

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів**

(назва кафедри)

Калінін Є.І.

(підпис)

(ПІБ)

« _____ » _____ 2024 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

**на тему «Розробка методу визначення ресурсу несучих елементів ходової
частини вантажного автомобіля на базі технологій віртуального
експерименту»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Сівак І.М.

(ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

Д.Т.Н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Павленко М.Ю.

(ПІБ)

Виконав

Ісаєнко Олександр Дмитрович

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

тракторів і автомобілів та

д.т.н., проф. _____ **Калінін Є.І.**
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
« _____ » _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту

Ісаєнку Олександр Дмитровичу

Спеціальність _____
(прізвище, ім'я, по батькові) 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Розробка методу визначення ресурсу несучих елементів ходової частини вантажного автомобіля на базі технологій віртуального експерименту»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «26» листопада 2024р. №2098 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру: _____ 01.05.2025
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра: характеристики та конструктивні особливості рами вантажного автомобіля КамАЗ 5511, принципи функціонування та конструктивні особливості пристроїв для відновлення геометрії рам

Перелік питань які потрібно розробити _____

Вступ

1 Особливості ремонту та обслуговування рам вантажних автомобілів

2 Розрахунок рами автомобіля аналітичними та комп'ютерними методами

3 Запропоноване технічне рішення з відновлення рами вантажного автомобіля КамАЗ 5511 зі збільшеними бортами

4 Охорона праці при виконанні робіт з відновлення геометрії рами вантажного автомобіля

5 Економічна доцільність використання запропонованого пристрою

Висновки **Перелік графічного матеріалу:** Вступ. Стан питання та аналіз існуючих досліджень. Теоретичні дослідження. Запропоноване технічне рішення. Висновки

Дата видачі завдання «10» січня 2025 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____
(підпис)

Ісаєнко О.Д.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Павленко М.Ю.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Основна частина дипломного проекту викладена на 51 сторінках пояснювальної записки і 10 слайдів презентації, ілюстрована 8 рисунками.

Пояснювальна записка складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури.

Тема дипломного проекту: «Розробка методу визначення ресурсу несучих елементів ходової частини вантажного автомобіля на базі технологій віртуального експерименту».

У представленій роботі детально проаналізовано конструкційні особливості та технічні характеристики рам вантажних автомобілів КамАЗ 5511. Описано склад рами, окреслено функції, наведено типові причини виходу з ладу та методи ліквідації виявлених дефектів і несправностей.

Виходячи з можливостей наявної матеріально-технічної бази, запропоновано розширити спектр робіт виробничої дільниці шляхом включення послуги відновлення геометрії рами автомобіля. Це стане можливим завдяки впровадженню спеціалізованого пристрою, розробленого для таких цілей.

Комплекс підготовлених організаційно-технічних рішень з охорони праці забезпечує створення безпечних умов для персоналу.

Здійснений техніко-економічний аналіз запропонованого проекту надав можливість визначити витрати на виготовлення і застосування нового пристрою.

Ключові слова: вантажний автомобіль КамАЗ 5511, рама, деформація, ресурс.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ РЕМОНТУ ТА ОСБЛУГОВУВАННЯ РАМ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ	7
1.1 Класифікація автомобільних рам	7
1.2 Ремонт рами автомобіля	11
1.3 Заклепкові з'єднання.....	13
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК РАМИ АВТОМОБІЛЯ АНАЛІТИЧНИМИ ТА КОМП'ЮТЕРНИМИ МЕТОДАМИ	16
2.1 Розрахунок рами на вигин.....	18
2.2 Віртуальні дослідження навантаженості рами автомобіля КамАЗ 5511 з метою підтвердження розрахункових даних.....	24
РОЗДІЛ 3 ЗАПРОПОНОВАНЕ ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ З ВІДНОВЛЕННЯ РАМИ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ КАМАЗ 5511 ЗІ ЗБІЛЬШЕНИМИ БОРТАМИ	27
3.1 Технологія відновлення геометрії рам вантажних автомобілів	27
3.2 Особливості технологічного процесу відновлення геометрії рами.....	29
3.3 Запропонований пристрій для відновлення геометрії рами вантажного автомобіля КамАЗ 5511	30
3.4 Розрахунок основи запропонованого пристрою на вигин	31
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ З ВІДНОВЛЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ РАМИ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ	33
4.1 Загальні вимоги охорони праці	33
4.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи	34
4.3 Вимоги охорони праці під час роботи	35
4.4 Вимоги охорони праці при аварійних ситуаціях	37
4.5 Забезпечення пожежної безпеки у виробничих умовах.....	38
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО ПРИСТРОЮ	41
5.1 Організація технологічного процесу.....	41

5.2 Обчислення необхідного обсягу інвестицій.....	41
5.3 Розрахунок фонду оплати праці	42
5.4 Розрахунок виробничих витрат	43
5.4.1 Витрати на електроенергію для роботи обладнання	43
5.4.2 Витрати на електроосвітлення	43
5.4.3 Витрати на технічне обслуговування устаткування	44
5.4.4 Витрати на водопостачання	44
5.4.5 Витрати на опалення	44
5.4.6 Інші експлуатаційні витрати	45
5.4.7 Річні витрати.....	45
5.5 Основні економічні показники функціонування підприємства	46
5.6 Оцінка економічної ефективності проекту.....	46
ВИСНОВКИ4.....	8
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49
ДОДАТКИ.....	50

ВСТУП

Вивчення питання комп'ютерного моделювання навантаженості та деформації рам вантажних автомобілів є надзвичайно доцільним і важливим як з науково-технічної, так і з практичної точки зору.

Рами вантажних автомобілів виконують роль основної несучої конструкції, яка піддається значним механічним впливам під час руху, навантаження та розвантаження.

Використання комп'ютерного моделювання дає змогу точно визначати зони підвищених напружень і деформацій, що дозволяє запобігти аваріям і руйнуванням конструкції, тим самим підвищуючи безпеку експлуатації. Крім того, цей підхід сприяє оптимізації конструкції, даючи можливість аналізувати різні варіанти форм і матеріалів без необхідності виготовлення дорогих прототипів, що веде до зменшення маси рами, підвищення її жорсткості і міцності, а також покращення паливної економічності і вантажопідйомності автомобіля.

Комп'ютерне моделювання значно скорочує витрати часу та ресурсів на розробку і тестування, адже дозволяє проводити віртуальні дослідження багатьох варіантів конструкції без проведення численних експериментальних випробувань. Воно також дає змогу прогнозувати довговічність рами, оцінювати вплив циклічних навантажень на виникнення деформацій і дефектів, що є важливим для планування технічного обслуговування та забезпечення тривалого ресурсу служби вантажних автомобілів. Врахування різноманітних умов експлуатації – нерівностей доріг, кліматичних особливостей, типу вантажу – також є можливим завдяки комп'ютерному моделюванню, що дозволяє адаптувати конструкцію рами під конкретні умови роботи.

РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ РЕМОНТУ ТА ОСБЛУГОВУВАННЯ РАМ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

1.1 Класифікація автомобільних рам

Рама автомобіля є основною несучою конструкцією, що виконує роль своєрідного «каркасу», на який кріпляться кузов, двигун, вузли трансмісії та підвіска. Така конструкція зазвичай називається шасі.

У багатьох випадках рамне шасі здатне рухатися окремо від кузова по дорозі. Історія застосування рамних шасі сягає початку розвитку автомобілебудування, коли ідею окремої рами було запозичено у залізничного транспорту. Перші рами виготовляли переважно з твердих порід дерева, а також з круглих металевих труб [1].

На початку ХХ століття значної популярності набули рами зі штампованих профілів із прямокутним перерізом.

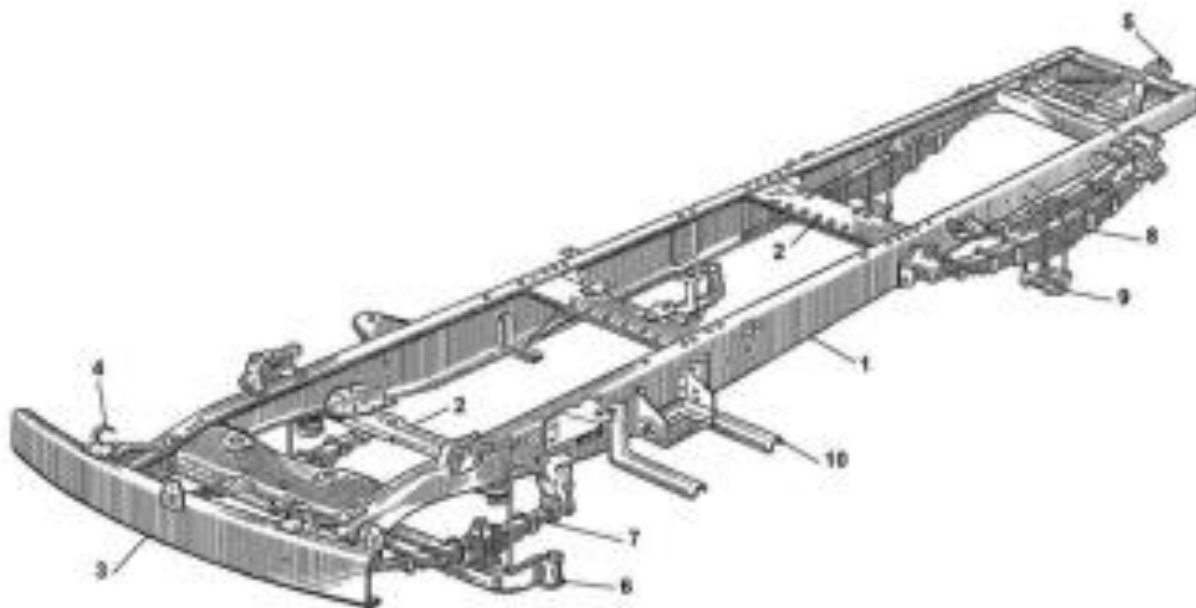
До 1930-х років багато виробників автомобілів поступово відмовились від рамних конструкцій на користь самонесучих кузовів. Сьогодні рамні шасі здебільшого використовуються у вантажних автомобілях і тракторах, але їх часто встановлюють і на позашляховиках та лімузинах. Останні потребують рами через значну довжину автомобіля, що робить самонесучий кузов надто важким.

Для будь-якої автомобільної рами характерна особливість у конструкції – чітке розмежування між несучими деталями кузова та декоративними панелями, які мають переважно естетичне значення.

Декоративні панелі можуть бути підсилені каркасом, який, наприклад, розташовується у зоні дверних прорізів, але при цьому не бере участі у сприйнятті силових навантажень, що виникають під час руху автомобіля [2].

Автомобільні рами (рис. 1.1) зазвичай класифікують залежно від типу несучої структури. До найпоширеніших належать лонжеронні, хребтові,

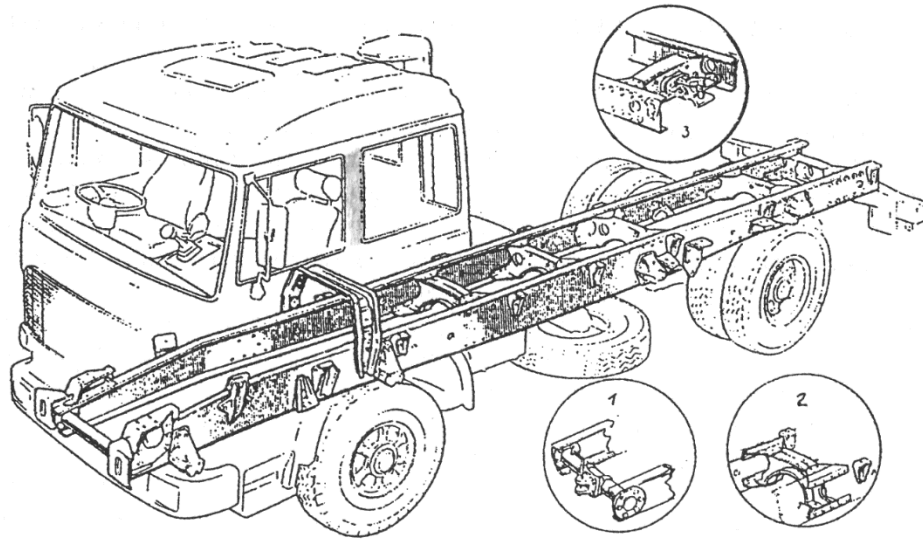
периферійні, вильчато-хребтові, решітчасті рами, а також несучі конструкції, інтегровані безпосередньо у кузов транспортного засобу.



1 – лонжерон; 2 – траверса; 3 – буфер; 4 – буксирувальний гак; 5 – буксирний пристрій; 6 – балка передньої вісі; 7 – ресори передні; 8 – ресори задні; 9 – стрем'янка ресори; 10 – кронштейн кріплення паливного баку

Рисунок 1.1 – Рама автомобіля

На прикладі вантажівки, зображеної на рис. 1.2, рама складається з двох поздовжніх штампованих балок швелерного профілю – лонжеронів, з'єднаних між собою кількома поперечинами. Така конструкція отримала назву лонжеронної рами, яку іноді також іменують сходишковою.



1 – передня поперечина; 2 – середня поперечина; 3 – задня поперечина з буксирним пристроєм

Рисунок 1.2 – Рама вантажного автомобіля

Поперечини, як правило, теж штамповані, виконують не лише функцію зв'язку між лонжеронами та надання загальній конструкції необхідної жорсткості, але й служать точками кріплення різних вузлів автомобіля.

Для виготовлення елементів рами зазвичай використовують низьковуглецеву сталь. З'єднання лонжеронів із поперечинами переважно здійснюється заклепками. У певних місцях до рами, також за допомогою заклепок або болтів, кріпляться кронштейни та інші деталі для монтажу агрегатів [3].

Сварка при виробництві рам застосовується рідко, оскільки лонжеронні рами вантажних машин мають відносну гнучкість на вигин та особливо на кручення, а зварні шви під такими навантаженнями схильні до появи тріщин.

Здатність рами деформуватися під впливом крутильних навантажень дозволяє знизити надмірні напруження у зонах з'єднань.

Кабіна вантажівки закріплюється на рамі в трьох або чотирьох точках за допомогою пружних кріплень, що забезпечує відсутність передавання деформацій рами на кабіну при русі автомобіля по нерівностях дороги [4].

В окремих випадках на вантажівках застосовують так звану хребтову раму – сталеву трубу великого діаметра, що проходить уздовж автомобіля вздовж його осі. У передній частині ця труба роздвоюється, утворюючи два поздовжні лонжерони, на які встановлюють двигун із коробкою передач.

Всередині труби розташована карданна передача. Ведучі мости такого автомобіля мають підресорені редуктори, від яких крутний момент передається на колеса за допомогою качаючихся півосей [5].

Існують також випадки, коли раму вантажного автомобіля з короткою базою – сідельного тягача – виготовляли з листового алюмінієвого сплаву. Вона відрізнялася високими лонжеронами та великою кількістю поперечин, які з'єднувалися з лонжеронами заклепками.

До несучої системи вантажного автомобіля, якою зазвичай є рама, висувають особливі вимоги.

Якщо вигинальна жорсткість рами – її здатність протистояти вертикальним і горизонтальним згинаючим навантаженням – має бути достатньо великою, то крутильна жорсткість, тобто опір скручуванню, наприклад під час руху по нерівній дорозі, навпаки, не повинна бути надмірною [6].

Хоча конструктивно можливо підвищити крутильну жорсткість, це призводить до значного збільшення ваги рами, оскільки у жорстких зонах виникають високі механічні напруження, що можуть спричинити поломки. Відносно гнучка на кручення рама здатна деформуватися без значних напружень у своїх вузлах.

На рамі кріпляться агрегати і вузли, деякі з яких могли б зазнати небажаних навантажень через деформації рами. Щоб уникнути цього, агрегати встановлюють на пружних кріпленнях у трьох точках, що запобігає їх перекосам у разі деформації рами [7].

Таким чином, на рамі вантажівки фіксують кабінку, двигун з коробкою передач та інші елементи.

Як уже зазначалося, довговічність несучої системи має відповідати ресурсу експлуатації автомобіля.

Для виготовлення деталей несучої системи зазвичай використовують низьковуглецеву сталь, яка добре піддається штампуванню та зварюванню, але є схильною до корозії. Кузов легкового автомобіля, наприклад, найчастіше виходить з ладу саме через корозійне руйнування. Для підвищення довговічності несучої системи застосовують різні захисні покриття, що оберігають метал від впливу вологи та солей [8].

Іноді для виготовлення основи кузовів легкових автомобілів використовують оцинкований метал або проводять цинкування готових кузовів. Таким чином, одна з важливих вимог до несучої системи – її достатня стійкість до впливу зовнішнього середовища.

1.2 Ремонт рами автомобіля

Найпоширенішими дефектами рами є наступні пошкодження: викривлення балок, деформація передніх зубців (ключів), тріщини в балках та ослаблення заклепкових з'єднань.

Викривлення поздовжніх балок рами у горизонтальній або вертикальній площинах призводить до зміщення осей окремих агрегатів, що негативно впливає на їх нормальну роботу. Зазвичай наявність викривлень визначають візуально за допомогою метрової лінійки. Для виправлення таких місць застосовують спеціальні пристосування, що працюють у холодному стані.

Після виправлення викривлені ділянки перевіряють шляхом прикладання метрової лінійки до балки рами, аби переконатися у відновленні геометрії.

Деформація передніх зубців рами викликає зміщення передніх ресор, що призводить до посиленого зносу шин та ускладнює керування автомобілем – він може «тягнути вбік» [8].

Для діагностики викривлення зубців в отвори кронштейнів правої та лівої ресор вставляють металевий прямиий стрижень. Діаметр цього стрижня повинен

відповідати діаметру отворів кронштейнів. Якщо стрижень проходить в отвори вільно, значить зубці не викривлені.

Якщо ж проходження утруднене, зубці потребують виправлення. Для цього викривлену ділянку обкладають деревним вугіллям, яке розігрівають паяльною лампою. Після нагрівання зубці вирівнюють за допомогою домкрата і ланцюга або спеціального преса для виправлення [5].

Тріщини на балках рами виявляють шляхом візуального огляду. Невеликі тріщини усувають шляхом електродугового або газового зварювання.

Проте зварювання рам, які мають поперечні тріщини, що проходять через весь профіль, або поздовжні тріщини довжиною понад 450 мм без використання посилювальних накладок чи коробок, не допускається.

У випадку великих пошкоджень раму ремонтують такими методами: спочатку виготовляють спеціальну коробку, розмір якої відповідає внутрішнім габаритам балки, і щільно вставляють її в розігріту раму, після чого зварюють пошкоджену ділянку та приварюють коробку до рами [10].

Інший спосіб передбачає виготовлення коробки з отворами для заклепок; коробку щільно вставляють у балку рами і, використовуючи її як шаблон, свердлять отвори в рамі. Потім коробку приклепують сталевими заклепками, які попередньо нагрівають до температури 1000...1100°. Під час ремонту важливо забезпечити максимально щільне прилягання коробок, інакше балка втратить міцність. Іноді замість коробок застосовують накладки товщиною 8...10 мм, які приварюють по периметру балки.

Ослаблення заклепкових з'єднань визначають простукуванням молотком – при розхитаних заклепках чути характерний дзвінкий звук. Головки таких заклепок зрізають кузнечим зубилом, а стержні вибивають бородком [10].

Якщо отвори під заклепки зношені або деформовані, їх розширюють під більший розмір заклепок. Нагріту до 1000...1100° заклепку забивають у підготовлений отвір легкими ударами, під її головку встановлюють упор, а кінчик заклепки через обжимку розклепують частими й сильними ударами.

Після охолодження якість клепаання перевіряють ударами молотка – звук біля заклепок має бути чистим, без дзвінких відлунь. Якщо звук порушений, клепку повторюють [1].

1.3 Заклепкові з'єднання

Заклепкові з'єднання належать до типу нероз'ємних з'єднань, які не дають змоги розбирати вузли без пошкодження або руйнування деталей. Такі з'єднання застосовують у конструкціях, що піддаються значним вібраційним і ударним навантаженням, а також там, де використовують матеріали, які не піддаються зварюванню, або у випадках, коли деталі вже остаточно оброблені і застосування зварювання неможливе – рис. 1.3.

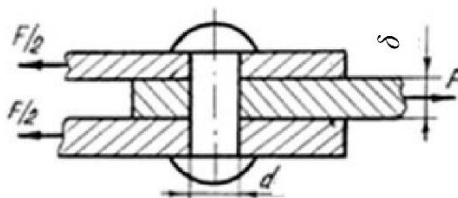


Рисунок 1.3 – Заклепкове з'єднання

Заклепка – це циліндричний металевий стрижень із головкою певної форми. Головка, яка формується заздалегідь разом зі стрижнем, називається закладною, а та, що утворюється під час клепки з виступаючої частини стрижня над поверхнею з'єднаних деталей, – замикальною.

Для виготовлення заклепок використовують різноманітні матеріали: сталь (Ст2, Ст3, 09Г2, Сталь 10), латунь (Л63), мідь (М3, МТ), алюмінієві сплави (АМг5П, Д18, АД1) та інші. Матеріал заклепок повинен мати високу пластичність, що забезпечує формування головок, а також бути сумісним із матеріалом деталей, щоб уникнути електрохімічної корозії.

Зазвичай заклепками з'єднують листові конструкції, виконуючи процес вручну або з допомогою пневматичних молотків і пресів. Клепка може бути гарячою або холодною. При гарячому способі розігріту до яскраво-червоного кольору заклепку вставляють у отвір, а потім формують замикальну головку.

Після охолодження заклепка стискає з'єднані елементи, що значно підвищує їхню стійкість до зсувних навантажень завдяки збільшенню сил тертя. Холодна клепка, яку зазвичай виконують на заводах, полягає у пластичній деформації металу заклепки клепальною скобою для формування замикальної головки. При цьому сила стягування виходить меншою, але процес значно простіший [1].

Отвори для заклепок у деталях створюють свердлінням або продавлюванням. Заклепки забезпечують надійне та компактне з'єднання двох і більше деталей, виготовлених із різних матеріалів. Найпоширенішими є суцільні стрижневі заклепки. Розмір отвору під заклепку зазвичай на 0,1 мм більший за діаметр стрижня, який під час клепки деформується, щільно заповнюючи отвір.

Для створення нероз'ємних з'єднань із застосуванням заклепок використовують велику кількість заклепок, розташованих в один або декілька рядів. Таке з'єднання отримало назву заклепочного шва.

За функціональним призначенням заклепочні шви поділяють на кілька типів [5]:

- міцні – використовуються в металоконструкціях мостів, суден і літаків;
- міцнощільні – застосовуються в котлах та резервуарах, які працюють під високим тиском рідин або газів;

щільні – призначені для резервуарів із низьким тиском.

Для підвищення надійності щільного шва іноді застосовують чеканку – пластичну деформацію кромek листів за допомогою пневматичного молотка з інструментом, який називається «чекан». У деяких випадках для покращення герметичності виконують додаткове підварювання кромek з'єднаних листів.

За конструктивним виконанням розрізняють такі типи заклепочних швів: внахлестку; встик з однією накладкою; встик з двома накладками.

З'єднання внахлестку і з однією накладкою відносять до однозрізних, а з двома накладками – до двохзрізних.

При розрахунках заклепочних швів, навантажених зсувною силою, приймають рівномірний розподіл навантаження між усіма заклепками, а силу

тертя в стиках деталей не враховують. Обчислення виконують за параметрами зрізу та продавлювання заклепок. Важливо брати до уваги нормативні рекомендації, які встановлюють основні розміри залежно від товщини листів, тому розрахунок здебільшого носить перевірочний характер.

Незалежно від використовуваних інструментів, деталі, які склепують, розташовують так, щоб закладні головки заклепок перебували зверху — це полегшує попереднє встановлення заклепок [8].

Необхідну кількість, діаметр та довжину заклепок визначають шляхом розрахунку.

РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК РАМИ АВТОМОБІЛЯ АНАЛІТИЧНИМИ ТА КОМП'ЮТЕРНИМИ МЕТОДАМИ

Рама автомобіля зазнає впливу як статичних, так і динамічних навантажень. Статичні навантаження виникають під впливом ваги самої рами, кузова, вантажу, а також реакцій опор еластичної підвіски.

Динамічні навантаження з'являються під час руху автомобіля через інерційні сили підресорених мас, що виникають у процесі коливань кузова.

Проведемо розрахунок рами автомобіля КАМАЗ-5511, який і наразі доволі часто використовується для зерновозів при збиранні зерна методом комбайнування – рис. 2.1. Розрахунок здійснюють за двома основними параметрами:

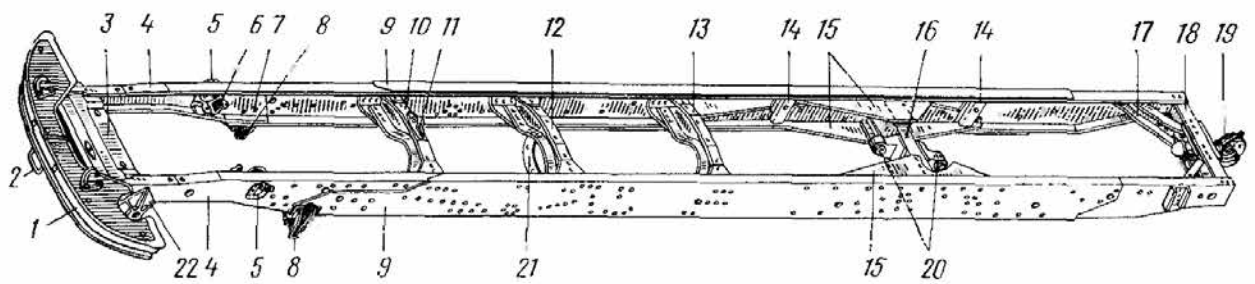
- на згин, що викликається вертикальними навантаженнями (статичними та динамічними) [1];

- на кручення, яке з'являється при подоланні автомобілем нерівностей дорожнього покриття, таких як кювети, канави тощо [5].

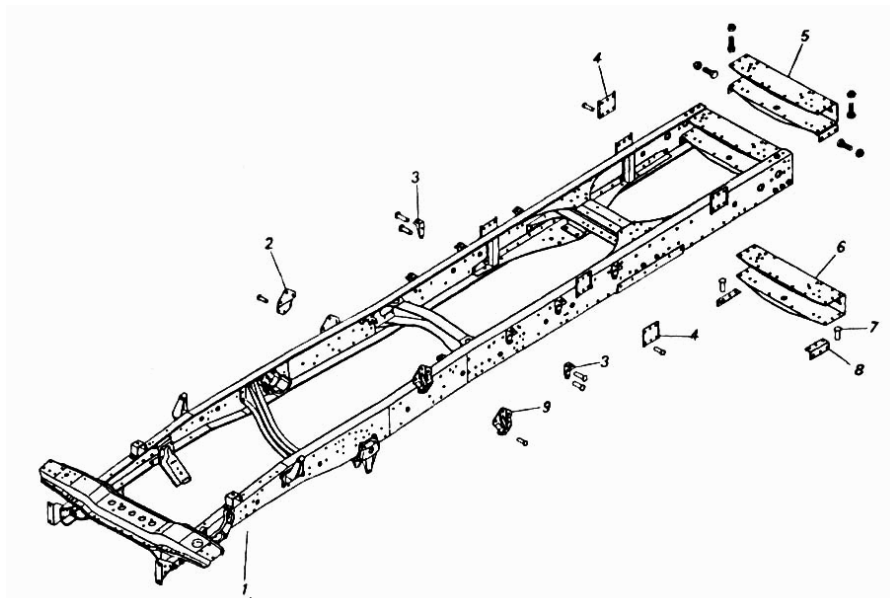
Слід зауважити, що розрахунок рами носить наближений характер.

При цьому в ньому не враховують вплив поздовжніх навантажень, що утворюються від агрегатів і механізмів, встановлених на рамі, особливо при нерівномірному русі транспортного засобу, наприклад під час гальмування чи розгону.

Також ігноруються різноманітні реактивні моменти, зокрема гальмівні, а також моменти, що виникають від картерів механізмів трансмісії та рульового управління, які передаються на раму.



1 – передній буфер; 2 – підніжка; 3 – поперечина №1; 4 – лонжерон; 5 – кронштейн амортизатора; 6 – кронштейн задньої опори двигуна; 7 – підсилювальна накладка лонжерона; 8 – задній кронштейн передньої ресори; 9 – підсилювач лонжерона; 10 – поперечина №2; 11 – кронштейн задньої підвіски кабіни; 12 – поперечина кріплення проміжної опори; 13 – поперечина №3; 14 – підсилювальна вставка; 15 – косинка поперечини №4; 16 – поперечина №4; 17 – розкос; 18 – поперечина №5; 19 – буксирний пристрій; 20 – кронштейн реактивної тяги; 21 – кронштейн проміжної опори; 22 – передній кронштейн передньої ресори



1 – рама в зборі; 2 – кронштейн передній правий в зборі; 3 – кронштейн зтяжки надрамника нижній; 4 – кронштейн надрамника боковий; 5 – поперечина задня; 6 – поперечина рами задня; 7 – заклепка 16×40; 8 – куток задньої поперечини; 9 – кронштейн передній лівий в зборі

Рисунок 2.1 – Рама автомобіля КамАЗ-5511

2.1 Розрахунок рами на вигин

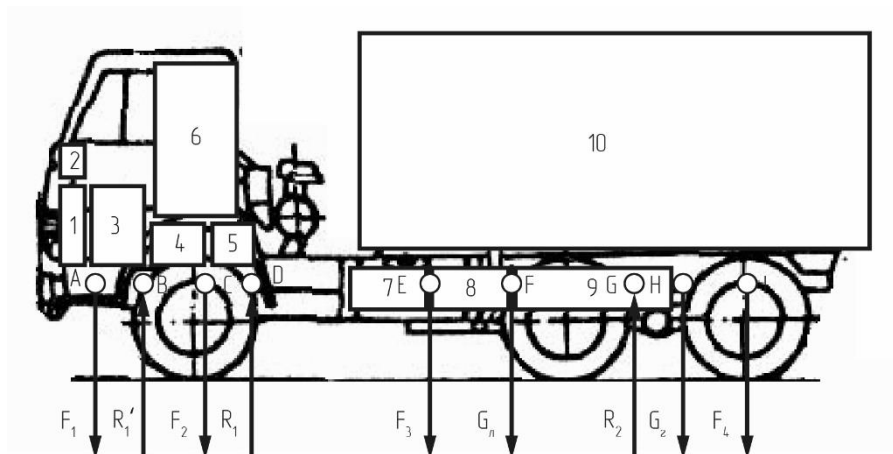
Розрахунок рами на вигин переважно зводиться до визначення напружень у лонжеронах. Кожен лонжерон проектується так, щоб він сприймав на себе половину загального навантаження, що діє на раму. При цьому зміцнювальний вплив поперечок рами у розрахунок не включається.

Для проведення розрахунків використовують статичні маси агрегатів і механізмів, змонтованих на рамі. Щоб врахувати динамічні навантаження, у формули додають коефіцієнт динамічності, який для вантажних автомобілів приймається в межах 2...2,5.

Таблиця 1 – Вихідні дані для проведення розрахунку

Повна маса автомобіля, $m_{\text{а.повн}}$, кг	17835
– на передню вісь $m_{\text{а.повн1}}$	4460
– на візок: $m_{\text{а.повн2}}$	13375
Непідресорена маса, кг	
– на передню вісь $m_{\text{н1}}$.	550
– на візок: $m_{\text{н2}}$.	2060
Вантажопідйомність, $m_{\text{г}}$, кг	10000
Маса платформи з нарощеними бортами, $m_{\text{плат}}$, кг	1046
Маса кабіни з водієм и пасажирами та їх вантажем, $m_{\text{каб}}$, кг	674
Маса рами, $m_{\text{рам}}$, кг	838
Маса оперення, $m_{\text{оп}}$, кг	159
Маси агрегатів, кг:	
– двигун зі зчепленням $m_{\text{двз.зч}}$	770
– коробка передач $m_{\text{кпп}}$.	320
Маса радіатора з охолоджувальною рідиною, $m_{\text{рад}}$, кг	42
Маса паливного баку з паливом $m_{\text{п.б}}$, кг	166
Маса запасного колеса $m_{\text{зап.к}}$, кг	95
Маса АКБ $m_{\text{акб}}$, кг	7,1
Маса основного карданного валу з проміжною опорою $m_{\text{кард.в.}}$, кг	35

Розподіл мас наведено на рис. 2.2



1 – радіатор; 2 – передня частина кузова; 3 – силовий агрегат зі зчепленням; 4 – коробка передач; 5 – акумуляторні батареї; 6 – кабіна водія; 7 – паливний бак; 8 – запасне колесо; 9 – головний карданний вал; 10 – платформа з підвищеними бортами

Рисунок 2.2 – Схематичне зображення розподілу навантажень на лонжерон автомобільної рами КамАЗ 5511

Визначаємо масу основних компонентів автомобіля, що впливають на лонжерон рами:

– об’єднуємо дію ваги радіатора з масою двигуна зі зчепленням і навантаженням від передньої частини кузова:

$$F_1 = \frac{(m_{\text{рад}} + m_{\text{двз.зч}} + m_{\text{оп}}) \cdot 9,81}{2} = \frac{(42 + 770 + 159) \cdot 9,81}{2} = 4763 \text{ Н}; \quad (2.1)$$

– об’єднуємо вплив маси коробки передач із навантаженням від кабіни та двох акумуляторних батарей

$$F_2 = \frac{(m_{\text{кпп}} + m_{\text{каб}} + 2 \cdot m_{\text{акб}}) \cdot 9,81}{2} = \frac{(320 + 674 + 2 \cdot 7,1) \cdot 9,81}{2} = 4945 \text{ Н}; \quad (2.2)$$

– враховуємо сумарну дію ваги паливного бака, запасного колеса та головного карданного валу:

$$F_3 = \frac{(m_{\text{п.б}} + m_{\text{зап.к}} + m_{\text{кард.в}}) \cdot 9,81}{2} = \frac{(166 + 95 + 35) \cdot 9,81}{2} = 1452 \text{ Н}; \quad (2.3)$$

– навантаження від платформи з підвищеними бортами

$$F_4 = \frac{m_{\text{плат}} \cdot 9,81}{2} = \frac{1046 \cdot 9,81}{2} = 5131 \text{ Н.} \quad (2.4)$$

Маса самого лонжерона визначиться наступним чином:

$$G_l = \frac{m_{\text{рам}} \cdot 9,81}{2} = \frac{838 \cdot 9,81}{2} = 4110 \text{ Н.} \quad (2.5)$$

Маса вантажу при повному завантаженні

$$G_2 = \frac{m_r \cdot 9,81}{2} = \frac{10000 \cdot 9,81}{2} = 49050 \text{ Н.} \quad (2.6)$$

Обчислюємо реакції в лонжероні:

– вплив від передньої осі

$$R'_1 = R_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{(m_{\text{а.повн1}} - m_{\text{н1}}) \cdot 9,81}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(4460 - 550) \cdot 9,81}{2} = 9589 \text{ Н;} \quad (2.7)$$

– навантаження від візка

$$R_2 = \frac{(m_{\text{а.повн2}} - m_{\text{н2}}) \cdot 9,81}{2} = \frac{(13375 - 2060) \cdot 9,81}{2} = 55500 \text{ Н.} \quad (2.8)$$

Сумарна сила, що прикладена до лонжерона, повинна дорівнювати нулю.

Тому складаємо рівняння рівноваги:

$$\sum F_y = 0; \quad (2.9)$$

$$R'_1 - F_1 + R_1 - F_2 - F_3 - G_l - G_r - F_4 + R_2 = 0; \quad (2.10)$$

$$9589 - 4763 + 9589 - 4945 - 1452 - 4110 - 49050 - 5131 + 55500 = 0; \quad (2.11)$$

$$74678 - 69451 \neq 0. \quad (2.12)$$

Різниця між знайденими реакціями та діючими силами на лонжерон склала 5227 Н, що відповідає масі 533 кг. Цю масу рівномірно розподіляємо по довжині лонжерона. Навантаження від лонжерона вважаємо рівномірно розподіленим:

$$q_l = \frac{G_l + 533 \cdot g}{l_l}, \quad (2.13)$$

де l_l – довжина лонжерона, $l_l = 8,736$ м.

Підставляючи значення, отримаємо

$$q_l = \frac{4110 + 533 \cdot 9,81}{8,736} = 1069 \text{ Н/м.} \quad (2.14)$$

Навантаження від вантажу (при номінальній вантажопідйомності) також приймаємо рівномірно розподіленим:

$$q_z = \frac{G_r}{l_r}, \quad (2.15)$$

де l_z – довжина лонжерона під вантажем, $l_z = 6,1$ м.

Тоді, після підстановки значень, отримуємо:

$$q_z = \frac{49050}{6,1} = 8041 \text{ Н/м.} \quad (2.16)$$

Лонжерон розглядаємо як балку, що спирається на ресори. Через наявність трьох опор система є статично невизначеною. Щоб спростити розрахунок, замінюємо реакцію в точці силою, прикладеною до балки, тим самим система стає статично визначеною.

Унаслідок цього відбувається перерозподіл мас та зміна реакцій у точках, які обчислюються повторно.

$$\sum M_D = 0. \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} & -\frac{q_l(l_1 + l_2 + l_3)^2}{2} + R_1'(l_2 + l_3) - F_1 l_3 = \\ & = -\frac{q_l(l_l - l_1 - l_2 - l_3)^2}{2} - F_2 l_4 - q_r l_z (l_4 + l_5 + \frac{l_z}{2}) - \\ & -F_3(l_4 + l_5 + l_6) - F_4(l_4 + l_5 + l_6 + l_7) + R_2(l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Після спрощення виразів визначаємо:

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1069 \cdot 1,411^2}{2} + 9589 \cdot 1,244 - 4763 \cdot 0,780 = \\
 & = -\frac{1069 \cdot 7,325^2}{2} - 4945 \cdot 0,538 - 8041 \cdot 6,1 \cdot 4,275 - \\
 & \quad -1452 \cdot 2,004 - 5131 \cdot 4,25 + R_2 \cdot 4,95
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

Звідки:

$$R_2 = \frac{272894,51}{4,95} = 55130 \text{ Н} \tag{2.20}$$

Так само спрощуємо інший вираз для $\sum M_Y = 0$ і знаходимо:

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1069 \cdot 6,361^2}{2} + 9589 \cdot 6,194 - 4763 \cdot 5,73 + \\
 & + R_1 \cdot 4,95 - 4945 \cdot 4,412 - 8041 \cdot \frac{3,725^2}{2} - 1452 \cdot 2,946 - \\
 & -5131 \cdot 0,700 = -\frac{8041 \cdot 2,375^2}{2} - \frac{1069 \cdot 2,375^2}{2}
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

Звідки:

$$R_1 = \frac{49305,37}{4,95} = 9961 \text{ Н} \tag{2.22}$$

У підсумку різниця з попередньо отриманими реакціями склала 371 Н.

Виконуємо контрольний розрахунок.

$$\sum F_y = 0, \tag{2.23}$$

$$R_1' - F_1 + R_1 - F_2 - F_3 - q_n \cdot l_n - q_r \cdot l_r - F_4 + R_2 = 0, \tag{2.24}$$

$$9589 - 4763 + 9961 - 4945 - 1452 - 1069 \cdot 8,736 - 8041 \cdot 6,1 - 5131 + 55130 = 0, \tag{2.25}$$

$$74680 - 74680 = 0. \tag{2.26}$$

Реакції в опорах знайдено коректно.

Розрахунок моментів, що діють на лонжерон:

$$M_A = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}. \tag{2.27}$$

$$M_B = -\frac{q_n l_1^2}{2} = -\frac{1069 \cdot 0,167^2}{2} = -15 \text{H} \cdot \text{M} = -0,015 \text{кH} \cdot \text{M} \quad (2.28)$$

$$M_C = -\frac{q_n (l_1 + l_2)^2}{2} + R_1' l_2 = -\frac{1069 \cdot 0,631^2}{2} + 9589 \cdot 0,464 = 4236 \text{H} \cdot \text{M} = 4,24 \text{кH} \cdot \text{M}. \quad (2.29)$$

$$M_D = -\frac{q_n (l_1 + l_2 + l_3)^2}{2} + R_1' (l_2 + l_3) - F_1 l_3 =$$

$$= -\frac{1069 \cdot 1,411^2}{2} + 9589 \cdot 1,244 - 4763 \cdot 0,780 = 7149 \text{H} \cdot \text{M} = 7,15 \text{кH} \cdot \text{M} \quad (2.30)$$

$$M_E = -\frac{q_n (l_1 + l_2 + l_3 + l_4)^2}{2} + R_1' (l_2 + l_3 + l_4) - F_1 (l_3 + l_4) + R_1 l_4 =$$

$$= -\frac{1069 \cdot 1,949^2}{2} + 9589 \cdot 1,782 - 4763 \cdot 1,318 + 9961 \cdot 0,538 = 14139 \text{H} \cdot \text{M} = 14,14 \text{кH} \cdot \text{M} \quad (2.31)$$

$$M_F = -\frac{q_n (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5)^2}{2} + R_1' (l_2 + l_3 + l_4 + l_5) -$$

$$-F_1 (l_3 + l_4 + l_5) + R_1 (l_4 + l_5) + F_2 l_5 = -\frac{1069 \cdot 2,636^2}{2} + 9589 \cdot 2,469 - 4763 \cdot 2,005 +$$

$$+ 9961 \cdot 1,225 - 4945 \cdot 0,687 = 19216 \text{H} \cdot \text{M} = 19,21 \text{кH} \cdot \text{M} \quad (2.32)$$

$$M_G = -\frac{q_n (l_n - l_9 - l_8 - l_7)^2}{2} + R_1' (l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6) -$$

$$-F_1 (l_3 + l_4 + l_5 + l_6) + R_1 (l_4 + l_5 + l_6) - F_2 (l_5 + l_6) - \frac{q_2 l_6^2}{2} =$$

$$= -\frac{1069 \cdot 3,415^2}{2} + 9589 \cdot 3,248 - 4763 \cdot 2,784 +$$

$$+ 9961 \cdot 2,004 - 4945 \cdot 1,466 - \frac{8041 \cdot 0,779^2}{2} =$$

$$= 21924 \text{H} \cdot \text{M} = 21,92 \text{кH} \cdot \text{M} \quad (2.33)$$

$$M_H = -\frac{q_n (l_n - l_9 - l_8)^2}{2} + R_1' (l_n - l_1 - l_9 - l_8) -$$

$$-F_1 (l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7) + R_1 (l_4 + l_5 + l_6 + l_7) - F_2 (l_5 + l_6 + l_7) -$$

$$-\frac{q_2 (l_6 + l_7)^2}{2} - F_3 l_7 = -\frac{1069 \cdot 5,661^2}{2} + 9589 \cdot 5,494 - 4763 \cdot 5,03 +$$

$$+ 9961 \cdot 4,25 - 4945 \cdot 3,712 - \frac{8041 \cdot 3,025^2}{2} - 1452 \cdot 2,246 =$$

$$= -4478 \text{H} \cdot \text{M} = -4,48 \text{кH} \cdot \text{M} \quad (2.34)$$

$$\begin{aligned}
M_I = & -\frac{q_x(l_x - l_9)^2}{2} + R'_1(l_x - l_1 - l_9) - \\
& -F_1(l_x - l_1 - l_2 - l_9) + R_1(l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8) - F_2(l_5 + l_6 + l_7 + l_8) - \\
& -\frac{q_2(l_6 + l_7 + l_8)^2}{2} - F_3(l_7 + l_8) - F_4l_8 = -\frac{1069 \cdot 6,361^2}{2} + 9589 \cdot 6,194 - 4763 \cdot 5,73 + \quad (2.35) \\
& + 9961 \cdot 4,95 - 4945 \cdot 4,412 - \frac{8041 \cdot 3,725^2}{2} - 1452 \cdot 2,946 - 5131 \cdot 0,700 = \\
& = -25691 \text{Н} \cdot \text{м} = -25,69 \text{кН} \cdot \text{м}
\end{aligned}$$

Зміна знаку моментів згину говорить про те, що при розширенні бортів автомобіля КамАЗ 5511 спостерігається збільшення навантаження на раму автомобіля (за рахунок додаткової маси вантажу, що перевозиться), що може призвести до її деформації.

2.2 Віртуальні дослідження навантаженості рами автомобіля КамАЗ 5511 з метою підтвердження розрахункових даних

Експлуатація сучасних конструкцій в умовах значних навантажень, складної геометрії та великих розмірів призводить до того, що проведення реальних випробувань стає надзвичайно складним і фінансово затратним.

Швидкий розвиток обчислювальної техніки дав можливість імітувати складні фізичні процеси за допомогою моделювання, що дозволяє змінювати основні параметри досліджуваного об'єкта для підбору найкращих показників міцності й надійності. Одним із головних чинників успішного чисельного експерименту є вибір відповідного чисельного методу для розв'язання конкретної задачі, що сьогодні вже не викликає значних труднощів завдяки досягненням науки й техніки.

Суть чисельних методів полягає у заміні безперервної розрахункової моделі з безперервним розподілом характеристик на дискретну модель, що містить обмежену кількість невідомих, які підбираються з урахуванням вимог до точності розрахунку та можливостей обчислювальної техніки.

Серед великої кількості чисельних методів найбільшого поширення набув метод скінченних елементів (МСЕ), що є особливо зручним для реалізації на комп'ютерах завдяки чіткій структурі етапів розв'язання задачі.

Для перевірки правильності розрахунків створено 3D-модель рами, яка відтворює просторову геометрію реального зразка.

Після цього віртуальна рама зафіксована в чотирьох точках з прикладенням відповідних зусиль, розрахованих в підрозділі 2.1.

Програма автоматично проводить розрахунок як на напруження, так і на переміщення рами під дією прикладених сил.

Результати розрахунку рами вантажного автомобіля КамАЗ 5511 наведені на рис. 2.3.

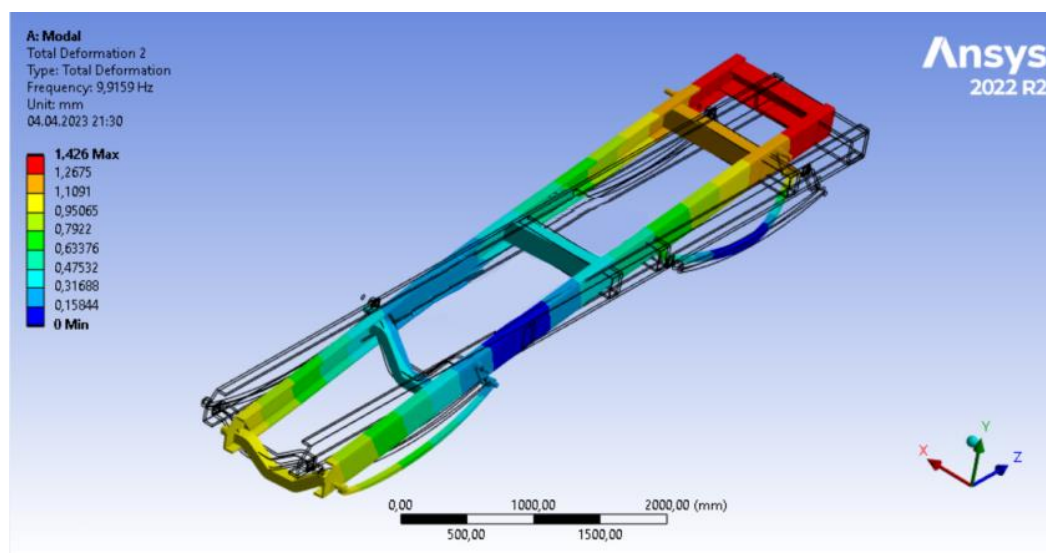


Рисунок 2.3 – Комп'ютерний експеримент з навантаження рами вантажного автомобіля КамАЗ 5511

З рис. 2.3 так само можна зробити висновок, що задня частина рами навантажена значно більше, за рахунок встановлення збільшених бортів, що може призвести до передчасного її руйнування та викривлення.

Окрім того, проведено дослідження ресурсу зазначеної рами. Для цього прикладене навантаження було замінено синусоїдальним зусиллям (центросиметричним навантаженням), амплітуда якого відповідала стаціонарному значенню. Результати розрахунку показують, що, за даного

розташування сил та їх амплітудних значень, ресурс рами становить 10^4 циклів навантаження (на відміну від 10^7 циклів базового навантаження).

РОЗДІЛ 3 ЗАПРОПОНОВАНЕ ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ З ВІДНОВЛЕННЯ РАМИ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ КАМАЗ 5511 ЗІ ЗБІЛЬШЕНИМИ БОРТАМИ

3.1 Технологія відновлення геометрії рам вантажних автомобілів

Рама вантажного автомобіля є основним силовим елементом конструкції, який сприймає всі навантаження від агрегатів, кузова та корисного навантаження. Під час експлуатації вантажних автомобілів, особливо в умовах інтенсивної роботи на нерівних дорогах або перевантаження, рама зазнає значних механічних впливів. Це призводить до порушення її геометричних параметрів – прогину, перекосу, скручування або місцевих деформацій. Порушення геометрії рами негативно впливає на керованість, стійкість, знос елементів підвіски, трансмісії, а також на загальну безпеку руху. Тому відновлення правильних геометричних форм рами є необхідною процедурою під час ремонту вантажного автомобіля.

Основними факторами, що призводять до деформацій рами, є:

- удари при наїзді на великі перешкоди або під час дорожньо-транспортних пригод;
- тривала експлуатація з перевантаженням;
- дія корозії, яка знижує міцність металу в окремих зонах рами;
- нерівномірний розподіл навантажень на підвіску та кузов;
- неправильне кріплення вантажу, що створює додаткові навантаження на раму.

Відновлення геометрії рами вантажного автомобіля здійснюється на спеціалізованому обладнанні – стапелях, рихтувальних стендах, гідравлічних установках. Метою даного процесу є повернення рами до заводських геометричних параметрів без зниження міцності конструкції. Технологія відновлення передбачає кілька послідовних етапів.

Діагностика стану рами. На цьому етапі проводиться візуальний огляд, а також вимірювання контрольних точок рами із застосуванням вимірювальних лінійок, шаблонів, лазерних пристроїв або електронних систем контролю. Складається карта пошкоджень із зазначенням відхилень від номінальних розмірів.

Установка рами на стапель. Раму жорстко закріплюють у базових точках на стапелі, що забезпечує нерухомість під час проведення рихтувальних робіт.

Відновлення геометрії. Деформації усувають шляхом витяжки та рихтування за допомогою гідравлічних циліндрів, домкратів, ланцюгових пристроїв. Для місцевих правок застосовують нагрівання газополуменевим або індукційним способом з наступним пластичним деформуванням. Дуже важливо при цьому уникнути перегріву матеріалу, аби не допустити зниження його міцності.

Контроль відновленої геометрії. Після рихтування проводиться повторне вимірювання контрольних точок для перевірки відповідності параметрів заводським кресленням. При необхідності виконуються додаткові виправлення.

Зміцнення конструкції (за потреби). У разі сильних пошкоджень або ослаблення матеріалу окремі ділянки підсилюють накладками, вставками чи додатковими елементами, які приварюють до основної конструкції.

Найпоширенішими способами відновлення геометрії рам є:

1. Рихтування без нагріву – застосовується для усунення невеликих перекосів і вигинів за допомогою гідроциліндрів та розтискних пристроїв.

2. Рихтування з нагрівом – використовується для вирівнювання значних деформацій. Нагрівання сприяє зниженню опору металу деформації, але потребує точного контролю температури.

3. Комбіновані методи – поєднання силових дій та нагрівання з наступним охолодженням водою або на повітрі для стабілізації форми.

Обладнання для відновлення геометрії:

– стапелі рамного типу для великих вантажівок;

- мобільні рихтувальні стенди;
- гідравлічні домкрати та циліндри високого тиску;
- комплект такелажу: ланцюги, захвати, стяжки;
- прилади для вимірювання деформацій: рулетки, лазерні рівні, електронні вимірювальні системи;
- газові або індукційні нагрівачі для локального нагрівання металу.

3.2 Особливості технологічного процесу відновлення геометрії рами

Відновлення геометрії рами потребує високої кваліфікації персоналу. Майстер повинен вміти правильно розподіляти навантаження на точках витяжки, контролювати силу прикладених зусиль, а також визначати доцільність подальшого використання відновленої рами.

У процесі рихтування необхідно дотримуватися таких принципів:

- рівномірне прикладання зусиль для уникнення появи нових деформацій;
- обов'язковий контроль відновлених розмірів після кожного етапу правки;
- запобігання пошкодженню антикорозійного покриття з наступним його відновленням.

При цьому, після завершення робіт відновлена рама повинна відповідати таким критеріям:

- відхилення геометричних параметрів не більше ніж на 1...2 мм від нормативних значень;
- відсутність тріщин та інших дефектів у зоні рихтування;
- збереження початкових механічних властивостей матеріалу;
- відновлене антикорозійне покриття;
- забезпечення можливості подальшої експлуатації транспортного засобу без обмежень.

Таким чином, технологія відновлення геометрії рам вантажних автомобілів є важливим етапом у ремонті та обслуговуванні техніки.

Використання сучасного обладнання та дотримання технологічного процесу дозволяє повертати рамам початкову форму та забезпечувати їх надійну експлуатацію упродовж тривалого часу.

3.3 Запропонований пристрій для відновлення геометрії рами вантажного автомобіля КамАЗ 5511.

Враховуючи проведені розрахунки, можна говорити про необхідність розробки пристрою для відновлення геометрії рами вантажного автомобіля.

Загальний вигляд запропонованого пристрою наведений на рис. 3.1

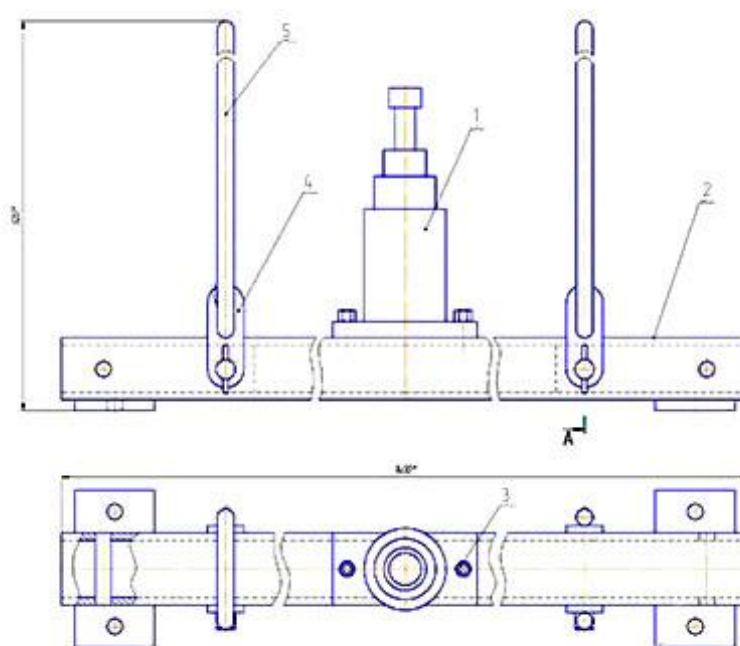


Рисунок 3.1 – Пристрій для відновлення геометрії рами вантажного автомобіля

Пристрій складається з основи 2, що сформована за допомогою швелеру, на базі якої розміщено гідравлічний домкрат 1, що закріплений за допомогою гвинтів 3, та стремена 5, що з'єднані з основою 2 за допомогою перехідної пластини 4.

Технологічний процес використання пристрою передбачає його розміщення на рамі вантажного автомобіля за допомогою стремени у вільному

положенні таким чином, щоб шток гідродомкрата був розташований перпендикулярно поверхні рами, що ремонтується.

Після цього в гідродомкраті створюється тиск, за рахунок чого шток останнього починає переміщуватись у бік рами. Налаштуванням пристрою треба добитись такого його положення, щоб шток домкрата взаємодіяв безпосередньо з елементом рами, геометрію якого необхідно відновити.

3.4 Розрахунок основи запропонованого пристрою на вигин

Згинальні напруження в основі пристрою обчислюються за формулою:

$$\sigma_{32} = \frac{M_{32}^{\max}}{W_{32}}, \quad (3.1)$$

де M_{32}^{\max} – найбільший згинальний момент на даній ділянці; W_{32} – момент опору згину для поперечного перерізу.

У розрахунках основа пристрою приймається у вигляді швелера (рис. 3.2), який розділений на дві частини – ділянка AD (від лівого стремені до гідродомкрата) та ділянка DJ (від гідродомкрата до правого стремені) – оскільки саме в центрі пристрою, як елемента з максимальним плечем, буде виникати максимальний момент згину.

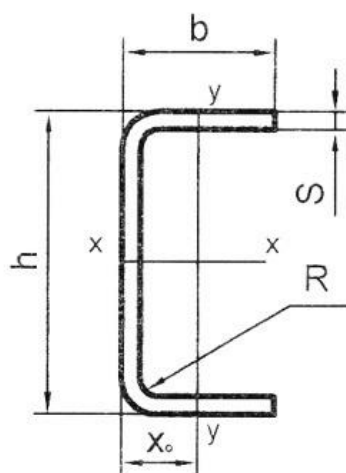


Рисунок 3.2 – Розрахунковий переріз основи пристрою

Для обох ділянок: $h = 0,12$ м, $b = 0,06$ м, $s = 0,006$ м.

Згідно з ДСТУ 8278-83 «Швелери сталеві гнуті рівнополічні. Сортамент», момент опору згину становить:

$$W_{32} = 44,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (3.2)$$

Напруження при згині основи:

$$\sigma_{32} = \frac{7,15 \cdot 10^3}{44,29 \cdot 10^{-6}} = 161 \text{ МПа}. \quad (3.3)$$

Це значення не перевищує припустимий діапазон, який для даного швелеру становить $[\sigma_{32}] = 100 \dots 300 \text{ МПа}$

Отже, міцність забезпечено.

Отже, за результатами розрахунків, основа пристрою витримує дію згинальних моментів без порушення умов міцності.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ З ВІДНОВЛЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ РАМИ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ

4.1 Загальні вимоги охорони праці

Самостійно виконувати рихтувальні роботи мають право лише особи, яким виповнилося 18 років, які володіють необхідною кваліфікацією, пройшли вступний інструктаж і первинний інструктаж на робочому місці з питань охорони праці та навчені безпечним прийомом і методам роботи.

Працівник не повинен приступати до виконання обов'язків рихтувальника, якщо він не пройшов черговий повторний інструктаж з охорони праці в установлені терміни (не рідше одного разу на три місяці).

Рихтувальник зобов'язаний дотримуватись правил внутрішнього трудового розпорядку.

Тривалість робочого тижня рихтувальника не повинна перевищувати 40 годин. Щоденна тривалість роботи або зміни визначається правилами внутрішнього розпорядку, затвердженими роботодавцем.

Рихтувальник має бути поінформований про те, що під час виконання рихтувальних робіт на нього впливають основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, серед яких:

- використання обладнання, інструментів і пристосувань;
- робота з листовим металом, що має гострі краї;
- виконання зварювальних та заклепних операцій.

Використання ручних механічних ножиць для різання металу та інших інструментів без належних навичок може призвести до травмування.

Під час роботи з листовим металом існує ймовірність порізів.

При проведенні зварювальних робіт є ризик отримати опіки, отруєння або запалення очей.

Рихтувальнику заборонено користуватися обладнанням, пристроями чи інструментами, поводження з якими йому не було роз'яснено або за якими він не проходив навчання та інструктаж.

Робота має виконуватись у спеціальному одязі, а за потреби – із застосуванням інших засобів індивідуального захисту.

Про всі виявлені порушення вимог охорони праці, а також про несправності обладнання, інструменту, пристосувань чи засобів індивідуального захисту рихтувальник повинен невідкладно повідомити безпосередньому керівнику – начальнику ділянки та не починати роботи до повного усунення зазначених недоліків.

Рихтувальник зобов'язаний дотримуватись правил особистої гігієни:

- курити лише у спеціально відведених місцях;
- перед відвідуванням туалету, прийомом їжі чи курінням обов'язково мити руки з милом;
- не зберігати і не споживати їжу та напої безпосередньо на робочому місці, щоб запобігти потраплянню шкідливих речовин із повітря;
- для пиття користуватися лише водою із спеціально призначених для цього пристроїв.

У разі невиконання положень цієї інструкції рихтувальник несе відповідальність згідно з чинним законодавством України.

4.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи

Перед тим як розпочати виконання своїх обов'язків, рихтувальник зобов'язаний виконати підготовчі дії.

Необхідно одягнути засоби індивідуального захисту, при цьому уважно застібнути манжети рукавів спецодягу, щоб виключити можливість зачеплення за механізми або інструменти.

Рихтувальник має уважно оглянути своє робоче місце, усунути з нього зайві предмети та матеріали, при цьому залишивши вільними проходи для

безпечного пересування. Важливо переконатися, що підлога на робочій ділянці суха та не слизька. Якщо ж поверхня волога або слизька, слід негайно вимагати її прибирання або самому привести її до належного стану шляхом витерання чи посипання тирсою.

Також рихтувальник повинен перевірити наявність, справність та готовність до роботи обладнання, інструментів і пристосувань, які будуть використовуватися під час виконання завдань.

4.3 Вимоги охорони праці під час роботи

Під час виконання рихтувальних робіт працівник зобов'язаний дотримуватись вимог безпеки та організації праці.

Кабіни, рами та кузови, що підлягають ремонту, необхідно розташовувати на спеціальних підставках і міцно фіксувати.

Перед вирівнюванням деталей обов'язково очищати їх від іржі за допомогою металевих щіток. Цю роботу виконують у захисних окулярах і рукавицях, а під час очищення або виконання робіт, пов'язаних із виділенням шкідливих речовин, потрібно вмикати місцевий витяжний відсмоктувач.

Використовувати тільки ті гайкові ключі, що точно відповідають розмірам гайок і болтів.

Слідкувати за чистотою робочого місця та складати обрізки в призначені для цього ємності.

Виконувати рихтування деталей виключно за допомогою спеціалізованих інструментів.

Під час виготовлення заплат і деталей із листового металу, а також під час вирізання пошкоджених частин слід обробляти гострі кути, краї та задирки.

Під час проведення зварювальних робіт обов'язково застосовувати захисні окуляри.

Різати й гнути метал на обладнанні можна лише в межах допустимої товщини матеріалу для конкретного устаткування.

Під час роботи з великими деталями чи заготовками використовувати пристрої для їх підтримки.

Під час різання листового металу на ножицях стежити, щоб руки не були навпроти ріжучих частин.

При виконанні косого різу починати з боку, де кут між лінією різу і краєм ближчий до прямого.

Перед подачею повітря на пневморізак перевірити правильність його розташування.

Виконуючи роботи з листовим металом (різання, правка, перенесення, складування), слід користуватись рукавицями.

Абразивні круги на зачистні машинки встановлювати лише двома ключами.

Під час рихтування деталей на роликовому станку бути обережним, щоб уникнути потрапляння пальців між ролики.

Якщо потрібно підігріти пошкоджене місце на авто, попередньо зняти матеріали й деталі, що можуть спалахнути.

Під час рубання металу вручну працювати в окулярах і з використанням захисної шайби на зубилі. Метал кріпити в лещатах або на плиті.

Працюючи з електроінструментом, використовувати діелектричні рукавички.

Підключати інструмент тільки через вилку з подовженим заземлюючим контактом.

Переносячи інструмент, тримати його за рукоятку, а кабель чи шланг – згорнутим кільцем.

Змінювати ріжучі інструменти лише після вимкнення інструмента від мережі.

Перед початком обробки впевнитися в надійності закріплення заготовки чи деталі.

Слідкувати, щоб спецодяг не потрапляв у рухомі частини інструмента.

У разі перерви в роботі чи зникнення електрики від'єднати інструмент від мережі.

Перед підключенням шланга до пневмосистеми перевірити надійність кріплення. Під час продувки шланга повітря спрямовувати тільки вгору. Підключати й від'єднувати шланг лише при закритому вентилі магістралі, закріплювати хомутиками. Контролювати відсутність витоків повітря в місцях з'єднань. У разі перерви перекривати вентиль.

Якщо інструмент несправний або є підозра на поломку, припинити роботу й здати його на перевірку.

Металеві залишки прибирати щіткою. Використане ганчір'я складати у металеву тару з кришкою.

Категорично заборонено: захаращувати робоче місце, працювати без захисту очей або кожуха, фіксувати інструмент у тисках для кріплення кругів, використовувати пошкоджені свердла, робити підкладки під конус, носити інструмент за кабель чи ріжучу частину, підтримувати руками вирізані частини, підносити руки до ріжучих частин, спрямовувати повітря на людей чи обладнання, працювати на випадкових підставках, прибирати обрізки руками чи здувати пил повітрям, кріпити шланги дротом.

4.4 Вимоги охорони праці при аварійних ситуаціях

У разі будь-якого нещасного випадку, свідком якого став рихтувальник, він зобов'язаний негайно повідомити про подію керівнику – начальнику дільниці, надати потерпілому необхідну першу долікарську допомогу, викликати медичного працівника або організувати транспортування постраждалого до найближчого медичного закладу.

Якщо нещасний випадок стався безпосередньо з рихтувальником, він має особисто повідомити про інцидент роботодавця або доручити це комусь із колег.

У разі виявлення пожежі рихтувальник зобов'язаний оперативно сповістити пожежну службу та керівника – начальника ділянки, після чого розпочати гасіння вогню з використанням наявних засобів пожежогасіння.

Якщо сталася поломка підйомно-транспортного обладнання, необхідно негайно зупинити його експлуатацію, відключити подачу електроенергії або інших енергоносіїв, опустити піднятий вантаж або огородити зону його розташування. Про вжиті заходи слід доповісти безпосередньому керівнику – начальнику ділянки та діяти згідно з його подальшими вказівками.

У випадку аварійної ситуації потрібно повідомити про небезпеку людей, що перебувають поблизу, доповісти керівникові – начальнику ділянки про подію й дотримуватись отриманих інструкцій.

При забрудненні місця роботи пролитими маслами, лакофарбовими матеріалами, паливом, мастилами чи кислотами необхідно призупинити виконання робіт і наполягти на прибиранні забруднюючих речовин.

У разі нещасного випадку важливо негайно проінформувати про це начальника ділянки. Потерпілому має бути надана долікарська допомога у випадку травмування, отруєння чи раптового погіршення стану здоров'я, а за потреби організувати його транспортування до медичного закладу для отримання кваліфікованої допомоги.

4.5 Забезпечення пожежної безпеки у виробничих умовах

Основою для регулювання пожежної безпеки в Україні є Конституція, законодавчі акти, серед яких основне місце займає Закон «Про пожежну безпеку», а також численні підзаконні акти – постанови Верховної Ради, укази Президента, розпорядження урядових структур і рішення органів місцевої влади в межах їхньої компетенції.

Практична діяльність щодо запобігання пожежам вимагає дотримання вимог діючих правил пожежної безпеки, будівельних норм, стандартів та інших нормативів, які регламентують відповідну діяльність на різних рівнях.

Пожежа – це процес некерованого горіння, що виходить за межі призначених для цього зон, поширюється у просторі та часі й становить загрозу для людей, природи та матеріальних цінностей.

Пожежонебезпечним вважається будь-який стан або фактор, що здатен викликати займання й сприяти подальшому поширенню полум'я незалежно від агрегатного стану речовини чи характеру процесу. Варто пам'ятати: об'єкти з нульовим ризиком виникнення пожежі не існують.

Щоб мінімізувати ризик виникнення пожеж на підприємствах, важливо чітко розуміти основні причини займання. Аналіз причин показує, що найчастіше загоряння виникають унаслідок:

- необережного поводження з відкритим вогнем;
- несправного електрообладнання або помилок під час його монтажу чи експлуатації;
- порушення технологічних регламентів;
- дефектів у системах опалення та неправильного їх використання;
- недотримання вимог чинних нормативів з пожежної безпеки.

Особливу небезпеку становить недбале поводження з вогнем: куріння у невідведених для цього місцях чи виконання вогневих робіт без дотримання вимог безпеки. Під вогневими роботами розуміють операції, пов'язані з відкритим полум'ям, утворенням іскор або нагріванням конструкцій чи матеріалів до температур, здатних викликати займання легкозаймистих речовин.

Такі роботи можуть проводитися на постійних ділянках, що затверджуються наказом керівника підприємства, або на тимчасових, для чого необхідний письмовий дозвіл керівника підрозділу.

Серед факторів, що впливають на розвиток пожежі в спорудах, ключовим є вогнестійкість конструкцій, тобто їх здатність протистояти високим температурам і зберігати свої функції під час дії вогню.

Вогнестійкість визначається часом, протягом якого конструкція витримує дію вогню без руйнування, втрати несучої спроможності чи поширення полум'я. Цей показник фіксується у вигляді межі вогнестійкості.

Під час проєктування промислових об'єктів передбачають комплекс заходів для обмеження поширення вогню, серед яких:

- поділ будівель на відсіки за допомогою вогнестійких перекриттів;
- облаштування протипожежних перегородок для розділення приміщень;
- встановлення інженерних перешкод (пояси, козирки, бортики), що стримують поширення полум'я по поверхнях;
- монтаж протипожежних дверей і воріт спеціального призначення;
- дотримання нормативних відстаней між будівлями для запобігання передачі вогню з однієї споруди на іншу.

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО ПРИСТРОЮ

У цьому розділі виконується обчислення витрат і визначення строків повернення інвестицій, вкладених у виготовлення та використання пристрою, призначеного для відновлення геометрії рами вантажного автомобіля КамАЗ 5511.

5.1 Організація технологічного процесу

Необхідно встановити річний об'єм технологічних операцій, пов'язаних із сервісним обслуговуванням рами зазначеної моделі вантажного автомобіля. При цьому береться до уваги ступінь завантаження машини під час виконання нею різних видів транспортних операцій при виробництві продукції рослинництва, що наведено в табл. 5.1 (з розрахунку на 1000 автомобілів).

Таблиця 5.1 – Технологічний процес відновлення геометрії рами, люд-год.

Вид робіт	Загальна трудомісткість	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
Відновлення геометрії рами	4654	930,8	1116,96	1442,74	1163,5

5.2 Обчислення необхідного обсягу інвестицій

Виходячи зі складу основних елементів пристрою та орієнтовної їх середньої ціни, визначено, що загальна вартість виготовлення нового пристрою складає 5654,17 грн.

Детальний розподіл інвестиційних витрат на виготовлення пристрою відображено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Структура витрат на виготовлення нового технологічного пристрою

Вид обладнання	Марка	Ціна, грн	Кількість	Строк амортизації, років	Амортизаційні відрахування, грн/рік
Пристрій для відновлення геометрії рами	–	5654,17	1	20	282,71

5.3 Розрахунок фонду оплати праці

Формування фонду заробітної плати безпосередньо пов'язане з діяльністю керівника підрозділу, який несе відповідальність за реалізацію поточних і перспективних планів розвитку. Він організовує заходи, що спрямовані на оновлення та зміцнення матеріально-технічної бази, розробляє та затверджує внутрішні нормативні документи, що регламентують виробничі й адміністративні процеси.

До його функцій входить визначення чисельного складу підрозділу, побудова організаційної структури та встановлення систем оплати праці. Окрім цього, керівник вирішує кадрові питання, включаючи прийом нових співробітників і припинення трудових відносин.

В табл. 5.3 наведено підсумкові дані щодо розрахунку фонду робочого часу, що використовується як основа для визначення фонду оплати праці персоналу.

Таблиця 5.3 – Розрахунок фонду заробітної плати

Посада	Кількість	Посадовий оклад, грн	Відрахування в позабюджетні фонди	Місячний фонд оплати праці	Річний фонд оплати праці
Керівник підрозділу	1	25000	7500	32500	390000
Виробничі робітники	3	60000	18000	78000	936000
Всього	4	85000	25500	110500	1326000

З табл. 5.3 видно, що загальна чисельність працівників на ділянці рихтування становить 4 людини, відрахування до позабюджетних фондів становить 30%, річний фонд оплати праці дорівнює 1326000 грн.

5.4 Розрахунок виробничих витрат

5.4.1 Витрати на електроенергію для роботи обладнання

Щорічні витрати на забезпечення технологічного устаткування електроенергією обчислюються за такою формулою:

$$B_{el} = \frac{T_p \times 12 \times C_{el} \times N \times \eta \times N_e}{100}, \quad (5.1)$$

де T_p – кількість годин роботи обладнання на місяць, год; C_{el} – тариф на електроенергію (4,32 грн/кВт·год); N – податок на додану вартість, $N = 20\%$; η – коефіцієнт ефективності обладнання $\eta = 0,65$; N_e – середня встановлена потужність обладнання $N_e = 60$ кВт.

Результат розрахунку:

$$B_{el} = \frac{105 \times 12 \times 4,32 \times 0,2 \times 0,65 \times 60}{100} = 424,57 \text{ грн/рік.} \quad (5.2)$$

5.4.2 Витрати на електроосвітлення

Витрати на штучне освітлення приміщення цеху обчислюють за виразом:

$$B_{осв} = T_{осв} \times 12 \times S \times q \times C_{el}, \quad (5.3)$$

де $T_{осв} = 100$ годин – середня кількість годин освітлення за місяць; S – площа виробничої ділянки (приймаємо рівною контурній площі трьох вантажних автомобілів КамАЗ 5511 з забезпеченням технологічних проходів – 27 м^2); q – питомі витрати електроенергії на освітлення ($q = 0,015 \text{ кВт/м}^2$).

Підсумок:

$$B_{осв} = 100 \times 12 \times 27 \times 0,015 \times 4,32 = 2099,52 \text{ грн/рік.} \quad (5.4)$$

5.4.3 Витрати на технічне обслуговування устаткування

Поточне обслуговування обладнання потребує витрат у розмірі 5% від амортизаційної вартості всієї техніки:

$$B_{рем} = 0,05 \times 282,71 = 14,14 \text{ грн.} \quad (5.5)$$

5.4.4 Витрати на водопостачання

Витрати на господарсько-побутове водопостачання розраховуються за формулою:

$$B_в = \frac{n \times V \times D_{рз} \times 70\% \times C_в}{1000}, \quad (5.6)$$

де $n = 4$ – кількість працівників; V – споживання води на одну зміну – 20 л ; $D_{рз} = 248$ – робочі дні на рік; $C_в$ – ціна 1 м^3 води ($30,38 \text{ грн}$).

Підсумок:

$$B_в = \frac{4 \times 20 \times 248 \times 0,7 \times 30,38}{1000} = 421,9 \text{ грн/рік.} \quad (5.7)$$

5.4.5 Витрати на опалення

Витрати на опалення приміщення з урахуванням теплових втрат та тривалості опалювального сезону розраховуються так:

$$B_{он} = \frac{V \times q \times (T_в - T_н) \times Z \times 24 \times K_n \times C_{он}}{1000000}, \quad (5.8)$$

де $V = 81 \text{ м}^2$ – об'єм приміщення; q – теплова характеристика, $q = 0,45 \text{ ккал/м}^3$; $T_в$ — температура всередині, 20°C ; $T_н$ – зовнішня температура, -30°C ; Z –

тривалість опалювального періоду, 150 днів; K_n – коефіцієнт тепловтрат, $K_n = 1,09$; C_{on} – тариф на 1 Гкал тепла, 1654,41 грн [25].

Результат:

$$B_{on} = \frac{81 \times 0,45 \times (20 + 30) \times 150 \times 24 \times 1,09 \times 1654,41}{1000000} = 11831,49 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

5.4.6 Інші експлуатаційні витрати

Додаткові витрати, що включаються до поточних, складають близько 5% від підсумкових попередніх витрат:

$$B_{ини} = 0,05 \times (424,57 + 2099,52 + 14,14 + 421,92 + 11831,49) = 739,58 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

5.4.7 Річні витрати

Таким чином загальні річні витрати визначаються як сума усіх попередніх – табл. 5.4

Таблиця 5.4 – Річні витрати

Річний фонд оплати праці, грн	1326000
Витрати на споживання електроенергії обладнанням, грн	404,35
Витрати на електроосвітлення, грн	2099,52
Поточне технічне обслуговування обладнання, грн	14,14
Споживання води для господарсько-побутових потреб, грн	421,92
Витрати на опалення виробничого приміщення, грн	11831,49
Інші передбачені витрати, грн	739,58
Всього	1341511

5.5 Основні економічні показники функціонування підприємства

Річний дохід від надання послуг, включно з вартістю відновлення геометрії рами вантажного автомобіля КамАЗ 5511, складає 40523890 грн при середній ціні ремонту 40523,89 грн за одиницю. Для оцінки прибутковості виробничої діяльності застосовують коефіцієнт рентабельності, який визначається за формулою:

$$R = \frac{Ц - C}{C} 100\%, \quad (5.11)$$

де $Ц$ — виручка від ремонту (40523890 грн.); C — повна собівартість річного обсягу послуг (1341511 грн).

Підставляючи значення, отримуємо:

$$R = \frac{40523890 - 1341511}{1341511} = 29,2\%. \quad (5.12)$$

Валовий прибуток за календарний рік розраховується як різниця між загальним доходом і виробничими витратами:

$$П_{вал} = Ц - C = 40523890 - 1341511 = 3918237 \text{ грн.} \quad (5.13)$$

Далі визначається чистий прибуток, що отримують шляхом вирахування податку на прибуток у розмірі 24 % із валового прибутку:

$$П_{чист} = П_{вал} - П_{вал} \times 0,24 = 3918237 - 9403770,96 = 29778608,0 \text{ грн.} \quad (5.14)$$

5.6 Оцінка економічної ефективності проекту

Рентабельність реалізованого проекту оцінюють за показником терміну окупності, який демонструє, скільки часу необхідно для повного повернення вкладених коштів. Формула має вигляд:

$$T = \frac{K}{П_{чист}}, \quad (5.15)$$

де K — сума вкладених інвестицій у модернізацію (5654,17 грн); $П_{чист}$ — чистий прибуток за рік (29778608,04 грн).

Обчислення дає результат (з розрахунку десяти пристроїв на кожний з трьох постів):

$$T = \frac{30 \cdot 5654,17}{29778608,04} = 0,005 \text{ роки.} \quad (5.16)$$

Отже, інвестиції в пристрій повернуться приблизно за 0,005 роки.

Усі отримані техніко-економічні показники наведені в узагальненій формі в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Основні техніко-економічні показники

Найменування	Сума, грн
Виручка від реалізації послуг	40523890
Фонд оплати праці річний	1326000
Сумарні інвестиції в проєкт	5654,17
Амортизаційні відрахування	282,71
Прибуток валовий	39182379
Прибуток чистий	29778608,04
Рентабельність	29,2%
Строк окупності	0,005 роки

ВИСНОВКИ

У представленій роботі детально проаналізовано конструкційні особливості та технічні характеристики рам вантажних автомобілів КамАЗ 5511. Описано склад рами, окреслено функції, наведено типові причини виходу з ладу та методи ліквідації виявлених дефектів і несправностей.

Виходячи з можливостей наявної матеріально-технічної бази, запропоновано розширити спектр робіт виробничої дільниці шляхом включення послуги відновлення геометрії рами автомобіля. Це стане можливим завдяки впровадженню спеціалізованого пристрою, розробленого для таких цілей.

Комплекс підготовлених організаційно-технічних рішень з охорони праці забезпечує створення безпечних умов для персоналу.

Здійснений техніко-економічний аналіз запропонованого проекту надав можливість визначити витрати на виготовлення і застосування нового пристрою. Підрахунки підтвердили, що вкладені кошти в організацію виробництва пристрою повернуться вже протягом 0,005 місяців його роботи, що свідчить про економічну доцільність реалізації запропонованого заходу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Mi C., Li W., Xiao X., Jian H., Gu Z., Berto F. Lifetime Assessment and Optimization of a Welded A-Type Frame in a Mining Truck Considering Uncertainties of Material Properties and Structural Geometry and Load. *Applied Sciences*. 2019. Article 918. 12 p.
2. Seo J.-W., Hur H.-M., Kwon S.-J., Moon K.-H. Effect of multiple weld repairs on fatigue strength of bogie frame of railroad vehicle. *Journal of Vehicle System Dynamics*. 2023. 15 p.
3. Rao V. N., Eischen J. W. Failure analysis of mixed mode crack growth in heavy duty truck frame rail. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*. 2016. S. 8.
4. Cheng L., Lin H.-B., Zhang Y.-L. Optimization design and analysis of mobile pump truck frame using response surface methodology. *PLOS One*. 2023. e0290348. 10 p.
5. Luo W., Zheng Z., Liu F., Han D., Zhang Y. Lightweight design of truck frame. *J. Physics: Conference Series*. 2020. 1653:012063. 8 p.
6. Mohammed A. S., Babu N. R., Sivaprakasam P., Udayaprakash J. Optimization of Torsional Stiffness for Heavy Commercial Vehicle Chassis Frame. *Journal of Automotive Engineering*. 2023. 12 p.
7. Automotive Quest (ed.) Effective Frame Straightening Techniques for Automotive Repair. *Automotive Quest*. 2023. 6 p.
8. Cyclone Collision Center (ed.) Frame Straightening: Restoring Structural Integrity. *Cyclone Collision Center Blog*. 2023. 8 p.
9. Oliveira R., Ljungqvist O., Lima P. F., Mårtensson J., Wahlberg B. A Geometric Approach to On-road Motion Planning for Long and Multi-Body Heavy-Duty Vehicles. *arXiv*. 2020. 25 p.
10. Oliveira R., Ljungqvist O., Lima P. F., Wahlberg B. Optimization-Based On-Road Path Planning for Articulated Vehicles. *arXiv*. 2020. 22 p.

ДОДАТКИ