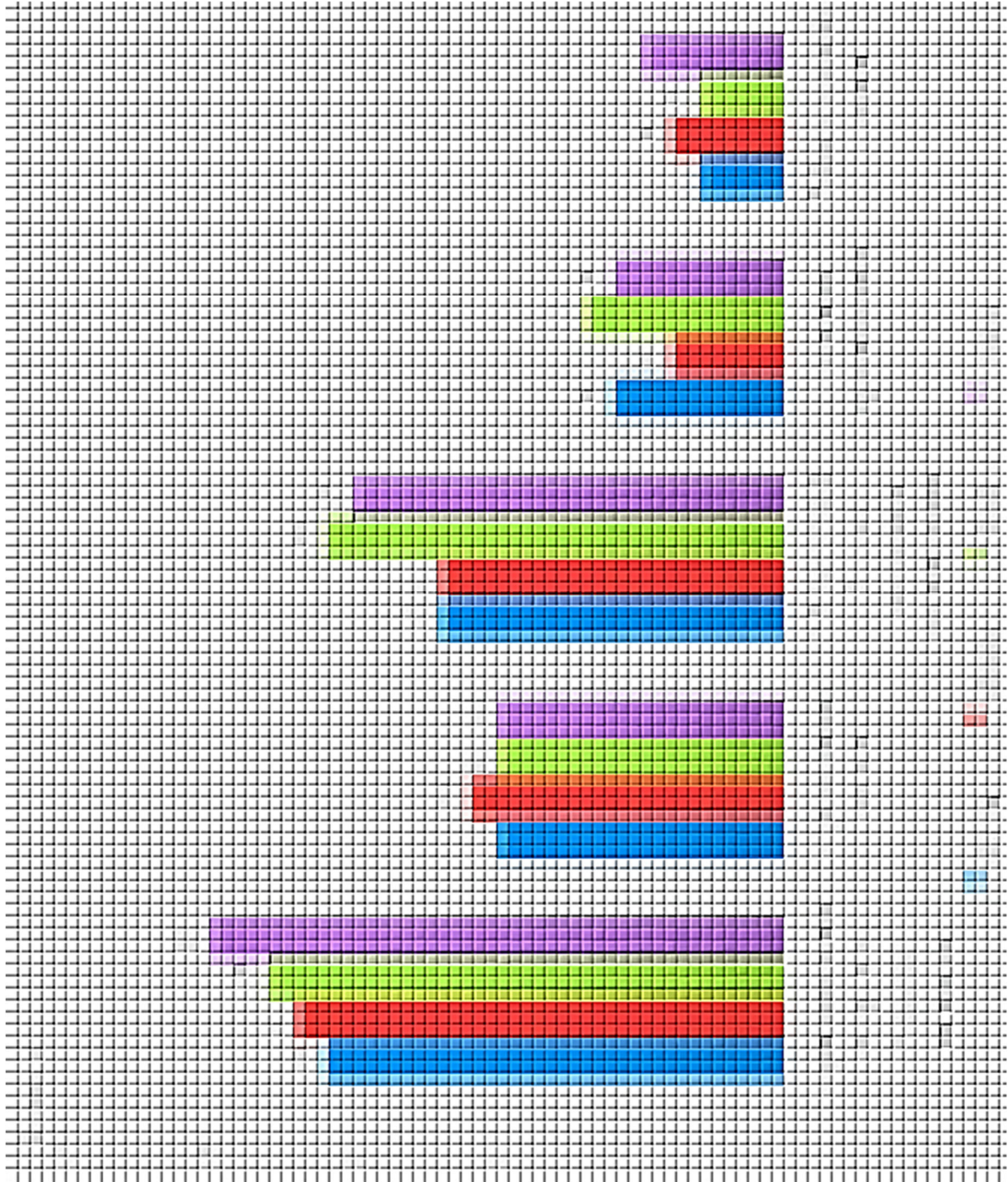


Рисунок 1.6 – Загальна діаграма несправностей

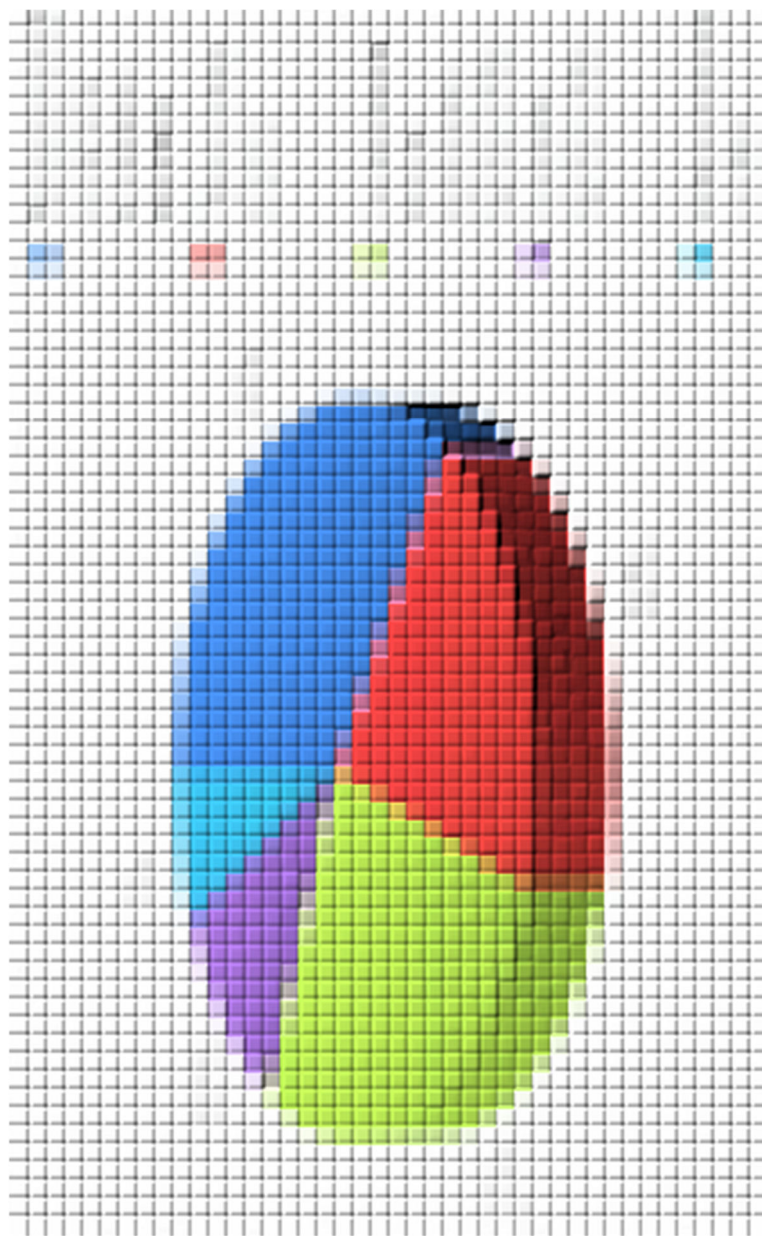


Рисунок 1.7 – Діаграма процентного співвідношення несправностей

2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА МАТЕРІАЛІВ ВУЗЛА КРІПЛЕННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Підвіска тягового двигуна опорно-осьова. Тяговий електродвигун одним кінцем спирається через моторно-осьові підшипники ковзання на вісь колісної пари, а іншим кінцем – на раму візка через спеціальну підвіску з гумовими шайбами.

Підвішування тягового двигуна складається з самої підвіски, двох гумових шайб, двох дисків, кронштейна і деталей монтажу, до яких належать планки, болти, гайка. Підвіска виконана поковкою зі сталі 45, з подальшою механічною обробкою, і має головку, якою підвіска кріпиться до середнього бруса рами візка за допомогою валика зі сталі 45, що проходить через втулки з марганцюватих сталей, запресовані у вушка кронштейна та в головку підвіски (рис. 2.1).

Запобігання валика від випадання здійснюється планками, що перекривають отвори вушок бруса, з яких одна приварена, а інша закріплена двома болтами. Самі болти стопоряться планкою, краї якої загнуті на межі головок болтів.

Для стягування пакета з дисків і гумових шайб слугує гайка, що встановлюється на підвісці з круглою різьбою діаметром 60 мм.

Кронштейн виконаний виливкою зі сталі 25Л, кріпиться до остова тягового електродвигуна болтами, попарно застопореними планками.

Для орієнтації гумових шайб, кронштейн і диски мають виточки. Шайби виконані з формувальної гуми і укладені по обидва боки кронштейна між дисками. Гумові шайби забезпечують пружність підвіски. Диски виконані з листової сталі.

Зусилля від кронштейна передаються через гумові шайби та диски на заплечики підвіски. На випадок обриву підвіски як додаткова страховка слугують спеціальні припливи на остові тягового двигуна і упори на середньому брусі рами візка.

Деталь "Валик" являє собою циліндр, довжиною 208 мм і діаметром 70 мм. З обох боків валика є дві фаски завдовжки 5 мм, виконаних під кутом 30° (рис. 2.2).

									Арк.
									11
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ				

Валик виконаний зі сталі 45.



Рисунок 2.1 – Підвіска тягового електродвигуна:

1, 3, 10 – планка; 2 – болт; 4 – підвіска; 5 – диск; 6 – шайба; 7 – валик; 8, 9 – втулка; 11 – гайка; 12 – кронштейн.

Деталь "Втулка" належить до групи тіл обертання. Деталь має форму циліндра довжиною 100 мм і діаметром 90 мм. Втулка має центральний, гладкий, ступінчастий, наскрізний отвір діаметром 75 мм на глибину 22,86 мм, діаметром 71 мм, діаметром 75 мм на глибину 22,86 мм. З обох боків втулки є дві фаски завдовжки 2 мм, виконаних під кутом 45° (рис. 2.3). Втулка виконана зі сталі 110Г13Л.

У складі конструкції вузла кріплення ТЕД є три планки, що являють собою металеві пластини, які відрізняються одна від одної габаритними розмірами. У таблиці 2.1 і на рис. 2.4 наведено розміри, що відповідають розмірам планок.

										Арк.
										12
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ					

Таблиця 2.1 – Розміри планок

Позначення	Розміри в міліметрах						
	L	B	D	A	F	E	C
Планка 1							
Планка 2							
Планка 3							

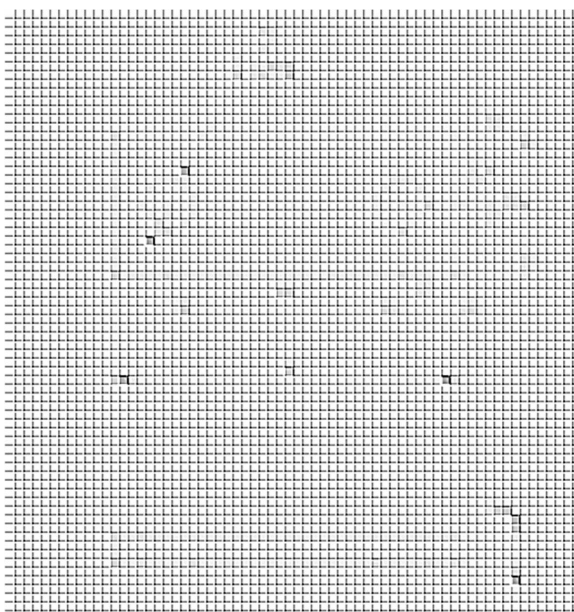


Рисунок 2.4 – Скріншот планки з програми Solidworks

У центрі диска є гладкий, наскрізний, ступінчастий отвір діаметром 70 мм на глибину 8 мм, виконаний із фаскою завдовжки 1 мм під кутом 45°, і діаметром 62 мм на глибину 7,5 мм, виконаний із фаскою завдовжки 1,5 мм під кутом 45° (рис. 2.5).

Нижній диск являє собою металевий циліндр діаметром 218 мм і висотою 22 мм. На одній з основ диска є виточка діаметром 205 мм на глибину 5 мм, кут нахилу грані виточки дорівнює 30°. У центрі диска є наскрізний, гладкий отвір діаметром 70 мм, виконаний із фаскою завдовжки 6 мм під кутом 45° (рис. 2.6). Обидва диски виконані зі сталі 3пс.

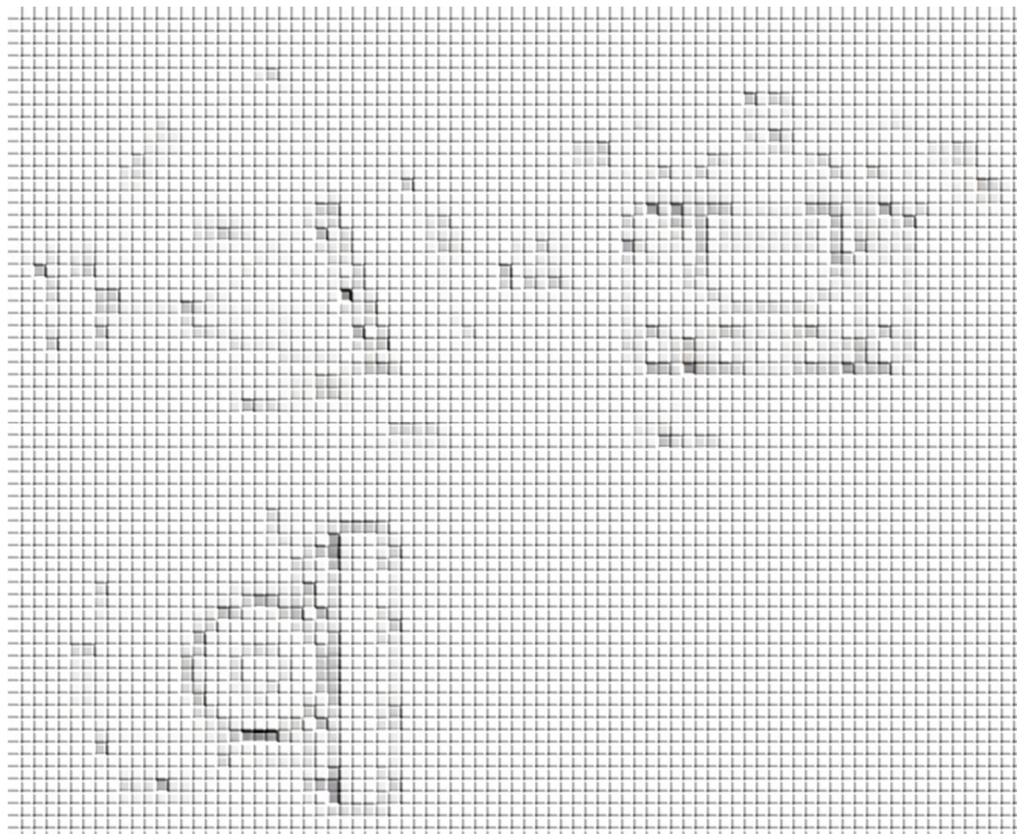


Рисунок 2.11 – Скріншот кронштейна з програми Solidworks

					0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

3 СИЛИ, ЩО ДІЮТЬ НА ВУЗОЛ КРІПЛЕННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

3.1 Режими роботи тягльої передачі

На тягову передачу діє насамперед навантаження, створюване тяговим моментом. Тяговий момент визначається режимом ведення поїзда (пуск, перехід з однієї тягової характеристики на іншу) і швидкістю, що змінюється при зміні опору руху. Оскільки навантаження, пов'язане з реалізацією сили тяги, є корисним, прагнуть підвищити його до значення, граничного за зчепленням, на що і має бути розрахована передача. Специфічний режим роботи передачі виникає під час боксування, тобто зриву зчеплення, його розвитку і відновлення [4].

У процесі боксування можливі як аперіодичні, так і періодичні динамічні режими, зокрема і з навантаженням, що перевищує граничне за зчепленням. Такий режим, як правило, виникає під час пуску або на низьких швидкостях, коли тягова характеристика двигуна дає змогу розвивати великі моменти. За несприятливого збігу обставин цей режим може стати причиною пошкодження передачі через високі навантаження.

Деякі аварійні режими в електричних колах, як, наприклад, круговий вогонь на колекторі тягового двигуна за відсутності ефективного швидкодіючого захисту для гасіння поля головних полюсів, також можуть спричинити появу великих динамічних навантажень у передачі, здатних навіть у разі однократного виникнення призвести до виходу її з ладу.

Перераховані режими роботи передачі пов'язані з реалізацією колісною парою функції рушія, у них двигун виступає як джерело силових збурень. У цьому разі основним збурювальним фактором є електромагнітний момент. Внаслідок того що тягова характеристика спадаюча, вплив цього фактора на загальний рівень навантаження зі зростанням швидкості зменшується. Водночас існують режими навантаження, пов'язані з виконанням колісною парою функції рухомої опори, яка вимагає відстеження в просторі деякої траєкторії, відмінної від прямої та обумовленої насамперед нерівностями колії в профілі та формою поверхні катання

										Арк.
										20
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ					

колеса. Ці збурення є кінематичними і можуть викликати динамічні реакції незалежно від того, розвиває двигун електромагнітний момент чи ні. Динамічні процеси, викликані ними за умови сталості швидкості руху, мають переважно стаціонарний (стійкий у часі) характер, а зі зростанням швидкості, як правило, проявляються більшою мірою. Через високі частоти зміни динамічних навантажень повторюваність їх значна, і вони можуть стати головною причиною втомних руйнувань елементів передачі.

Можна виокремити низку типових режимів навантаження передачі, які вона повинна витримувати в експлуатації та які на стадії проектування є об'єктом розрахунків:

– тяговий режим; навантаження передачі може бути прийнято статичним, максимальне значення його визначається тяговою характеристикою локомотива й умовами зчеплення коліс із рейками;

– стаціонарний динамічний режим навантаження під час руху з постійною швидкістю, насамперед із максимальною, а також за так званих резонансних швидкостей; динамічне навантаження за цих швидкостей може бути більшим, ніж за максимальною;

– нестаціонарний динамічний режим навантаження під час боксування; аварійний режим, наприклад, у разі короткого замикання на колекторі тягового двигуна.

3.2 Визначення сил, що діють на вузол кріплення ГЕД

При осьовій підвісці тяговий двигун спирається одним кінцем жорстко через моторно-осьові підшипники на колісну пару й іншим кінцем пружно підвішується до поперечного рамного кріплення. Крім ваги тягового двигуна, під час руху колісної пари нерівностями колії на опори тягового двигуна передається додаткове динамічне навантаження. Величина цього навантаження залежить від жорсткості механізму підвішування носика тягового двигуна до рамного кріплення і жорсткості пружного механізму вінця великого зубчастого колеса.

Під час розгляду випадку, коли початковий натяг пружин підвішування

									0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						21

Прискорення центру тяжіння корпусу двигуна у вертикальному напрямку розраховується за формулою:

$$z_k, \quad (3.1)$$

де z_k – вертикальне прискорення колісної пари, м/с²;

λ_k – відстань центру ваги корпусу двигуна до точки Ω підвішування носика, м;

L – відстань між опорними точками двигуна, м.

Сила інерції корпусу тягового двигуна під час його вертикального переміщення викличе додаткове навантаження на підвішування тягового двигуна

$$\frac{k k k k}{2k \cdot 2}, \quad (3.2)$$

де k – маса корпусу тягового двигуна, кг;

k – момент інерції корпусу двигуна відносно осі, що проходить через центр ваги.

Інерція корпусу тягового двигуна під час прискорення обертання спричинить збільшення навантаження на колісну пару і таке ж розвантаження механізму підвішування носика тягового двигуна на величину

$$\frac{k k k}{k \cdot 2}. \quad (3.3)$$

Таким чином, викликане інерцією корпусу тягового двигуна, загальне збільшення навантаження механізму підвішування носика тягового двигуна розраховується за формулою:

$$2k \cdot \frac{k k k k}{2k \cdot k} \cdot \frac{k k k k}{2 \cdot 2 \cdot 2} \left(\frac{k k k k}{k \cdot k} \right). \quad (3.4)$$

									0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						23

Під час руху нерівністю колії колісна пара з великим зубчастим колесом піднімається на k , а центр малої шестерні за відстані його $\overset{\cdot}{\text{Я}}$ від точки підвішування носика на $\overset{\cdot}{\text{Я}}$. Якір при цьому повернувся додатково на кут $\overset{\cdot}{\text{Я}}$, отже:

$$\overset{\cdot}{\text{Я}} k \overset{\cdot}{\text{Я}} \overset{\cdot}{\text{Я}} k \overset{\cdot}{\text{Я}} k, \quad (3.5)$$

де R – радіус великої шестерні, м;

r – радіус малої шестерні, м;

$\overset{\cdot}{\text{Я}}$ – відстань від центру малої шестерні до точки підвішування носика, м.

Що відповідає куту його повороту

$$\overset{\cdot}{\text{Я}} \overset{\cdot}{\text{Я}} k \overset{\cdot}{\text{Я}} k. \quad (3.6)$$

Таким чином, переміщення якоря складається з вертикального переміщення геометричної осі вала і обертання навколо тієї ж осі на кут $\overset{\cdot}{\text{Я}}$. Першому переміщенню відповідає сила інерції, спрямована вниз. Вона передається на колісну пару і механізм підвішування носика тягового двигуна у вигляді сил

$$\overset{\cdot}{\text{Я}} \overset{\cdot}{\text{Я}} \overset{\cdot}{\text{Я}} \overset{\cdot}{\text{Я}} k, \quad (3.7)$$

та

$$\overset{\cdot}{\text{Я}} \overset{\cdot}{\text{Я}} \overset{\cdot}{\text{Я}} \overset{\cdot}{\text{Я}} k, \quad (3.8)$$

де

$$\overset{\cdot}{\text{Я}} \overset{\cdot}{\text{Я}}. \quad (3.9)$$

За додатного вертикального прискорення колісної пари (спрямованого вгору) сила g буде також позитивною (спрямована вгору), колісна ж пара отримує додаткове навантаження. Силу g переносять у центр вала двигуна, додавши відповідний момент, і позначають її g . Силу g , яка передається корпусу тягового

									0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						24

двигуна через підшипники вала якоря, розкладають на сили, прикладені до опор корпусу тягового двигуна. Викликане силою g розвантаження підвішування носика тягового двигуна дорівнює

$$\frac{g_{\text{я}} \cdot g_{\text{д}}}{2} \quad (3.10)$$

Таким чином, розвантаження носика тягового двигуна дорівнюватиме:

$$\frac{g_{\text{я}} \cdot 2 \cdot g_{\text{д}} \cdot 2k}{2} \quad (3.11)$$

Динамічне навантаження від інерції якоря, що передається на механізм підвішування носика тягового двигуна

$$\frac{2g_{\text{я}} \cdot 2g_{\text{д}} \cdot 2k \cdot 2k}{2} \quad (3.12)$$

Далі розглянемо випадок, коли частина ваги двигуна, що передається на носик, а також реактивне зусилля при створенні двигуном сили тяги в сумі виявляються більшими за початковий натяг елементів механізму підвішування двигуна до рамного кріплення. У цьому разі проходження колісною парою нерівностей колії викликає деформацію пружних елементів механізму підвішування. Нехай при цьому колісна пара матиме вертикальне прискорення k з тим самим прискоренням підніматиметься і кінець двигуна, що спирається на вісь колісної пари. Визначаємо окремо сили інерції корпусу тягового двигуна і якоря. Переміщення корпусу тягового двигуна можна розглядати, як підняття центру тяжіння з положення C у положення C' (рис. 3.2) на висоту s і поворот двигуна навколо центру тяжіння на деякий кут α . Сила інерції корпусу тягового двигуна викличе, за позитивного прискорення, збільшення навантаження на підвішування носика тягового двигуна, що дорівнює

$$2k \cdot k \cdot k \cdot k \quad (3.14)$$

									0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						25

Розрахункова сила тяги приймається максимальною за умови обмеження по зчепленню колеса з рейкою. Для електровоза змінного струму величина сили тяги визначається

$$T = \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\mu_0} \right) \right] P, \quad (3.17)$$

де μ – коефіцієнт зчеплення коліс з рейкою;

v – швидкість руху, км/год;

$P = 235$ кН – навантаження від осі колісної пари на рейку.

У момент зрушення, за $V=0$ і $\mu=0,36$ сила тяги дорівнюватиме

$$T_{\mu=0,36} = 117,5 \text{ кН.}$$

Після підстановки числових значень у формулу (3.16), реакція на підвісці ТЕД

$$T_{\mu=0,36} = 117,5 \text{ кН.} \quad (3.18)$$

Шайби підвіски, крім динамічного навантаження, сприймають вагу половини двигуна, реакцію від тягового моменту та попередній натяг. Попередній натяг необхідний для того, щоб унеможливити розкриття амортизатора, таке положення можливе для верхньої шайби, якщо реакція на тяговий момент спрямована донизу і діє спільно з вагою двигуна. Щоб свідомо унеможливити таку можливість, величину попереднього натягу визначають за формулою:

$$P \geq d \cdot T, \quad (3.21)$$

де d – вага половини двигуна, кг.

На електровозах серії 2ЕЛ5 встановлюють тягові двигуни масою 4300 кг, отже вага половини двигуна дорівнюватиме:

										Арк.
										27
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ					

$$\frac{C_T}{22}, \quad (3.30)$$

i

$$\frac{P}{A}, \quad (3.31)$$

де P – сила, що діє на шайбу, Н;

F – площа поверхні шайби, м²;

C_T – статичне навантаження, Н;

d_1 – зовнішній діаметр шайби, м;

d_2 – внутрішній діаметр шайби, м.

$$P = A \cdot \frac{P}{A}. \quad (3.32)$$

Якщо гумовий елемент відчуває деформації стиснення, то його жорсткість буде залежати від вільної поверхні випучування гуми і від стану опорних поверхонь. Розрахунковий модуль пружності визначається за формулою:

$$E = \frac{P}{\Phi}, \quad (3.33)$$

де E – модуль пружності гуми, Па;

Φ – коефіцієнт, який враховує стан опорних поверхонь. При міцному кріпленні опорних поверхонь гуми до металевих прокладок $\Phi = 4,67$ [3];

Φ – коефіцієнт форми гумового елемента.

Коефіцієнт форми являє собою відношення площі однієї опорної поверхні гумового елемента до його повної бічної поверхні (поверхні випучування)

$$\frac{22}{\frac{d_1^2 - d_2^2}{4}}. \quad (3.34)$$

										Арк.
										30
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ					

Модуль пружності E , Па, пов'язаний з модулем зсуву гуми G_p , Па, виразом:

$$E = 3G_p. \quad (3.35)$$

Основним показником, за яким оцінюються властивості гуми є її твердість. Перехід від числа твердості h до G_p , здійснюється за емпіричною формулою:

$$p = \frac{h^2}{2}. \quad (3.36)$$

Напруження стиснення

$$p = \frac{6 \cdot 6}{2 \cdot 2} \text{ Па.}$$

Розрахунковий модуль пружності

$$p = \frac{6 \cdot 6}{2} \text{ Па.}$$

Коефіцієнт форми гумового амортизатора:

$$k = \frac{6 \cdot 6}{6 \cdot 6} = 1.$$

Модуль пружності гуми

$$E = \frac{6 \cdot 6}{2} \text{ Па.}$$

Модуль зсуву гуми

$$p = \frac{6 \cdot 6}{2} \text{ Па} = 7,3 \text{ кгс/см}^2.$$

Число твердості гуми:

$$h = \sqrt{2 \cdot p} = \sqrt{2 \cdot 7,3} = 3,7.$$

Гума такої твердості забезпечить допустиму деформацію амортизатора.

										Арк.
										31
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ					

У цьому розділі розглянуто сили і навантаження, що діють на вузол кріплення тягового електродвигуна в експлуатації; розраховано реакцію на підвісці від дії тягового моменту та величину попереднього стиснення шайб. Ці дані необхідні для завдання навантаження під час розрахунку моделі в пакеті SolidWorks Simulation.

					0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

4 СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛІ ВУЗЛА КРІПЛЕННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ДО РАМИ ВІЗКА

Зібрана модель вузла кріплення тягового електродвигуна до рами візка електровоза 2ЕЛ5 показана рис. 4.1, вона складається з валика, втулки, підвіски, кронштейна, двох дисків і двох гумових шайб. Нижче описані процеси створення моделей кронштейна, підвіски та шайби, оскільки вони становлять найбільшу складність при моделюванні. Процес створення моделі валика та втулки не описуються, тому що деталі не становлять складності при моделюванні і створюються за допомогою одного ескізу. При побудові збірки між деталями задані умови сполучення концентричність та збіг.

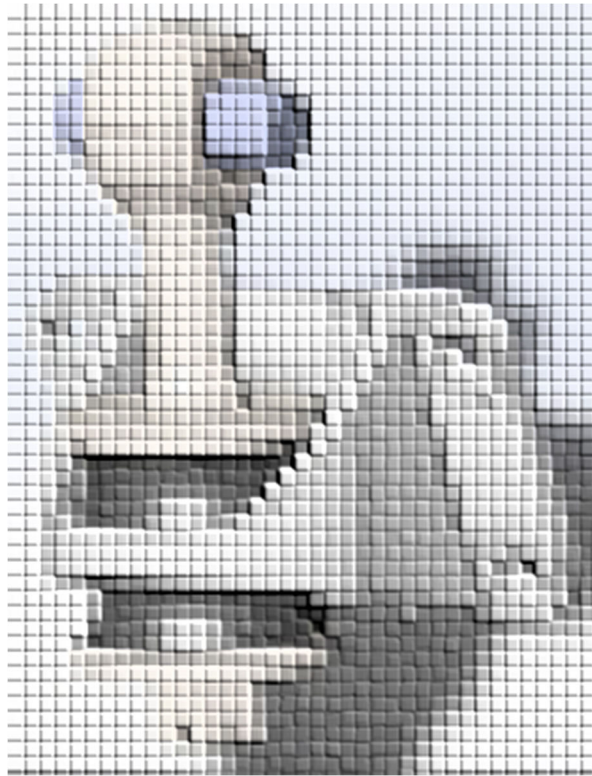


Рисунок 4.1 – Складальна 3D-модель підвіски тягового двигуна

На рис. 4.2 зображено поздовжній розріз складальної моделі, на якому різними кольорами виділено елементи збірки.

									0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						33

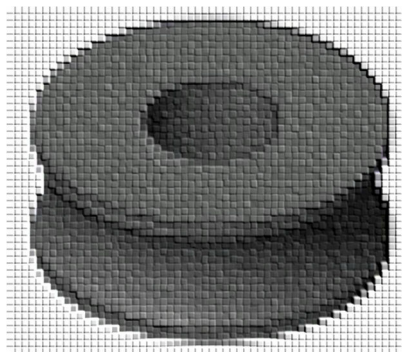


Рисунок 4.12 – Зовнішній вигляд 3D-моделі шайби

					0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

5 АНАЛІЗ 3D-МОДЕЛІ ВУЗЛА КРІПЛЕННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ДО РАМИ ВІЗКА

CAE (computer aided engineering) – загальна назва для програм, призначених для інженерних розрахунків конструкцій та аналізу фізичних процесів, пов'язаних із ним. За допомогою CAE-систем можна вирішувати два типи завдань – розробка нових конструкцій та перевірка існуючої конструкції. CAE-системи можуть застосовуватися разом із CAD-системами. Однією з таких CAD-систем є SolidWorks із вбудованими CAE-модулями. Solid Works Simulation – CAE-модуль, заснований на методі кінцевих елементів і призначений для проведення аналізу міцності. Нині метод кінцевих елементів (МКЕ) є стандартом під час вирішення завдань механіки твердого тіла у вигляді чисельних алгоритмів. Популярний свого часу метод кінцевих різниць, а також метод граничних елементів (граничних інтегральних рівнянь), що претендував на універсальність, зараз займають досить вузькі ніші, обмежені дослідницькими або спеціальними завданнями [7].

МКЕ зайняв лідируючу позицію завдяки можливості моделювати широке коло об'єктів та явищ. Абсолютна більшість конструктивних елементів, вузлів та конструкцій, виготовлених з найрізноманітніших матеріалів, що мають різну природу, можуть бути розраховані за допомогою кінцевих елементів. При цьому потрібно враховувати немінучі за будь-якої чисельної апроксимації умовності та похибки. Тому питання відповідності між розрахунковою моделлю та реальністю є основним під час використання програм аналізу. Незважаючи на те, що такі програми мають більш менш докладну документацію, вони все одно залишаються певною мірою чорними скриньками. Це означає певну непередбачуваність результатів, а також деяке свавілля в їхній інтерпретації. Отже, якість висновків, прийнятих з урахуванням результатів, повністю залежить від кваліфікації, і навіть, щодо розрахунку на міцність, важливого знайомства з основами МКЕ [7].

У цьому розділі виконується статичний аналіз вузла кріплення ТЕД до рами візка електровоза 2ЕЛ5 у програмі SolidWorks Simulation, для цього було здійснено аналіз несправностей об'єкта, його конструкції та сил, що діють на підвіску

					0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

тягового електродвигуна в експлуатації.

5.1 Статичний аналіз на міцність вузла кріплення ТЕД під дією ваги двигуна

Для отримання розрахункових даних необхідно закріпити модель, прикласти силу, створити сітку, застосувати матеріали до деталей і задати умови контакту між компонентами моделі. Модель закріплюється зафіксованою геометрією в отворах кронштейна під болтові з'єднання, імітуючи кріплення шістьма болтами до кістяка тягового електродвигуна. Другим кріпленням виступає імітація рами візка, закріплена за допомогою інструмента «ролик–повзун», такий тип кріплення дозволяє переміщатися всієї конструкції у вертикальній площині під дією сили, що додається. Зовнішній вигляд моделі з місцями закріплень показано на рис. 5.1.

Перед початком розрахунків у 3D-моделі кронштейна на всіх гострих кромках виконані округлення радіусом 1 мм, для більш правильної побудови сітки кінцевих елементів, а також на гайці і на підвісці прибрано різьблення, так як напруження, що виникають у різьбовому з'єднанні, не становлять інтересу під час розрахунку.

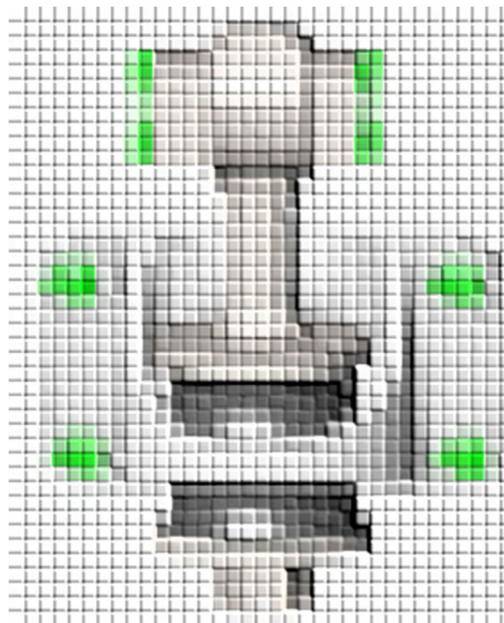


Рисунок 5.1 – Місця закріплення моделі

Після закріплення моделі необхідно докласти силу, що діє на об'єкт

					<i>0032.180152.000.04KP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

дослідження. Тому що у стані спокою підвіска ТЕД сприймає тільки вагу половини двигуна, то в даному випадку застосована нормальна сила величиною 21,07 кН, отримана в результаті розрахунків у попередньому розділі, прикладена до рами візка знизу нагору, як показано на рис. 5.2. Такий спосіб завдання сили спрощує дослідження (у зв'язку з відсутністю необхідності моделювання кістяка двигуна) і одночасно дає повне та вірне уявлення про характер переміщення вузлів моделі та напружень і деформацій, що виникають при цьому.

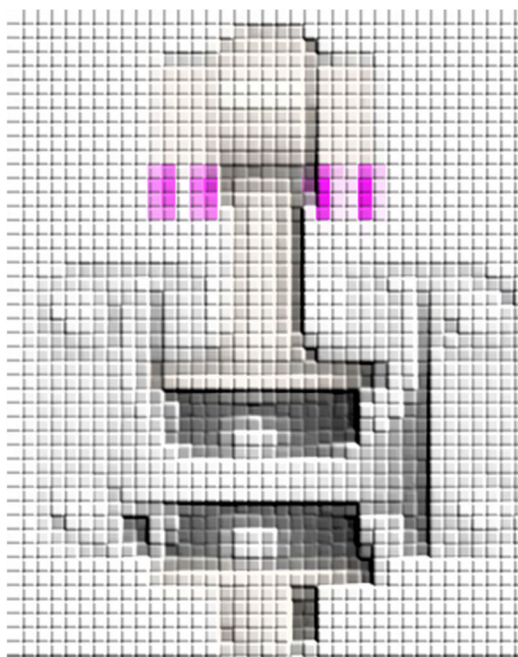


Рисунок 5.2 – Напрямок дії прикладеної сили

Наступним етапом створюється сітка кінцевих елементів. Процес починається із створення геометричної моделі. Потім програма ділить модель на невеликі частини простої форми (елементи), з'єднані у загальних точках. Програма аналізу кінцевих елементів розглядає модель як мережу дискретних пов'язаних між собою елементів. Метод кінцевих елементів прогнозує поведінку моделі за допомогою зіставлення інформації, отриманої від усіх елементів, що становлять модель [7]. Створення сітки – дуже важливий етап у аналізі конструкції. Автоматичний творець сітки у програмі створює сітку на основі глобального розміру елемента, допуску та характеристик локального управління сіткою.

									Арк.
									42
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ				

Управління сіткою дозволяє встановити різні розміри елемента для компонентів, граней, кромки, вершин. Програма визначає розмір елемента для моделі, враховуючи її об'єм, площу поверхні та інші геометричні характеристики. Розмір створюваної сітки залежить від геометрії та розмірів моделі, допуску сітки, параметрів управління сіткою та характеристик контакту. На рис. 5.3 показані налаштування створюваної сітки. Під час створення сітки для деталі високої якості автоматичний творець сітки створює параболічні тетраедральні твердотільні елементи [8]. Зовнішній вигляд моделі після створення сітки наведено на рис. 5.4.

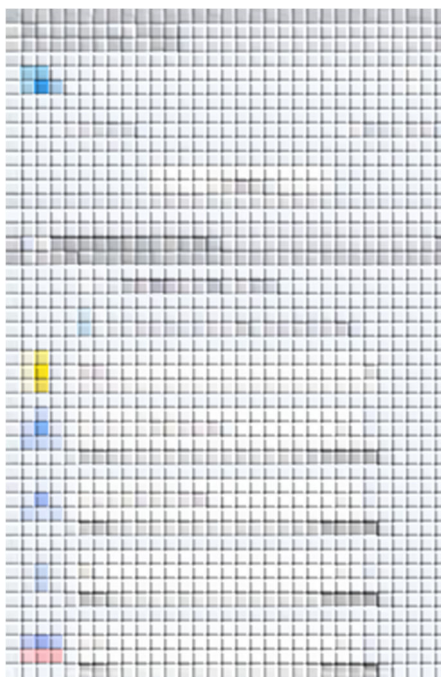


Рисунок 5.3 – Параметри створюваної сітки

Критерій Мізеса (критерій енергії формозміни) визначає момент вичерпання несучої здатності порівнянням величини еквівалентного напруження з межею плинності матеріалу. Критерій Мізеса застосовний для ізотропних матеріалів, що мають в'язкий характер руйнування, до них належить більшість металів. Розрахунок еквівалентного напруження при статичному навантаженні від ваги двигуна, показує, що в деталях вузла кріплення ТЕД до рами візка виникають наступні напруження: втулка – 17 МПа; валик – 28 МПа; нижня шайба – 2 МПа; нижня шайба – 25 МПа; нижній диск – 2,4 МПа; верхній диск – 48 МПа; кронштейн – 6 МПа; підвіска – 7 МПа; гайка – 75 МПа. Дані статичного аналізу наведено у

										Арк.
										43
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ					

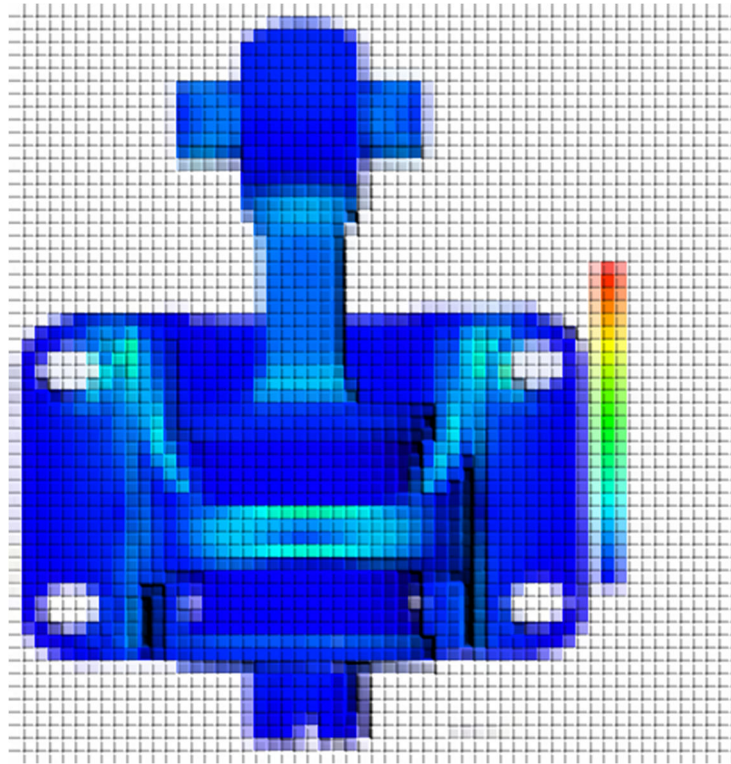


Рисунок 5.5 – Епюра еквівалентних нормальних напружень у разі навантаження силою 27 кН

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку еквівалентних напружень у разі навантаження силою 21кН

Деталь	Матеріал	Максимальне напруження, МПа	Межа плинності матеріалу, МПа	Коефіцієнт запасу міцності
Втулка	Сталь 110Г13Л			
Валик	Сталь 45			
Шайба	Гума 7ірп-1348			
Шайба	Гума 7ірп-1348			
Диск	Сталь 3пс			
Диск	Сталь 3пс			
Кронштейн	Сталь 25Л			
Підвіска	Сталь 45			
Гайка	Сталь 45			

Розрахунок еквівалентної напруги, при статичному навантаженні від максимального тягового моменту, показує, що в деталях вузла кріплення ТЕД до рами візка виникають наступні напруження: втулка – 58 МПа; валик – 67 МПа; верхня шайба – 11,1 МПа; підвіска – 1,2 МПа; нижня шайба – 11 МПа; верхній диск – 1,3 МПа; гайка – 1,2 МПа; кронштейн – 2,2 МПа; нижній диск – 21 МПа. Результати статичного аналізу наведено у таблиці 5.2. Епюра напружень наведена на рис. 5.6. Згідно з результатами розрахунку, максимальне напруження виникає в нижньому диску і становить 2,2 МПа, межа плинності для матеріалу сталь 3пс, з якого виготовлена деталь, становить 21 МПа, отже, напруження в диску становлять небезпеку, тому що деталь майже досягла своєї межі плинності.

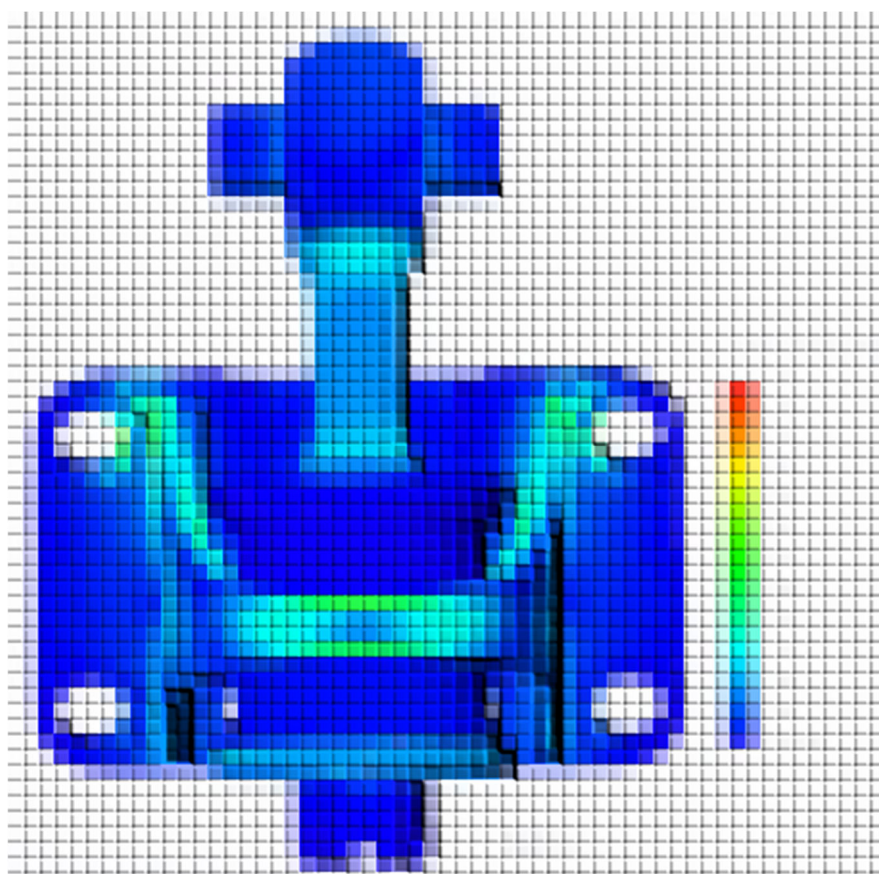


Рисунок 5.6 – Епюра еквівалентних нормальних напружень у разі навантаження силою 6,кН

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку еквівалентних напружень у разі навантаження силою 641 кН

					0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Деталь	Матеріал	Максимальне напруження, МПа	Межа плинності матеріалу, МПа	Коефіцієнт запасу міцності
Втулка	Сталь 110Г13Л			
Валик	Сталь 45			
Шайба	Гума 7ірп-1348			
Шайба	Гума 7ірп-1348			
Диск	Сталь 3пс			
Диск	Сталь 3пс			
Кронштейн	Сталь 25Л			
Підвіска	Сталь 45			
Гайка	Сталь 45			

5.3 Статичний аналіз на міцність вузла кріплення ТЕД під дією максимального тяглого моменту в кривій ділянці колії

Для отримання розрахункових даних закріплення моделі та контактні умови між компонентами моделі приймаємо аналогічно умовам, заданим під час розрахунку вузла кріплення ТЕД під вагою двигуна. Величина сили від дії максимального тягового моменту розрахована у попередніх розділах, вона приймається рівною 641 кН, тому що реакція від дії тягового моменту діє спільно з вагою двигуна. Також у кривій ділянці колії на підвіску тягового двигуна, через колісну пару та тяговий електродвигун, передається спрямовуюча сила. Розмір спрямовуючої сили було розраховано у попередньому розділі і приймається рівною 131 кН. Напрямок дії сил показано на рис. 5.7.

Розрахунок еквівалентного напруження у разі статичного навантаженні від максимального тягового моменту, під час проходження кривої ділянки колії, показує, що в деталях вузла кріплення ТЕД до рами візка виникають наступні напруження: верхня шайба – 102 МПа; валик – 13 МПа; нижня шайба – 1,2 МПа; гайка – 18 МПа; верхній диск – 18 МПа; нижній диск – 2,3 МПа; кронштейн – 215,3

									Арк.
									47
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ				

МПа; підвіска – 260,2 МПа; втулка – 28,3 МПа. Результати статичного аналізу наведено у таблиці 5.3, а епюра напружень наведена на рис. 5.8.

Згідно з результатами розрахунку, максимальне напруження виникає у втулці і становить 2,3 МПа, межа плинності для матеріалу сталь 10Г13Л, з якого виготовлена деталь, становить 3 МПа, отже, напруження не становлять небезпеки, деталь забезпечує запас по міцності і є працездатною. Але згідно з результатами розрахунку, максимальне напруження, що виникає в нижньому диску становить 2,3 МПа, межа плинності для матеріалу сталь 3пс, з якого виготовлена деталь, становить 21 МПа, отже, напруження в диску становлять небезпеку, тому що деталь майже досягла своєї межі плинності.

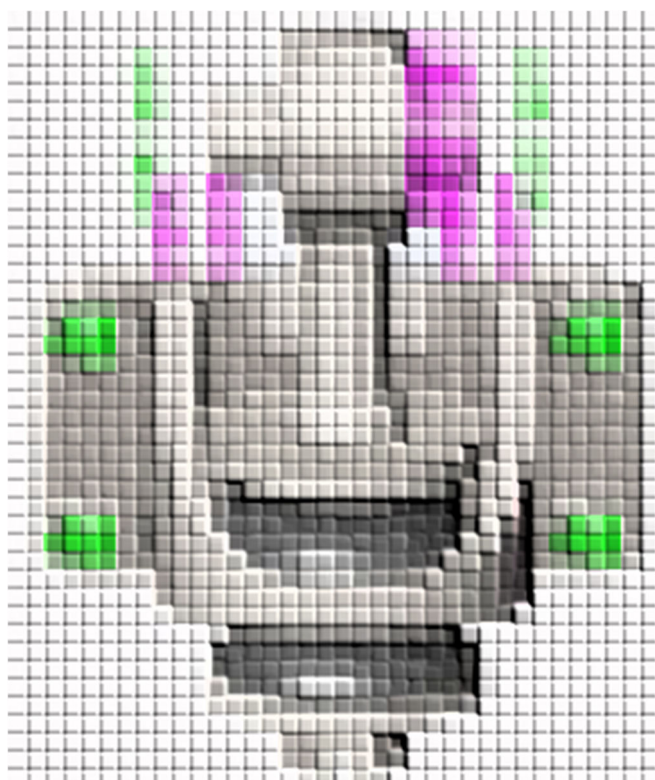


Рисунок 5.7 – Напрямок дії прикладеної сили

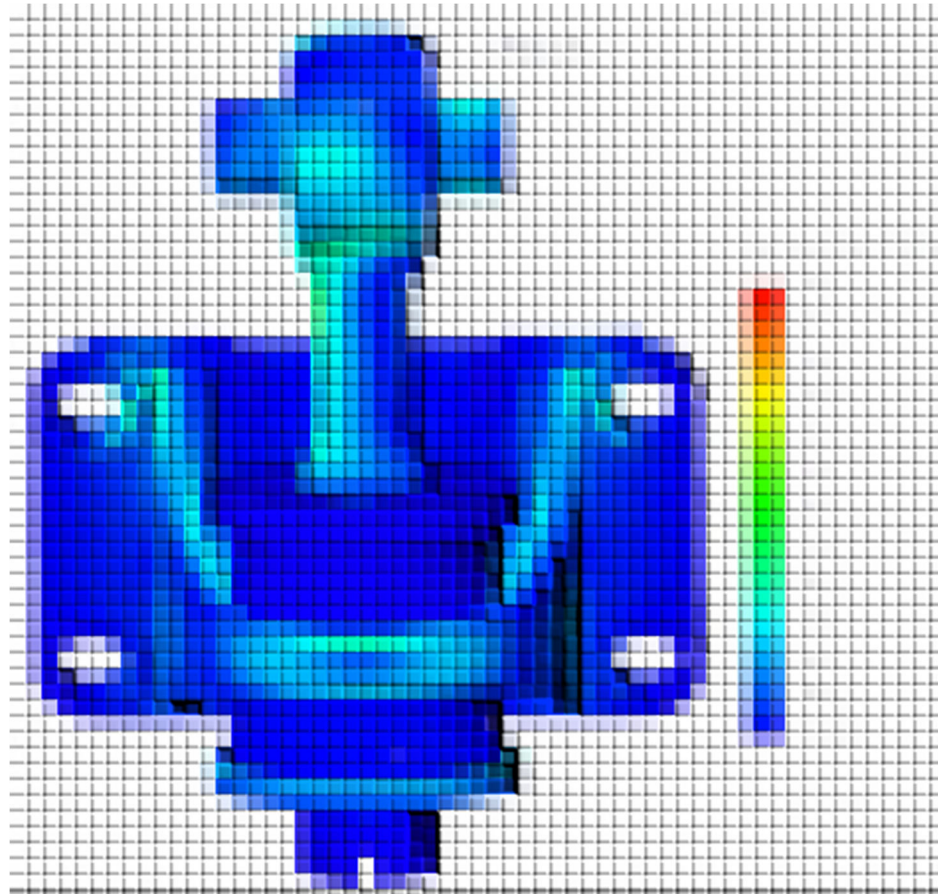


Рисунок 5.8 – Епюра еквівалентних нормальних напружень у разі навантаження силою 64 кН у кривій ділянці колії

5.4 Висновки за результатами розрахунків

З даних, отриманих в результаті розрахунків, можна дійти невтішного висновку у тому, що найменший коефіцієнт запасу міцності мають диски та кронштейн, що становить небезпеку в експлуатації. Аналіз несправностей вузла кріплення тягового електродвигуна показав, що за період 2019–2022 р.р. було зафіксовано 23 випадки тріщини кронштейна, це також доводить той факт, що кронштейн має низький запас міцності. У зв'язку з цим необхідно посилювати деталі – змінювати їх конструкцію або використовувати міцніші матеріали, які сприятимуть підвищенню міцності деталей.

Згідно зі статичними аналізами, проведеними при різних режимах експлуатації, пропонується модернізувати кронштейн шляхом спрощення його

						0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			49

конструкції, а також замінити матеріал на більш міцний. У якості матеріалу для виготовлення пропонується використовувати сталь 45, тому що вона має межу плинності в 1,93 рази більшу у порівнянні зі сталлю 25л. Новий кронштейн є тавровою зварною конструкцією з двома ребрами жорсткості. Товщина основи кронштейна зменшена до 2 мм, товщина опорної частини зменшена до 3мм, ребра жорсткості мають товщину 15 мм. Розміри кронштейна наведено на рис. 5.9.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунку еквівалентних нормальних напружень у разі навантаження силою 64,41 кН у кривій ділянці колії

Деталь	Матеріал	Максимальне напруження, МПа	Межа плинності матеріалу, МПа	Коефіцієнт запасу міцності
Втулка	Сталь 110Г13Л			
Валик	Сталь 45			
Шайба	Гума 7ірп-1348			
Шайба	Гума 7ірп-1348			
Диск	Сталь 3пс			
Диск	Сталь 3пс			
Кронштейн	Сталь 25л			
Підвіска	Сталь 45			
Гайка	Сталь 45			

Після модернізації вага кронштейна зменшилась на 15% (з 5 до 4,5 кг), а його міцність збільшилася. Зовнішній вигляд модернізованого кронштейна наведено на рис. 5.10.

Для виготовлення дисків також пропонується використовувати сталь 5, тому що вона має межу плинності в 2,9 рази більшу в порівнянні зі сталлю 3пс, це також підвищить міцність деталей без внесення змін до конструкції.

										Арк.
										50
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ					

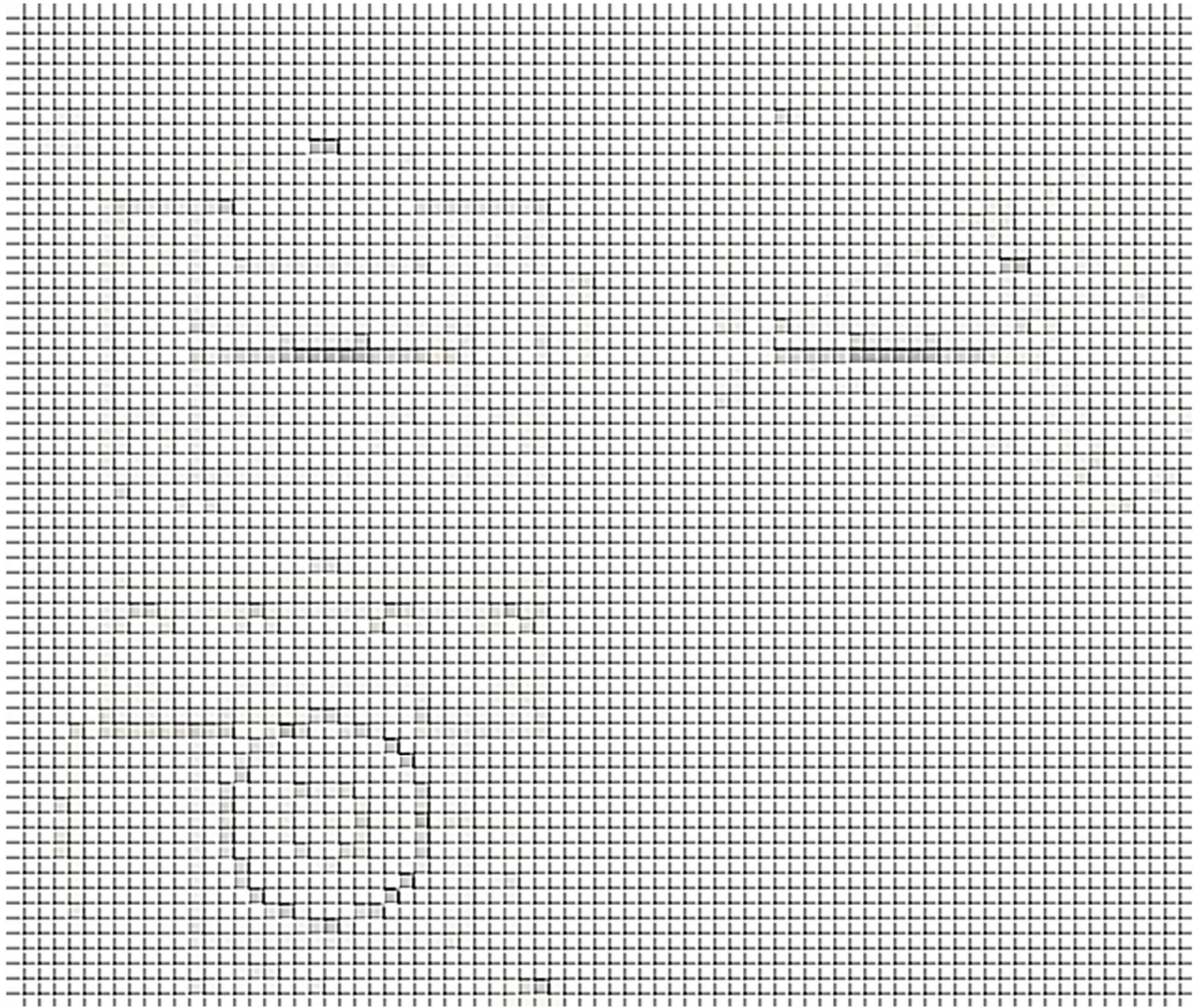


Рисунок 5.9 – Скріншот модернізованого кронштейна із програми Solidworks

5.5 Статичний аналіз на міцність вузла кріплення ТЕД під дією максимального тяглого моменту у кривій ділянці колії після модернізації

Для отримання розрахункових даних закріплення моделі та контактні умови між компонентами моделі приймаємо аналогічно умовам заданим під час виконання розрахунку вузла кріплення ТЕД під дією максимального тягового моменту в кривій ділянці колії. Величина сили від дії максимального тягового моменту розрахована у третьому розділі, вона приймається рівною ,41 кН, тому що реакція від дії тягового моменту діє спільно з вагою двигуна. Також у кривій

						0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			51

ділянці колії на підвіску ТЕД, через колісну пару та ТЕД, передається спрямовуюча сила. Величина спрямовуючої сили була розрахована у третьому розділі кваліфікаційної роботи і приймається рівною 14, кН. Напрямок дії сил показано на рис. 5.11.

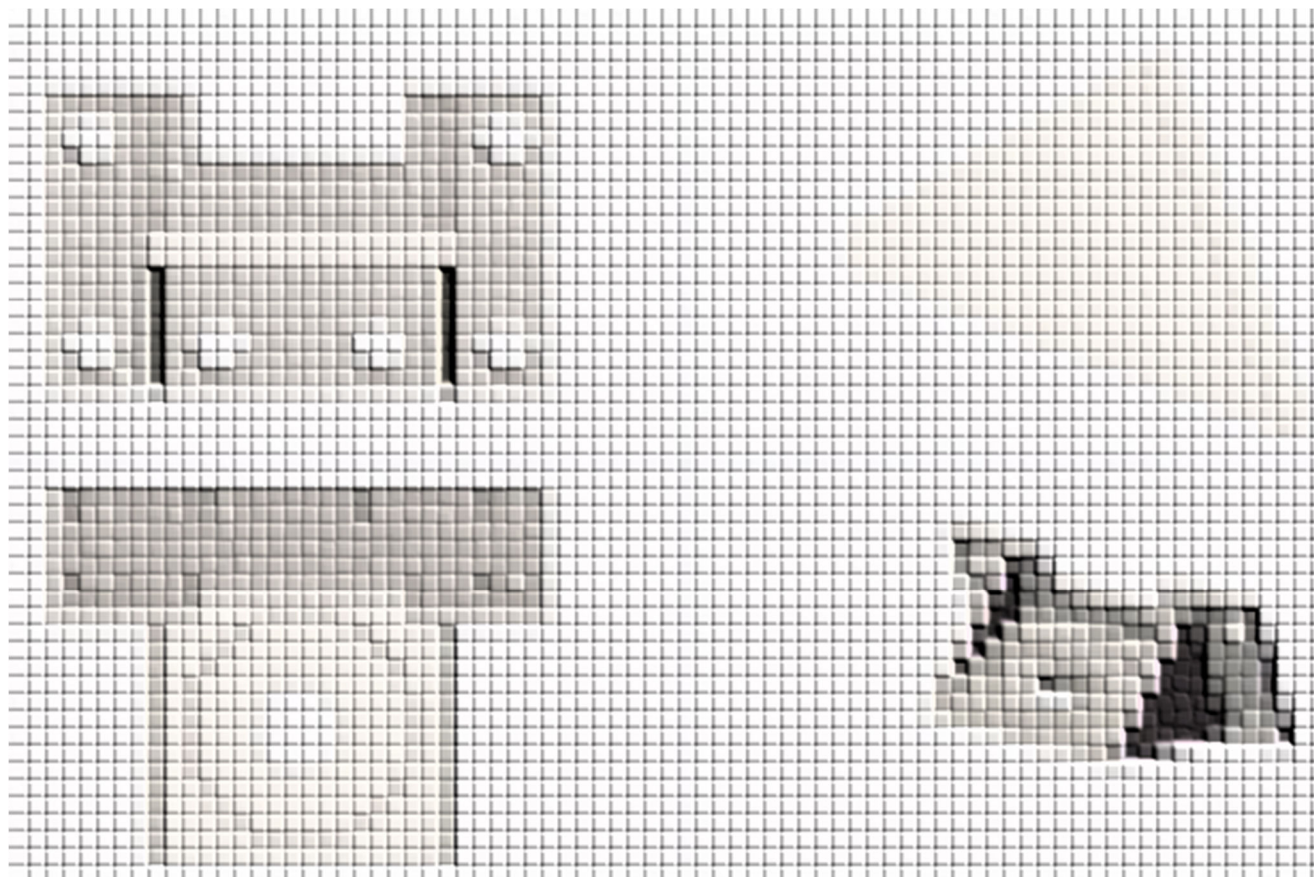


Рисунок 5.10 – Модернізований кронштейн

Розрахунок еквівалентних напружень у разі статичному навантаженні від максимального тягового моменту під час проходження кривої ділянки колії показує, що в деталях вузла кріплення ТЕД до рами візка після модернізації виникають наступні напруження: валик – 1,8 МПа; верхня шайба – 1,2 МПа; гайка – 1,7 МПа; верхній диск – 1,5 МПа; нижня шайба – 1,8 МПа; нижній диск – 20 МПа; підвіска – 2,7 МПа; кронштейн – 2,7 МПа; втулка – 2,2 МПа. Результати статичного аналізу наведено у таблиці 5.4. Епюра напружень наведена на рис. 5.11.

										0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							52

6 РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ РЕМОНТУ ПІДВІСКИ ТЯГОВОГО ДВИГУНА НА ПОТОЧНОМУ РЕМОНТІ ПР-3

Поточний ремонт ПР-3 призначений для відновлення основних експлуатаційних характеристик, справності та ресурсу (терміну служби) електровоза шляхом ремонту, заміни зношених або пошкоджених деталей та агрегатів з обов'язковою перевіркою стану інших складових частин з усуненням виявлених несправностей. Виконується у спеціалізованих локомотивних депо залізниці (базових локомотивних депо) [9, 10].

Об'єм ПР-3 передбачає підйомку кузова, викочування колісно-моторних блоків з ремонтом та заміною окремих елементів. Стрижень підвіски ТЕД перевіряють на магнітному та ультразвуковому дефектоскопах та замінюють у разі потреби.

Собівартість – це витрати підприємства на ремонт продукції у грошовій формі. Планування собівартості є складовою планування промислового виробництва та представляє собою систему техніко-економічних розрахунків, що відображують розмір і зміну поточних витрат. У плані собівартості знаходять відображення всі основні сторони виробничо-господарської діяльності підприємства.

Планування собівартості може здійснюватися нормативно-балансовим та розрахунково-аналітичним методами [9].

Нормативно-балансовий, або метод прямого рахунку полягає у тому, що розраховується планова собівартість всіх найменувань продукції виробленої програми та складається кошторис витрат за виробництво. При розрахунку собівартості цим методом неможливо встановити під впливом яких чинників вона змінюється, і це не дозволяє робити вірні висновки про ступінь прогресивності технології та повноту обліку резервів у плані.

Розрахунково-аналітичний метод дозволяє визначити планову собівартість не окремих виробів, а всіх агрегатів, що ремонтуються, і розкрити вплив

										Арк.
										55
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ					

найважливіших техніко-економічних факторів на зміну собівартості.

Собівартість продукції підприємства складається із витрат, пов'язаних із використанням у процесі виробництва продукції сировини, матеріалів, енергії, основних фондів, трудових ресурсів, а також інших витрат на обсяг ремонту [9].

За способом включення витрат у собівартість продукції витрати поділяються на прямі та непрямі. Прямі витрати безпосередньо пов'язані з виробництвом окремих видів ремонту і прямо включається в їх собівартість, а непрямі витрати пов'язані, як правило, з виробництвом кількох видів продукції та розподіляються пропорційно до будь-якої бази. У якості бази приймається основна заробітна плата виробничих робітників, години роботи обладнання та інші.

У зв'язку з обсягом виробництва витрати поділяються на змінні, які зростають або зменшуються пропорційно зростанню або зменшенню обсягу ремонту, і умовно-пропорційні, які при зміні обсягу ремонту деталей істотно не змінюються [9].

Витрати, що утворюють собівартість ремонтної продукції, групують за такими елементами:

- матеріальні витрати (паливо, електроенергія, інші матеріали);
- витрати на оплату праці;
- відрахування до позабюджетних фондів;
- амортизація основних фондів;
- інші витрати.

Договірні оптові ціни на продукцію виробничо-технічного призначення, що встановлюються заводами з ремонту рухомого складу, визначають відповідно до методології та порядку, прийнятих органами ціноутворення.

Для ремонту підвіски тягового двигуна необхідно врахувати витрати на заробітну плату, відрахування на соціальні потреби та витрати матеріали.

Собівартість одиниці ремонту продукції визначається за наступною формулою:

$$\frac{p \cdot z \cdot a \cdot g}{p}, \quad (6.1)$$

									Арк.
									56
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ				

S – кількість робочих змін, приймаємо $S=1$;

m і c – місячна заробітна плата виконавця, грн.

Заробітна плата – це виражена в грошовій формі частина національного доходу, яка розподіляється за кількістю та якістю праці, витраченого кожним працівником, і надходить у особисте споживання працівника.

Організація заробітної плати на підприємстві визначається трьома взаємозалежними елементами: нормування праці, тарифною системою, формами та системами заробітної плати [9].

Нормування праці дозволяє встановити всебічно обґрунтовані норми.

Тарифне нормування заробітної плати спрямоване на забезпечення правильної оцінки та оплати конкретних видів праці залежно від її кількості, якості та умов, в яких вона здійснюється, головним змістом тарифного нормування є розробка тарифної системи оплати праці, яка включає тарифну ставку, тарифну сітку та тарифно-кваліфіковані довідники.

Розробка та використання різних форм та систем оплати праці дозволяють застосувати в кожній групі та категорії працюючих певний порядок обчислення заробітку.

Оплата праці працівників, зайнятих в основній діяльності залізниць, здійснюється на основі єдиних тарифних ставок та окладів, що визначаються, виходячи з мінімальної заробітної плати у галузі та тарифних коефіцієнтів.

Заробітна плата складається з основної частини, що носить постійний характер, та додаткової, що має змінний характер. Основна частина включає тарифну ставку і посадовий оклад. Змінна частина є різними видами премій, доплат і надбавок [10].

Тарифна ставка (оклад) – це абсолютний обсяг оплати праці робітників за одиницю робочого дня.

Тарифну ставку робітника визначають, виходячи з мінімального розміру оплати праці. Розмір мінімальної заробітної плати є державною соціальною гарантією та має встановлюватися на рівні вартості споживчого кошика.

									0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						58

Мінімальний розмір оплати праці на підприємствах залізничного транспорту встановлюють на основі колективно-договірної угоди між залізницями та профспілкою робітників залізничного транспорту та транспортного будівництва на основі соціального партнерства.

Премії нараховуються на заробіток за відрядними розцінками або тарифними ставками, включаючи суму надбавок за високу професійну майстерність. Робітники преміюються, як правило, за результатами роботи за місяць.

Доплати, надбавки до заробітної плати працівників визначають відповідно до Трудового кодексу та нормативних документів та галузевою тарифною угодою.

Місячна заробітна плата визначається за формулою:

$$M = i \cdot C \cdot I \quad (6.4)$$

де C – тарифна заробітна плата, для слюсаря цеху ПР-3 4 розряду становить C_1

для слюсаря ділянки технічної діагностики 5 розряду – C_2 1570 грн. [10];

I – преміальна винагорода, що дорівнює 4% від окладу [10].

Преміальна винагорода визначається за формулою:

$$I = C \cdot I_1 \quad (6.5)$$

$$I_1 = \frac{11300 \cdot 4\%}{100} \text{ грн.}$$

$$I_2 = \frac{1570 \cdot 4\%}{100} \text{ грн.}$$

Підставивши чисельні значення у формули, отримаємо

$$M = i \cdot C_1$$

$$M = i \cdot C_2$$

$$M = i \cdot C$$

$$\Phi = Z \cdot P_1$$

										Арк.
										59
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ					

ф з п2

Відрахування до позабюджетних фондів виробничого персоналу розраховуються за формулою:

$$\text{ф.ф з п.С}_H \quad (6.6)$$

де с_H – відрахування до єдиного соціального фонду від фонду заробітної плати,
 $\text{с}_H = 22\%$.

Відрахування до позабюджетних фондів, відповідно до (6.6), виходять рівними:

$$\text{ф1} ;$$

$$\text{ф2}$$

$$\text{ф}$$

Визначення потреби в матеріалах та запасних частинах ресурсів є найважливішим етапом планування та організації постачання. Від того, наскільки правильно її буде визначено, залежить рівень забезпечення матеріалами та запасними частинами. При визначенні матеріальної потреби повинен бути врахований весь обсяг робіт з ремонту даного виду продукції.

Насправді розробки планів постачання застосовують різні методи визначення потреби у матеріалах. Вибір методу обслуговування видом та призначенням матеріалів, обсягом і характером їх споживання, етапом планування, наявністю необхідних даних для розрахунку новим, найбільш загальним методом визначення матеріальної потреби є розрахунок за нормами витрати – метод безпосереднього розрахунку. Сутність його полягає в тому, що потреба в матеріалах розраховують як добуток обсягів робіт, виражених у певних вимірниках, на норму витрати матеріалів на цей вимірник. Оскільки той самий матеріал може знадобитися до виконання кількох видів робіт, то загальна потреба у цьому матеріалі складається з

									0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						60

потреби його за кожен вид робіт.

Розрізняють потреба до витрат та потреба до заготівлі, матеріальною потребою до витрати називається потреба у матеріальних ресурсах на задану виробничу програму, тобто кількість матеріалів, які буде витрачено при виконанні передбаченого планом обсягу робіт.

Витрата матеріалів та запасних частин на поточний ремонт на рік визначається за формулою:

$$M_{a T P E M M}, \quad (6.7)$$

де M – норма витрат матеріалів та запасних частин на одиницю ремонту, грн.

Норма витрат матеріалів та запасних частин на одиницю ремонту розраховується за формулою:

$$M_{Z a G}, \quad (6.8)$$

де $Z a G$ – загальномережева вартість запасних частин і матеріалів на одиницю ремонту підвіски ТЕД на один електровоз в обсязі ПР-3 за даними АТ «Укрзалізниця» дорівнює 3тис. грн., витратні матеріали на ділянці діагностики дорівнюють 16 грн. [10];

– кількість підвісок ТЕД на електровозі 2ЕЛ5; $n = 8$ [3].

$$M1 = \frac{3000 \cdot 16 \cdot 8}{1000}$$

$$M2 = \frac{16 \cdot 8}{1000}$$

$$M = \frac{3000 \cdot 16 \cdot 8 + 16 \cdot 8}{1000}$$

$$M_{a T}$$

Витрати на амортизацію пневматичного інструменту розраховується за такою формулою:

									0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						61

$$a_{\text{об}} \cdot b \quad (6.9)$$

де b – термін використання обладнання. Приймаємо рівним 10 років;
 $a_{\text{об}}$ – вартість обладнання, що дорівнює 12560 грн.

Тоді

$$a_{\text{об}}$$

Витрати на електричну енергію визначаються за формулою:

$$e_{\text{ер.кВт.год}} \quad (6.10)$$

де r – кількість замінених підвісок ТЕД, дорівнює 1;
 $e_{\text{ер.кВт.год}}$ – витрата електроенергії на зміну однієї підвіски, кВт·год/од.;
 $k_{\text{Вт.год}}$ – середньомережева вартість 1 кВт·год електричної енергії,
 $k_{\text{Вт.год}}$

Визначається витрата електроенергії на зміну однієї підвіски з урахуванням того, що робота повітряного компресора для роботи пневмоінструменту становить 30 хвилин. Отже, витрата електроенергії визначається за формулою:

$$P_{\text{компр.}} \cdot t_{\text{роб.компр.}} \quad (6.11)$$

де $P_{\text{компр.}}$ – потужність установки;
 $t_{\text{роб.компр.}}$ – час роботи компресора.

Підставивши чисельні значення формули (6.10) і (6.11) отримаємо:

$$e_{\text{ер.кВт.год}}$$

Загальні витрати на ремонт підвіски ТЕД

										0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							62

з а г ...110240 + 01002 + 03000 + 30700 + 120000 + 21000 + 411000 + р. н.

Таким чином, собівартість ремонту однієї підвіски ТЕД складає

р е м ...111000 + ...200124 + р. н.

					<i>0032.180152.000.04КР.ПЗ</i>	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

ВИСНОВОК

Підвіска тягового двигуна є важливим вузлом механічної частини електровозів, так як брак, допущений при ремонті цього вузла, може спричинити не тільки пошкодження локомотива і верхньої будови колії, а й сход рухомого складу. У кваліфікаційній роботі було досліджено вузол кріплення тягового електродвигуна до рами візка електровоза 2ЕЛ5, вивчено можливість модернізації та вдосконалення елементів підвіски. Для цього, перш за все, було виконано:

– аналіз несправностей, що виникають у процесі експлуатації, який показав, що за останні чотири роки найчастіше трапляються випадки бракувального зазору між втулкою та валиком. Це пов'язано із складністю виявлення даного дефекту, який можна визначити під час ремонту ПР-3, тобто у електровозів із пробігом близько 500 тис км;

– розглянуто сили та навантаження, що діють на вузол кріплення тягового електродвигуна в експлуатації; розрахована реакція на підвісці від дії тягового моменту та величина попереднього стиснення шайб, ці дані були задані як навантаження, при розрахунку моделі в пакеті SolidWorks Simulation;

– вивчено конструкцію деталей, їх розміри, матеріали з яких вони виготовлені, та їх властивості;

– на підставі отриманих даних, в результаті аналізу конструкції та матеріалів, було побудовано 3D-моделі деталей вузла кріплення ТЕД до рами візка електровоза, з яких створено складальну модель;

– здійснено статичний аналіз на міцність, який показав найбільш напружені місця, а також деталі з критичним запасом міцності.

Отримані в результаті аналізу дані дозволили виконати модернізацію кронштейну та дисків вузла кріплення ТЕД до рами візка електровоза. Пропонується виготовляти кронштейн у вигляді таврової зварної конструкції з двома ребрами жорсткості, а у якості матеріалу для виготовлення кронштейна і дисків – сталь 4. В результаті модернізації конструкція кронштейна була спрощена, його міцність збільшилася майже у два рази, а маса зменшилася на 1%, повторно

										Арк.
										64
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180152.000.04КР.ПЗ					

виконаний статичний аналіз, що підтверджує працездатність деталі.

Також у кваліфікаційній роботі розраховано собівартість ремонту однієї підвіски тягового двигуна в обсязі ПР-3 для локомотиворемонтного депо. За результатами розрахунку зроблено висновок, що шляхом збільшення частки незалежних від програми ремонту підвіски тягового двигуна витрат у загальному обсязі витрат можна домогтися зменшення собівартості ремонту. Цього можна досягти оптимізацією складу робітників, модернізацією обладнання та пристосувань для ремонту, оснащенням позицій ремонту автоматичним та напівавтоматичним обладнанням, покращенням умов праці як на робочих місцях, так і в цілому в цеху.

					<i>0032.180152.000.04КР.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65

ресурс] / Режим доступу: <https://www.vpmi.org.ua/polozhennya-pro-oplatu-praci/>

					0032.180152.000.04КР.ПЗ	Арк.
змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67