

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення рами зернового
перевантажувача з дослідженням його НДС

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи МПм-61
спеціальності 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Бейгер С.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Окіпний І.Б.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ткаченко І.Г.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена розробленню технології виготовлення рами зернового перевантажувача з дослідженням її напружено-деформованого стану (НДС). Актуальність теми зумовлена зростаючими вимогами до надійності, довговічності та масо-габаритної оптимізації сільськогосподарської техніки, зокрема зернових перевантажувачів, які працюють в умовах змінних та підвищених експлуатаційних навантажень.

Метою роботи є підвищення експлуатаційної надійності та технологічності рами зернового перевантажувача шляхом обґрунтованого вибору конструктивних параметрів, матеріалів і технології виготовлення з урахуванням результатів дослідження її напружено-деформованого стану.

У роботі виконано аналіз конструкцій рам зернових перевантажувачів та умов їх роботи, визначено основні навантаження і фактори, що впливають на формування НДС. Обґрунтовано вибір матеріалу рами та розроблено технологічний процес її виготовлення, включаючи заготівельні, зварювальні та контрольні операції. За допомогою методів інженерних розрахунків і чисельного моделювання досліджено напружено-деформований стан рами, визначено найбільш навантажені зони та перевірено умови міцності, жорсткості й стійкості конструкції. На основі отриманих результатів запропоновано конструктивно-технологічні рішення, спрямовані на зниження рівня напружень, підвищення ресурсу роботи та забезпечення технологічності виготовлення рами. Проведено оцінювання ефективності запропонованих рішень з позицій надійності та доцільності їх впровадження у виробництво. Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані при проєктуванні та виготовленні рам зернових перевантажувачів і аналогічних металоконструкцій сільськогосподарського призначення, а також у навчальному процесі за спеціальностями механічного та агроінженерного спрямування.

Ключові слова: перевантажувач, рама, напружено-деформований стан, міцність, жорсткість, зварні конструкції.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Опис конструкції виробу та умов його експлуатації.....	8
1.2 Технічні умови виготовлення зварної рамної конструкції	17
1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу	20
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	23
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	32
3.1 Обґрунтування вибору способу зварювання.....	32
3.2 Опис технологічного процесу	45
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	55
4.1 Вибір пристосувань та опис принципу їх роботи	55
4.2 Розрахунок зварювального кантувача	59
4.3 Розрахунок притискачів кондуктора.....	64
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	67
5.1 Охорона праці	67
5.2 Підвищення стійкості об'єкта до ударної хвилі	69
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74
ДОДАТКИ.....	77

ВСТУП

Сучасний агропромисловий комплекс характеризується високими темпами механізації та зростанням вимог до продуктивності, надійності й довговічності сільськогосподарської техніки. Одним із ключових елементів технологічного ланцюга післязбиральної обробки зерна є зернові перевантажувачі, ефективність роботи яких значною мірою визначається технічним станом та конструктивною досконалістю їх несучих елементів. Рама зернового перевантажувача є базовою металоконструкцією, що сприймає основні статичні та динамічні навантаження, забезпечує просторову жорсткість машини та надійність її функціонування в складних експлуатаційних умовах.

В процесі експлуатації зернові перевантажувачі зазнають дії змінних навантажень, пов'язаних із масою зерна, нерівномірністю його розподілу, динамічними впливами під час руху та роботи робочих органів, а також впливу вібрацій і ударних навантажень. За цих умов саме рама визначає рівень міцності, жорсткості та довговічності всієї машини. Недостатньо обґрунтовані конструктивні рішення або недосконалість технології виготовлення можуть призводити до появи локальних концентрацій напружень, розвитку втомних пошкоджень і, як наслідок, до передчасного виходу обладнання з ладу.

Актуальність даної кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю поєднання сучасних методів проєктування металоконструкцій із раціональною технологією їх виготовлення. Дослідження напружено-деформованого стану рами зернового перевантажувача з використанням інженерних розрахунків і чисельних методів дає змогу виявити найбільш навантажені зони конструкції, оцінити відповідність прийнятих рішень вимогам міцності та жорсткості, а також обґрунтувати напрями її конструктивно-технологічного вдосконалення.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення технології виготовлення рами зернового перевантажувача з одночасним дослідженням її напружено-

деформованого стану для підвищення надійності, довговічності та технологічності конструкції. Для досягнення поставленої мети у роботі передбачається аналіз існуючих конструкцій рам зернових перевантажувачів, вибір матеріалів і технологічних процесів виготовлення, а також виконання розрахунків і моделювання НДС з подальшим обґрунтуванням оптимальних конструктивно-технологічних рішень.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів при проєктуванні та виготовленні рам зернових перевантажувачів і споріднених металоконструкцій, а також у впровадженні раціональних технологічних рішень, спрямованих на підвищення ресурсу та надійності сільськогосподарської техніки.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу та умов його експлуатації

Тракторні причеи є важливою складовою транспортно-технологічних систем у сільському господарстві та використовуються для перевезення різноманітних вантажів у виробничих і польових умовах. Їх конструкція формується з урахуванням вимог до вантажопідйомності, прохідності, надійності та сумісності з тяговими тракторами різних класів [1].

Типовий тракторний причіп являє собою складну технічну систему, до складу якої входять ходова частина з колесами, несуча рама, вантажний кузов бортового типу, механізм підйому кузова, а також причіпний пристрій для з'єднання з трактором. Рама виконує функцію основного силового елемента, сприймаючи навантаження від маси вантажу, динамічних впливів під час руху та зусиль, що виникають у процесі розвантаження.

Залежно від конструктивного виконання ходової частини тракторні причеи поділяють на причеи та напівпричеи. Причеи є багатовісними транспортними засобами, які агрегуються з тракторами за допомогою стандартних причіпних пристроїв. Для таких конструкцій характерний відносно рівномірний розподіл маси вантажу між осями шасі, що позитивно впливає на стійкість і зменшує навантаження на окремі елементи конструкції.

Напівпричеи, у свою чергу, можуть бути одноосьовими або багатовісними та відрізняються особливим способом сприйняття навантажень. Частина маси вантажу в таких конструкціях передається на ходову частину тягача через спеціальний зчіпний вузол, вмонтований у раму трактора. Цей вузол, відомий як сидельно-зчіпний пристрій, забезпечує надійне з'єднання напівпричеи з тягачем і сприяє більш ефективному використанню тягових можливостей агрегату.

За кількістю осей тракторні причеи поділяють на одноосьові та двовісні. Найбільш поширеними в практиці експлуатації є одноосьові

самоскидні причеви, які широко застосовуються для транспортування сипких і напіврідких матеріалів, таких як зерно, ґрунт, добрива та кормові суміші. Їх конструкція відзначається відносною простотою, маневровістю та зручністю розвантаження. Двовісні причеви, як правило, мають значні габаритні розміри та призначені для перевезення великих обсягів сипких матеріалів або важких вантажів, що потребують підвищеної вантажопідйомності та стійкості під час руху.

Умови роботи тракторних причепів характеризуються дією змінних статичних і динамічних навантажень, впливом нерівностей дорожнього покриття, а також циклічними навантаженнями під час завантаження й розвантаження. Це зумовлює підвищені вимоги до міцності, жорсткості та довговічності їх конструктивних елементів, насамперед рами та ходової частини.

У даній кваліфікаційній роботі об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення рами зернового перевантажувача, який належить до класу двовісних самоскидних тракторних напівпричепів. Основна увага зосереджена на особливостях конструкції рами як несучого елемента, що визначає міцність, жорсткість і експлуатаційну надійність усього виробу.

Тракторний напівпричіп зернового перевантажувача призначений для транспортування широкого спектра сільськогосподарських вантажів, зокрема зернових культур, коренеплодів та органічних добрив. Його експлуатація передбачена на автомобільних дорогах місцевого значення IV–VI категорій, а також у польових умовах, без використання автомобільних шляхів I–III категорій. Такі умови роботи зумовлюють дію значних змінних навантажень і підвищені вимоги до міцності та довговічності несучих елементів конструкції.

Ходова частина напівпричеви виконана у вигляді балансиру вiзка, який може оснащуватися жорсткою або ресорною підвіскою. Використання шин типорозміру 16,5/70-18 сприяє зменшенню динамічних навантажень і підвищенню плавності руху під час транспортування вантажу нерівними дорогами та ґрунтовими поверхнями. Для забезпечення безпеки руху

напівпричіп оснащений пневматичною гальмівною системою, що відповідає вимогам експлуатації в складі тракторного агрегату [1-5].

Конструкція зернового перевантажувача включає вантажну платформу з напівеліптичною ресорною підвіскою, розраховану на номінальну вантажопідйомність до 12 т. Максимальна допустима швидкість руху напівпричепа становить до 30 км/год, що відповідає умовам експлуатації на місцевих дорогах і в польовому середовищі.

Напівпричіп зернового перевантажувача адаптований до роботи в широкому діапазоні кліматичних умов і розрахований на експлуатацію за температури навколишнього середовища від мінус 40 до плюс 40 °С. Конструкція також передбачає можливість безгаражного зберігання, що є важливим фактором для сільськогосподарських підприємств з обмеженою інфраструктурою. Зазначені особливості експлуатації визначають вимоги до технології виготовлення рами та необхідність її дослідження з позицій напружено-деформованого стану.



Рис. 1.1 – Загальний вигляд напівпричепа типу зернового перевантажувача [5]

На рис. 1.1 наведено загальний вигляд тракторного напівпричепа типу

зернового перевантажувача, конструктивні особливості якого визначають його експлуатаційні та технологічні властивості. Аналіз компоновки виробу свідчить, що напівпричіп є складною зварною металоконструкцією, елементи якої взаємодіють між собою з метою забезпечення необхідної вантажопідйомності, стійкості та безпеки роботи.

Напівпричіп зернового перевантажувача типу ПБН-16 належить до двовісних транспортно-технологічних машин і характеризується комплексом технічних параметрів, що забезпечують його ефективну роботу в аграрному виробництві.

Колісне оснащення напівпричепа передбачає використання шин типорозміру 425/70 R18, розрахованих на навантаження до 3,87 т на колесо за швидкості руху до 30 км/год. Для забезпечення безпеки експлуатації застосовується пневматична гальмівна система, яка за потреби може бути виконана у гідравлічному або комбінованому (змішаному) варіанті залежно від типу тягового трактора.

Вантажний кузов напівпричепа має корисний об'єм 16 м³ і розрахований на максимальну вантажопідйомність до 12 т. Конструктивна висота завантаження становить 2,90 м, що забезпечує сумісність із більшістю зернозбиральних комбайнів і перевантажувальної техніки. Для здійснення розвантаження передбачено вивантажувальний шнек діаметром 420 мм, який забезпечує висоту подачі матеріалу до 4,3 м, що є достатнім для завантаження транспортних засобів різних типів [4-5].

Привід робочих органів реалізований через редуктор типу S2100 виробництва компанії Bondioli & Pavesi (Італія), що відзначається високою надійністю та стабільністю роботи в умовах змінних навантажень. Для підвищення зручності агрегування та стоянки напівпричіп оснащений гідравлічною підпорою дишла.

З'єднання з трактором здійснюється за допомогою змінного причіпного кільця діаметром 40, 50 або 90 мм виробництва Scharmüller (Австрія), що забезпечує універсальність використання напівпричепа з тракторами різних

тягових класів. Додатково конструкція передбачає наявність механізму очищення горизонтального шнека, який зменшує втрати зерна та підвищує ефективність роботи перевантажувального обладнання [5].

Основні технічні та експлуатаційні параметри напівпричепа зернового перевантажувача типу ПБН-16 наведені в таблиці 1.1 та використовуються надалі як вихідні дані для обґрунтування технології виготовлення рами і дослідження її напружено-деформованого стану.

Таблиця 1.1 Основні характеристики ПБН-16 [5]

Повна маса, кг	16 000
Маса напівпричепа кг	4 750
Вантажопідйомність кг	11 250
Навантаження на дишло, кг	1 800
Висота напівпричепа, мм	3 390
Ширина напівпричепа, мм	2 480
Об'єм, м ³	16
Діаметр вивантажувального шнека, мм	420
Висота розвантаження, мм	4 300
Швидкість розвантаження, т/хв. - при 540 об/хв - при 1000 об/хв	3 6
Підпора дишла	гідравлічна
Агрегатується з трактором, к.с.	120
Шини	425-70 R18 500/50-22,5
Максимальна швидкість, км/год	30
Гальмівна система	пневматична

Рама напівпричепа є основним несучим елементом машини та складається з дишла, опорних елементів, двох поздовжніх лонжеронів, поперечних балок та інших допоміжних конструктивних компонентів (рис. 1.2). Саме рама сприймає основні експлуатаційні навантаження, що виникають під час транспортування та розвантаження вантажу, тому її конструкція й

технологія виготовлення мають вирішальне значення для забезпечення міцності, жорсткості та довговічності зернового перевантажувача.

Рама тракторного зернового перевантажувача являє собою зварну просторову металоконструкцію, призначену для сприйняття маси зернового бункера, транспортуючих механізмів та динамічних навантажень, що виникають під час руху агрегату й виконання процесу перевантаження зерна. Конструкція рами формується з урахуванням роботи в умовах нерівного ґрунту, змінних тягових зусиль і значних інерційних впливів, що обумовлює підвищені вимоги до її жорсткості та втомної міцності.

Основу рами утворюють два поздовжні лонжерони коробчастого перерізу, виготовлені з прямокутних сталевих труб розміром порядку $140 \times 100 \times 6 \dots 160 \times 80 \times 6$ мм, довжина яких становить близько 5,6–6,0 м. Відстань між лонжеронами приймається в межах 1,8–2,0 м, що забезпечує стійкість конструкції та створює достатню опорну площу для встановлення зернового бункера. Лонжерони з'єднані між собою системою поперечних балок, виконаних із труб перерізом близько $120 \times 60 \times 5$ мм або швелерів еквівалентної жорсткості, з кроком розташування 0,7–0,9 м. Така схема дозволяє сформувати просторово жорсткий каркас, стійкий до згину та кручення [4-5].

У центральній частині рами передбачена підсилена опорна зона для монтажу зернового бункера. Тут застосовуються додаткові підрамні елементи з труб перерізом приблизно $100 \times 50 \times 5$ мм, а також листові опорні пластини товщиною 6–8 мм, що забезпечують рівномірний розподіл навантаження від маси зерна на несучі елементи рами. Загальна довжина рами перевантажувача, залежно від місткості бункера, становить у середньому 5,8–6,2 м, ширина — 2,4–2,7 м, а висота без урахування бункера перебуває в межах 0,9–1,1 м.

У передній частині рами розміщується зчіпний пристрій, призначений для агрегування з трактором. Дишло виконується у вигляді зварного коробчастого елемента або труби квадратного перерізу приблизно $120 \times 120 \times 8$ мм і має довжину 1,2–1,4 м. Вузол зчеплення додатково підсилюється

косинками та накладками товщиною 10–12 мм, а вушка зчіпного пристрою виготовляються з листової сталі товщиною до 20–25 мм, що забезпечує надійну роботу при значних тягових і ударних навантаженнях [5].

Задня частина рами інтегрована з ходовою системою перевантажувача. У місцях встановлення осей або балансирної підвіски передбачені кронштейни товщиною 12–16 мм з локальним підсиленням рами накладками та ребрами жорсткості. Відстань між опорами осей, як правило, становить близько 0,9–1,1 м, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження на колісну базу та зменшує концентрацію напружень у зварних з'єднаннях.

Зварювання елементів рами виконується суцільними кутовими та стиковими швами товщиною 6–8 мм, з особливою увагою до вузлів концентрації напружень. Як матеріал застосовуються конструкційні низьколеговані сталі підвищеної міцності, що забезпечують необхідний запас надійності при тривалій експлуатації. Для захисту від корозії рама після виготовлення піддається очищенню, ґрунтуванню та нанесенню багатошарового лакофарбового покриття, що дозволяє використовувати перевантажувач у складних кліматичних і польових умовах.

Ходова частина напівпричепа реалізована у вигляді тандемної підвіски вантажопідйомністю до 12 т. Підвіска оснащена осями з цільнолитого квадратного профілю перерізом $\square 80$ мм, що забезпечує високу міцність та надійність роботи в умовах підвищених динамічних навантажень, характерних для польової експлуатації [5].

З'єднання напівпричепа з тяговим трактором здійснюється за допомогою дишлової петлі, розрахованої на вертикальне навантаження до 1850 кг, що гарантує надійність агрегування та стабільність руху транспортного засобу.



Рис. 1.2 – Загальний вигляд рами [5]

Для виготовлення рамних елементів машин сільськогосподарського призначення, які експлуатуються в умовах змінних механічних навантажень, підвищеної вологості та запиленості, застосовують низьколеговану конструкційну сталь марки 09Г2С. Даний матеріал широко використовується у зварних металоконструкціях транспортних і технологічних машин завдяки поєднанню достатньо високої міцності, доброї пластичності та стабільних експлуатаційних властивостей.

Сталь 09Г2С відрізняється підвищеною стійкістю до крихкого руйнування, зокрема при роботі за понижених температур, що є важливою умовою для рамних конструкцій, які зазнають циклічних і ударних навантажень у процесі польової експлуатації. Крім того, цей матеріал характеризується доброю технологічністю та високою зварюваністю, що дозволяє виготовляти просторові рами без застосування складних режимів попереднього підігріву або післязварювальної термічної обробки [6].

Хімічний склад і основні механічні характеристики сталі 09Г2С (табл. 1.2-1.3) забезпечують необхідний запас міцності та довговічності рамної конструкції зернового перевантажувача. Зазначені властивості використовуються в подальших інженерних розрахунках для обґрунтування несучої здатності та працездатності елементів рами.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 09Г2С [7]

Хімічний елемент	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
Вміст, % (не більше)	0,12	1,40– 1,70	0,50– 0,80	0,035	0,035	≤0,30	≤0,30	≤0,30

Таблиця 1.3 – Основні механічні властивості сталі 09Г2С [7]

Показник	Одиниця вимірювання	Значення
Межа текучості	МПа	≥ 345
Тимчасовий опір розриву	МПа	490–640
Відносне подовження	%	≥ 21
Ударна в'язкість (–40 °С)	Дж/см²	≥ 34
Модуль пружності	ГПа	200
Густина	кг/м³	7850

Однією з визначальних характеристик матеріалу для зварних рам є його зварюваність, яка оцінюється за величиною еквівалентного вмісту вуглецю $C_{\text{екв}}$. Цей показник узагальнює вплив вуглецю та легувальних елементів на структурні перетворення металу в зоні термічного впливу під час зварювання і дозволяє прогнозувати схильність сталі до утворення гартівних структур, холодних тріщин і підвищених залишкових напружень.

Еквівалентний вміст вуглецю визначається за відомою залежністю [6]:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{15} + \frac{V}{14} + 5B \quad (1.1)$$

де $C, Mn, Si, Ni, Cr, Mo, Cu, V, B$ — масова частка відповідних хімічних елементів у сталі, %.

Для сталі 09Г2С, з урахуванням її типового хімічного складу, отримаємо:

$$C_{\text{екв}} = 0,09 + \frac{1,6}{6} + \frac{0,6}{24} + \frac{0,3}{15} = 0,405\%$$

Отримане значення еквівалентного вмісту вуглецю не перевищує 0,45, що свідчить про високу зварюваність сталі 09Г2С. Це означає, що при

виготовленні рамної конструкції зернового перевантажувача зварні з'єднання можуть виконуватися без значного ризику утворення холодних тріщин і без формування небажаних гартівних структур у зоні термічного впливу. Таким чином, застосування сталі 09Г2С є технологічно та конструктивно обґрунтованим і забезпечує надійну та довговічну роботу рамних елементів у реальних умовах сільськогосподарської експлуатації.

З огляду на те, що рама зернового перевантажувача є просторовою несучою системою і в процесі експлуатації зазнає одночасної дії статичних і динамічних навантажень, до технології її виготовлення висуваються підвищені вимоги. Вони стосуються забезпечення геометричної точності, якості зварних швів, рівномірного розподілу напружень у вузлах з'єднань, а також гарантованої міцності й жорсткості конструкції протягом усього терміну служби.

1.2 Технічні умови виготовлення зварної рамної конструкції

Рамна конструкція та її окремі складальні елементи повинні відповідати вимогам міцності, жорсткості й експлуатаційної надійності, що забезпечують стабільну роботу виробу впродовж установленого строку служби. Конструкція рами має гарантувати необхідну стійкість під час дії експлуатаційних навантажень, зберігати геометричну незмінність і бути придатною до технічного обслуговування та ремонту, а також відповідати вимогам технологічності під час виготовлення [8-10].

На етапі проектування рамної конструкції обов'язковим є врахування технологічних аспектів її виготовлення. Геометрія елементів, їх взаємне розташування та способи з'єднання повинні забезпечувати можливість раціональної збірки, мінімізацію допоміжних операцій і зниження трудомісткості виробничого процесу.

Під час виготовлення рам доцільно прагнути до зменшення кількості зварних швів, зосереджених у межах однієї зони конструкції.

З метою забезпечення геометричної стабільності рамної конструкції та зменшення рівня залишкових напружень доцільно перед виконанням механічної обробки призначати високотемпературний відпуск. Така термічна обробка сприяє релаксації внутрішніх напружень, що виникають у процесі зварювання, і забезпечує збереження розмірної точності елементів рами під час подальших технологічних операцій.

Під час виготовлення зварної конструкції необхідно дотримуватися комплексу технологічних рекомендацій, спрямованих на підвищення міцності та довговічності з'єднань. Зокрема, зварювання кутових швів доцільно виконувати у положенні типу «в човник», що забезпечує кращий провар кореня шва та більш рівномірне формування наплавленого металу. Для зниження концентрації напружень у зонах зварювання рекомендується виконувати механічне оброблення швів із видаленням різких переходів і нерівностей.

Підвищення втомної витривалості зварних з'єднань досягається шляхом формування плавних радіусних переходів у зоні сплавлення зварного металу з основним. Для цього доцільно застосовувати локальне оплавлення ділянок переходу методом аргонодугового зварювання. Додатково ефективним заходом є дробоструминне оброблення поверхні зварних з'єднань, яке сприяє формуванню в приповерхневих шарах залишкових напружень стиску та зменшенню ймовірності зародження втомних тріщин.

Виконання зварних з'єднань повинно здійснюватися з дотриманням установлених вимог до геометрії та якості швів. Форма і розміри зварних швів мають відповідати технічним умовам, зазначеним у робочих кресленнях. Для виготовлення конструкції необхідно застосовувати основні та зварювальні матеріали з мінімальним вмістом сірки та фосфору, що знижує схильність металу до крихкого руйнування. Технологічні режими зварювання повинні забезпечувати формування дрібнозернистої структури первинної кристалізації наплавленого металу [8-10].

До складальних операцій допускаються лише деталі та заготовки, геометричні розміри яких відповідають вимогам креслень, із належною підготовкою кромок, витриманими кутами зрізу та необхідною чистотою поверхонь. Підготовка кромок і величина зазорів між елементами, що з'єднуються, мають відповідати чинним стандартам і технічним умовам.

Складання рамних елементів повинно виконуватися з використанням складальних пристосувань або спеціалізованих стендів, що забезпечують точне взаємне розташування деталей. У місцях майбутнього зварювання поверхні основного металу необхідно ретельно очищати від корозійних продуктів, мастильних матеріалів, вологи, окалин та інших забруднень, здатних спричинити виникнення дефектів зварних швів. Допустимі значення зазорів і зміщень зварювальних кромок під час складання повинні відповідати нормативній документації.

Під час напівавтоматичного зварювання у середовищі вуглекислого газу прихвачування дозволяється виконувати лише в місцях і послідовності, передбачених технологічним процесом. Переріз прихвачувань повинен становити від 0,35 до 0,75 перерізу основного зварного шва, а їх довжина не має перевищувати 25 мм. Перед виконанням основного зварювання прихвачування необхідно очищати від шлаку; наявність у них тріщин або шлакових включень не допускається [8-10].

У процесі виготовлення виробу дефекти зварних з'єднань не повинні перевищувати граничних значень, установлених відповідними стандартами. За наявності допустимих без виправлення дефектів їх сумарна довжина не повинна перевищувати 15 % загальної довжини шва. Усунення дефектів у межах одного зварного з'єднання дозволяється виконувати не більше двох разів в одному й тому самому місці, що забезпечує збереження експлуатаційних властивостей рамної конструкції.

1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу

Вузли зварної рамної конструкції виготовляють із заготовок, отриманих із листового прокату та гнутих металевих профілів. Технологічний процес формування заготовок із листової сталі є багатостадійним і включає комплекс послідовних операцій, до яких належать виправлення, нанесення розмірної розмітки, розкрій матеріалу та подальше формоутворення шляхом гнуття.

Вирівнювання листового прокату здійснюється у холодному стані з використанням листопрямильних валкових машин, що дозволяє усунути залишкові деформації після прокатування та забезпечити необхідну площинність заготовок. Розмічування контурів деталей на листах виконують, як правило, на спеціалізованих розмічувальних столах або стендах із застосуванням шаблонів і контрольно-вимірювального інструменту, що забезпечує необхідну точність геометричних параметрів.

Для деталей значних габаритів операцію розмічування, як правило, не виконують. У таких випадках різання здійснюють механізованим способом по жорстко заданому упору на гільйотинних ножицях, що підвищує продуктивність процесу та зменшує похибки. Заготовки малих розмірів, а також елементи складної конфігурації отримують методом вирубкування в штампах. Формування просторової конфігурації деталей здійснюється шляхом холодного гнуття на спеціалізованих листозгинальних пресах.

Для з'єднання елементів рами між собою застосовується електродугове напівавтоматичне зварювання плавким електродом у середовищі захисного газу. Як захисне середовище використовується вуглекислий газ, який забезпечує стабільність дугового процесу та достатню якість формування зварного шва за відносно низької собівартості зварювання.

Зварювання рами та її окремих вузлів виконується з використанням напівавтоматичного зварювального апарата типу ПДГ-502. Зварювальний інструмент апарата складається з пальника, до якого під'єднано гнучкий шланг, а також контактний мундштука, призначеного для підведення зварювального струму до електродного дроту. Механізм подачі дроту

розміщується окремо, безпосередньо поблизу робочого місця зварювальника, і забезпечує безперервне проштовхування електродного дроту через гнучкий канал довжиною близько 3–4 м до зони зварювання [8].

Система керування та контролю режимів зварювання розміщена в окремій шафі керування, що дозволяє оперативно змінювати параметри процесу відповідно до технологічних вимог. Гнучкий шланг виконує одночасно кілька функцій: слугує напрямним каналом для електродного дроту, містить кабелі керування та забезпечує підведення зварювального струму до мундштука пальника. Така компоновка обладнання сприяє зручності роботи зварювальника та стабільності технологічного процесу виготовлення рамної конструкції.

Напівавтоматичне зварювання у досліджуваному технологічному процесі виконується з використанням уніфікованого зварювального пальника, який за допомогою швидкороз'ємних з'єднань під'єднується до механізму подачі електродного дроту через гнучкий шланг довжиною близько 3 м. Конструктивні елементи пальника, зокрема контактні наконечники, ізоляційні втулки, корпусні деталі та клемні з'єднання, є взаємозамінними, що суттєво спрощує експлуатацію обладнання та дає змогу оперативно адаптувати зварювальний інструмент до конкретних виробничих умов.

Контроль якості зварних з'єднань у діючому технологічному процесі здійснюється поетапно. Найбільш простим, економічно доцільним і оперативним способом є візуально-оптичний контроль, за допомогою якого оцінюють правильність підготовки та складання заготовок під зварювання, дотримання технологічних режимів у процесі виконання швів, а також зовнішній стан готових зварних з'єднань. Лише після усунення виявлених поверхневих дефектів зварні шви піддаються неруйнівному контролю методом ультразвукової дефектоскопії, що дозволяє виявити внутрішні дефекти металу. При цьому якість зварних з'єднань сільськогосподарських машин повинна відповідати вимогам чинних державних стандартів (ДСТУ).

Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення виробу дозволив виявити низку суттєвих недоліків. Зокрема, у складально-зварювальних пристосуваннях застосовуються переважно механічні затискні елементи, які потребують безпосереднього ручного керування з боку робітника. Це призводить до збільшення тривалості складальних операцій і, відповідно, зростання трудомісткості виготовлення виробу. Крім того, фіксатори та рухомі упори в таких пристосуваннях відводяться вручну, що додатково підвищує часові витрати на виконання технологічного процесу [8].

З урахуванням виявлених недоліків формується завдання на подальше проєктування та вдосконалення технологічного процесу виготовлення зварної конструкції. Основними напрямками такого вдосконалення є вибір раціонального матеріалу зварного виробу, обґрунтування способу зварювання, який забезпечить високу якість швів, підбір зварювальних матеріалів з необхідними технологічними та експлуатаційними властивостями, розрахунок і оптимізація режимів зварювання, а також вибір сучасного зварювального обладнання, що відповідає вимогам розробленого процесу. Окрему увагу доцільно приділити заміні малопродуктивних елементів механічного оснащення на більш ефективні та автоматизовані, що сприятиме зниженню трудомісткості та підвищенню загальної продуктивності виготовлення виробу.

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Забезпечення міцності, жорсткості та експлуатаційної надійності несучих елементів є однією з ключових задач сучасного машинобудування. Особливої уваги потребують просторові зварні рамні конструкції, які широко застосовуються у транспортних засобах, технологічному обладнанні та спеціальній техніці. Такі конструкції працюють у складних умовах навантаження та характеризуються наявністю значної кількості вузлів, зварних з'єднань і просторових переходів, що призводить до нерівномірного розподілу внутрішніх напружень [11-14].

Аналітичні методи розрахунку в більшості випадків не дозволяють достовірно оцінити напружено-деформівний стан подібних конструкцій через складність геометрії та навантажувальних схем. У зв'язку з цим доцільним є застосування чисельних методів, зокрема методу скінченних елементів (МСЕ), який забезпечує високу точність і наочність результатів.

Його суть полягає в апроксимації суцільного тіла сукупністю елементарних об'ємів, у межах яких шукані поля напружень і переміщень описуються простими функціями.

Застосування МСЕ дозволяє:

- враховувати складну просторову геометрію рами;
- моделювати реальні граничні умови та контактні взаємодії;
- отримувати детальний розподіл напружень, деформацій і переміщень;
- визначати зони концентрації напружень, які неможливо виявити спрощеними методами.

Програмний комплекс SolidWorks Simulation реалізує сучасні алгоритми МСЕ та інтегрований із CAD-моделлю, що забезпечує узгодженість геометрії, матеріальних властивостей і розрахункових параметрів.

Об'єктом дослідження є просторова рама, геометрична модель якої створена у середовищі SolidWorks (рис. 2.1). Конструкція розглядається як

єдине тверде тіло без урахування технологічних зазорів між елементами, що відповідає умовам зварного з'єднання труб.

Маса розрахункової моделі становить 222,6 кг, а об'єм — 0,0285 м. Під час підготовки моделі було застосовано принцип геометричної ідеалізації, відповідно до якого дрібні елементи, що не впливають істотно на глобальний напружено-деформівний стан, були усунені.

Такий підхід дозволив зменшити кількість скінченних елементів і, відповідно, час розрахунку без зниження точності результатів у критичних зонах.

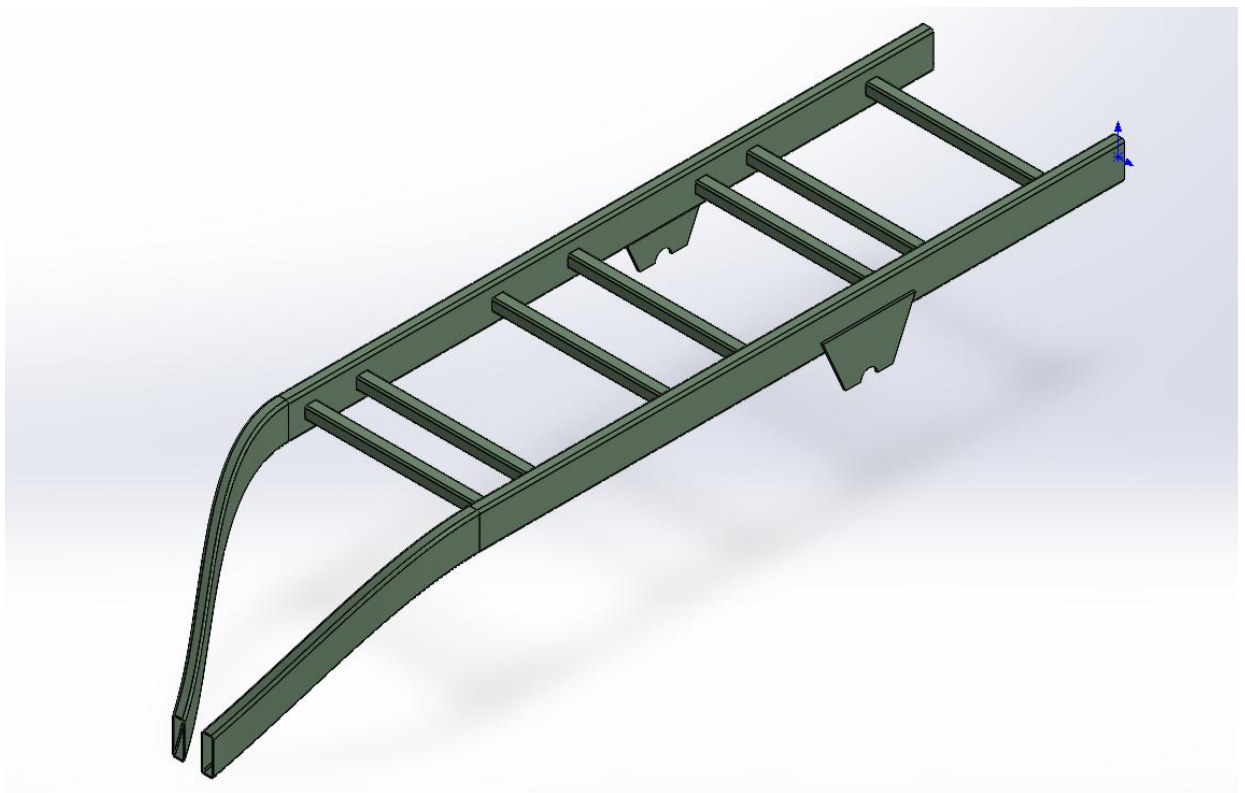


Рисунок 2.1 – 3D модель рами

Матеріал рами — конструкційна сталь 09Г2С, яка характеризується підвищеною міцністю та добрими зварювальними властивостями. У чисельній моделі матеріал прийнято як:

- однорідний;
- ізотропний;
- лінійно-пружний.

Такі припущення є обґрунтованими для статичного аналізу в межах експлуатаційних навантажень, коли напруження не перевищують границю текучості матеріалу.

Фізико-механічні характеристики сталі задані відповідно до довідкових та нормативних даних і використовуються програмним комплексом для формування матриць жорсткості елементів.

Коректність результатів чисельного аналізу напружено-деформівного стану значною мірою визначається правильністю задання граничних умов і навантажень. У даному дослідженні граничні умови сформовано з урахуванням реальних умов роботи рами у складі конструкції виробу.

Фіксація рами реалізована шляхом задання жорстких закріплень на опорних поверхнях, що відповідають зонам контакту з іншими елементами конструкції. У цих ділянках були обмежені всі ступені свободи, що виключає можливість як поступальних, так і обертальних переміщень відповідних вузлів. Додатково на окремих плоских гранях задано часткові обмеження переміщень, які дозволяють відтворити реальну кінематичну схему взаємодії елементів.

Силове навантаження прикладене у вигляді нормальних зосереджених сил, величина яких становить 115 кН та 18,6 кН. Напрямок дії навантажень обраний відповідно до очікуваних експлуатаційних впливів, що дозволяє моделювати найбільш несприятливі режими роботи конструкції.

Перевірка рівноваги системи виконувалась шляхом аналізу реакцій опор. Отримані значення сумарних реакцій підтвердили коректність прикладення навантажень і відсутність чисельних похибок у постановці задачі.

Для чисельного аналізу напружено-деформівного стану рами використано твердотільну скінченно-елементну модель, побудовану на основі тетраедральних елементів (рис. 2.2). Генерація сітки виконувалась із застосуванням криволінійної адаптації, що дозволяє коректно апроксимувати складні геометричні поверхні труб і зварних вузлів.

Загальна кількість вузлів моделі перевищує 250 тис., а кількість скінченних елементів становить понад 127 тис., що забезпечує достатню деталізацію розрахункової області. Особливу увагу приділено зонам можливого виникнення концентрацій напружень, де було реалізовано локальне згущення сітки.

Оцінка якості сітки показала, що більшість елементів має допустимі значення аспектного співвідношення, а відсоток елементів із підвищеним аспектним відношенням є незначним і не впливає істотно на результати розрахунку. Відсутність спотворених елементів свідчить про високу якість дискретизації та стабільність чисельного розв'язку.

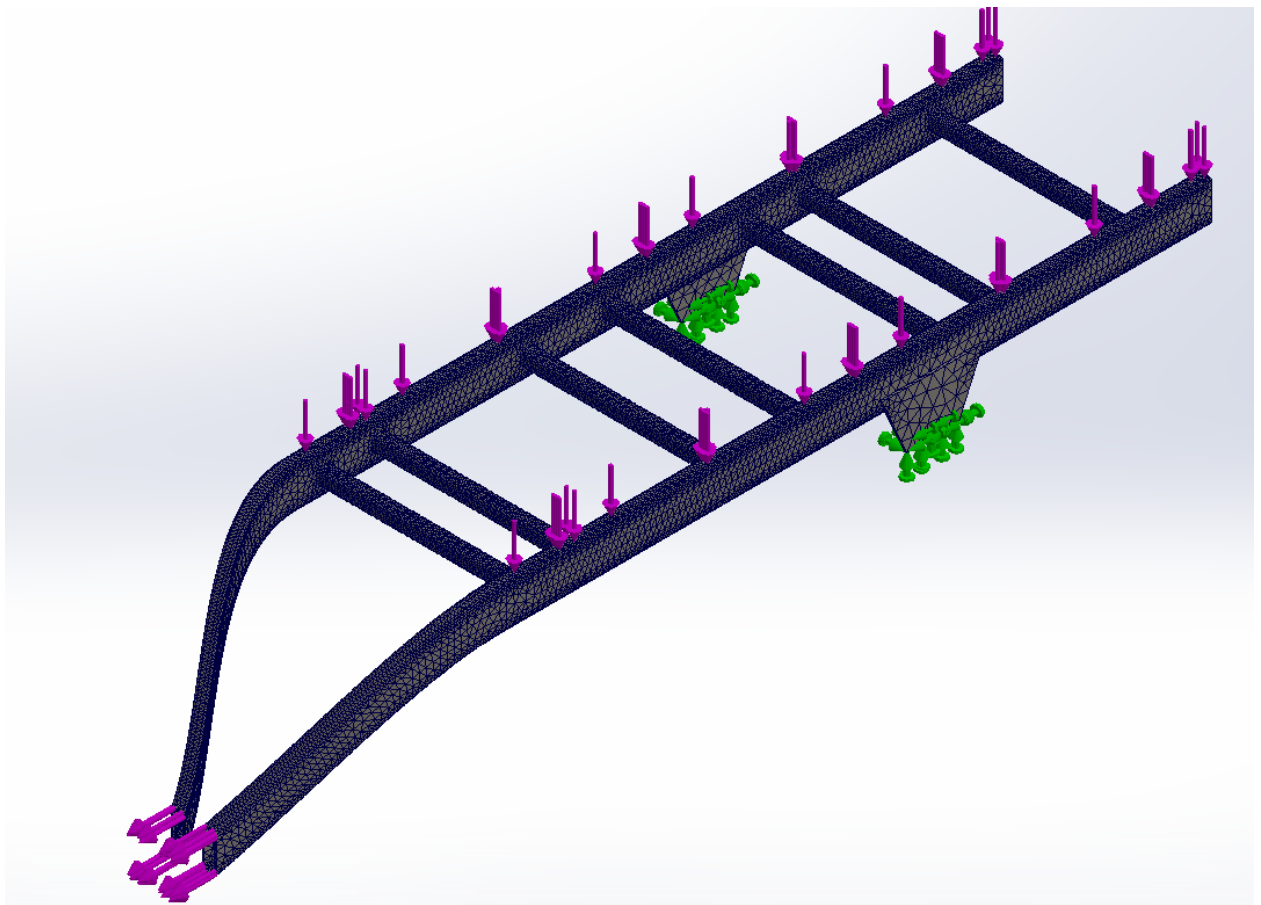


Рис. 2.2 - Твердотільна скінченно-елементна модель рами

У результаті виконаного статичного розрахунку отримано детальне поле розподілу еквівалентних напружень за критерієм Мізеса. Аналіз результатів показав, що максимальні напруження зосереджуються в характерних для рамних конструкцій зонах, а саме:

- у місцях стику труб різного діаметра;
- у ділянках прикладання зовнішніх навантажень;
- поблизу жорстко закріплених опор.

Максимальне значення еквівалентних напружень становить близько 266 МПа, що є меншим за границю текучості сталі 09Г2С. Це свідчить про роботу матеріалу в межах пружної області та відсутність передумов для розвитку пластичних деформацій за заданих умов навантаження.

Розподіл напружень має плавний характер без різких локальних піків, що підтверджує раціональність конструктивних рішень та рівномірний перерозподіл внутрішніх зусиль між елементами рами.

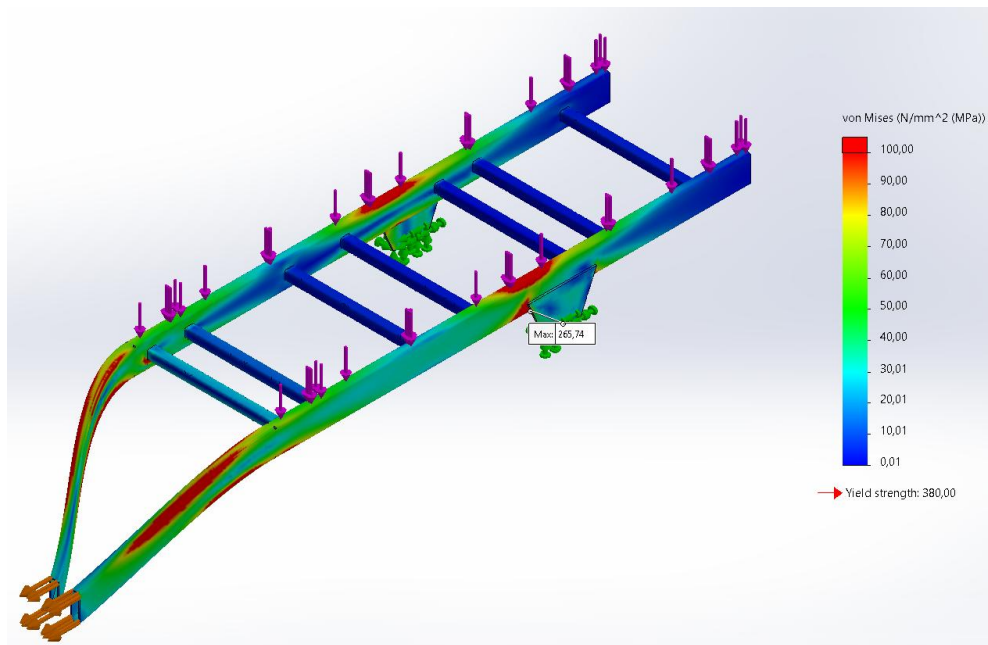


Рис. 2.3 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у рамі

Оцінка жорсткості рами виконувалась на основі аналізу сумарних переміщень та еквівалентних деформацій. Отримані результати свідчать, що максимальні переміщення досягають 6,38 мм і локалізуються у ділянках, найбільш віддалених від зон закріплення.

Характер поля переміщень є поступовим, без різких градієнтів, що вказує на достатню загальну жорсткість конструкції. Така поведінка рами є

бажаною з точки зору експлуатаційної надійності, оскільки виключає можливість локальних перевантажень і деформацій.

Еквівалентні деформації змінюються в межах від мінімальних значень до $9,37 \cdot 10^{-4}$, що істотно менше граничних деформацій для сталі даного класу. Це підтверджує відсутність небезпечних зон, у яких можливе накопичення пластичних пошкоджень.

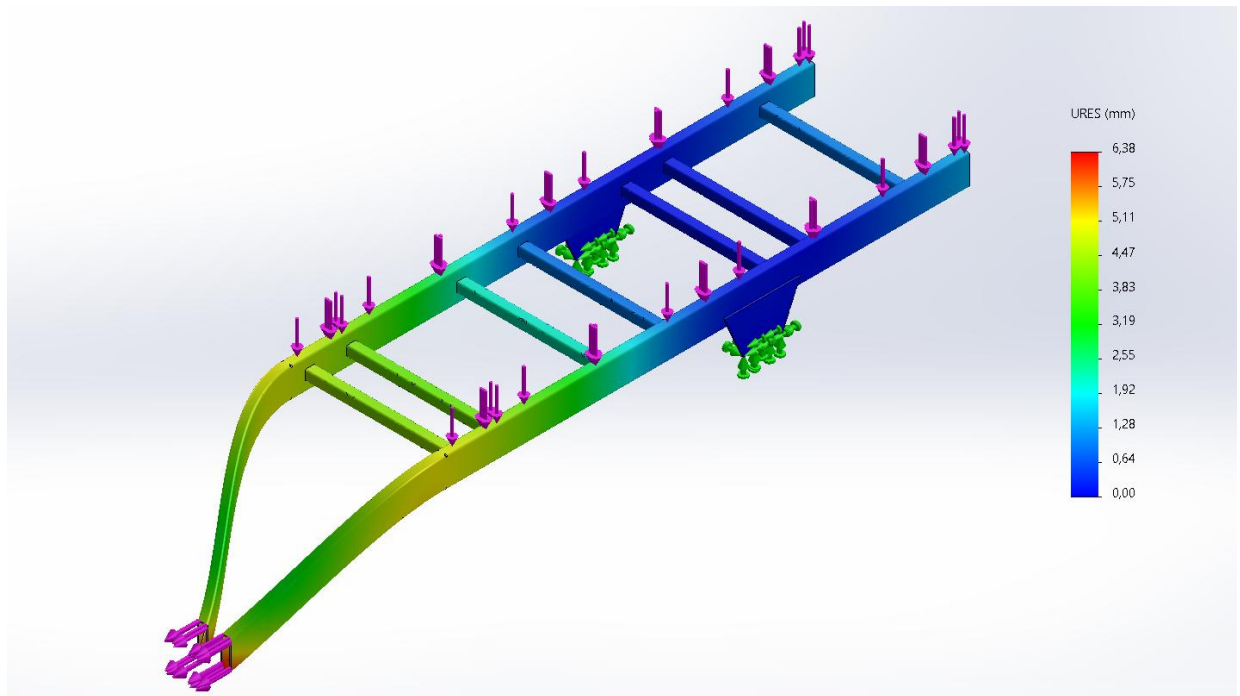


Рис. 2.3 – Поле сумарних переміщень рами

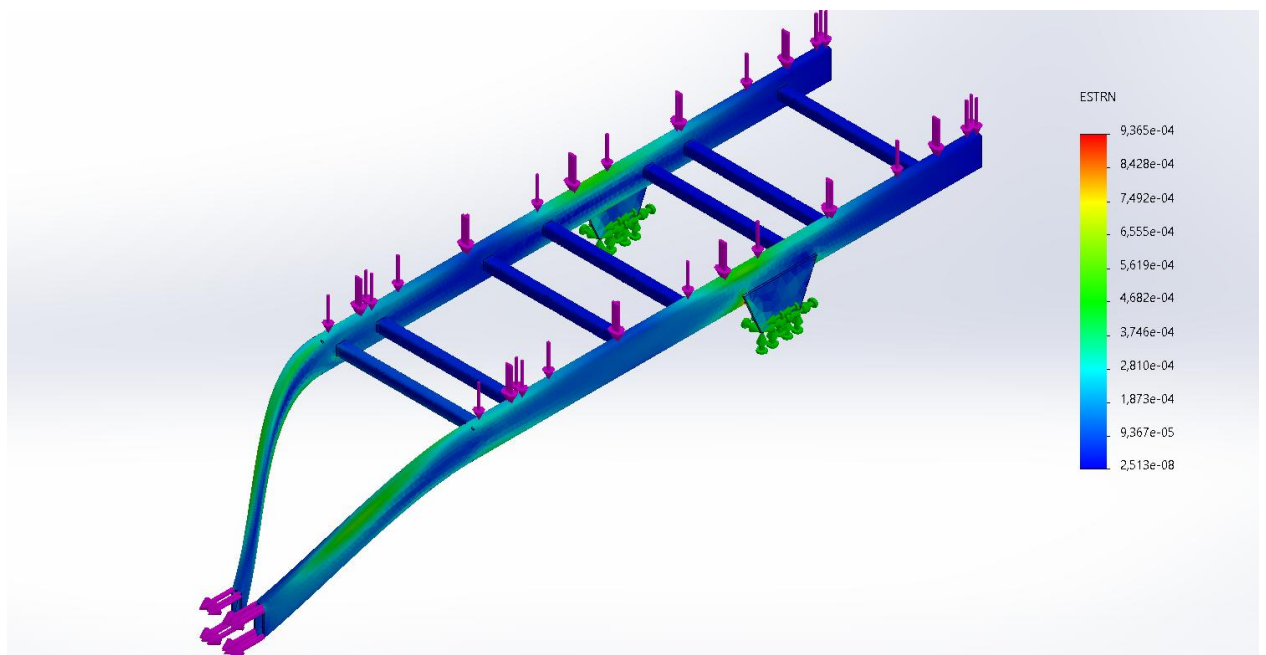


Рис. 2.4 – Розподіл еквівалентних деформацій

Для кількісної оцінки надійності рами у розрахунковій моделі було визначено коефіцієнт запасу міцності, розрахований за співвідношенням між границею текучості матеріалу та фактичними еквівалентними напруженнями, отриманими в результаті чисельного аналізу.

У конструкціях зернових перевантажувачів, що експлуатуються на ґрунтових покриттях, розрахункові навантаження мають суттєву динамічну складову (ударні впливи від нерівностей, крутіння рами при маневруванні та нерівномірному завантаженні бункера). З огляду на це приймають коефіцієнт запасу $n = 2,0 \dots 2,5$ за критерієм текучості, що забезпечує зниження ризику пластичних деформацій у зонах концентраторів напружень і підвищує надійність при циклічній експлуатації.

Аналіз карти запасу міцності показав, що мінімальне значення коефіцієнта становить 2,2. Отримане значення перевищує мінімально допустимий рівень для зварних металоконструкцій.

Суттєво вищі значення коефіцієнта запасу спостерігаються у менш навантажених ділянках рами, що свідчить про нерівномірний розподіл використання міцності матеріалу по об'єму конструкції. З інженерної точки зору це вказує на наявність резервів для подальшої оптимізації маси або геометрії окремих елементів без зниження загального рівня надійності.

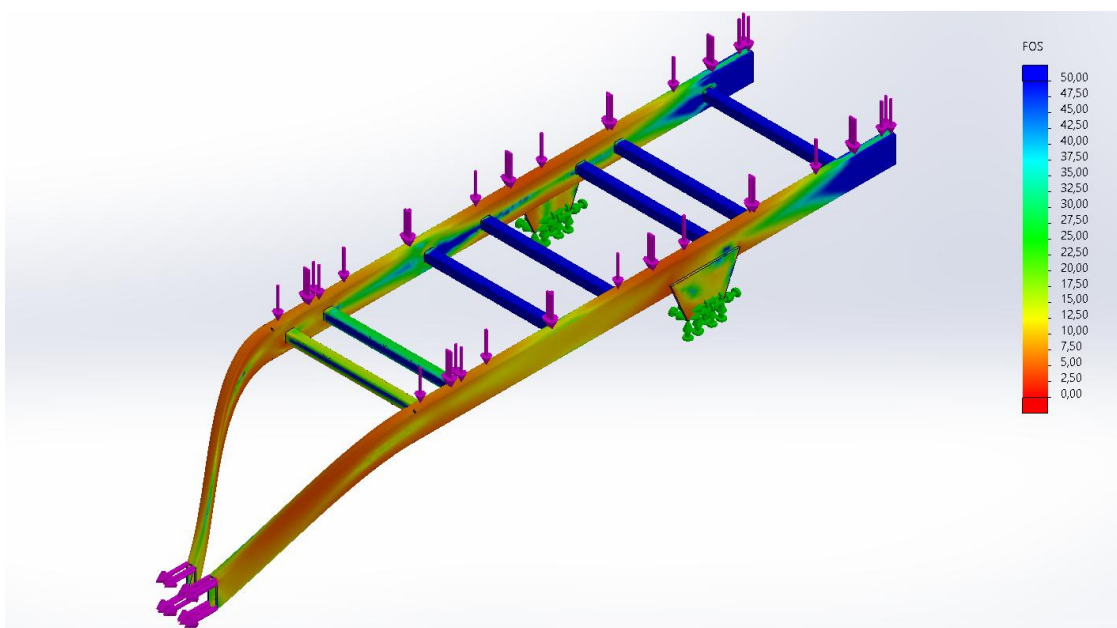


Рис. 2.5 – Розподіл коефіцієнта запасу міцності рами

Отримані результати чисельного аналізу дозволяють зробити низку важливих інженерних висновків щодо роботи рами під дією експлуатаційних навантажень. По-перше, характер розподілу напружень свідчить про те, що основні силові потоки проходять через несучі елементи рами без утворення небезпечних локальних перевантажень.

По-друге, відсутність різких градієнтів напружень і деформацій у більшості елементів конструкції підтверджує коректність прийнятої геометрії та раціональність зварних вузлів. Це особливо важливо для рамних конструкцій, оскільки саме в зонах зварювання найчастіше виникають передумови для розвитку втомних пошкоджень.

По-третє, рівень переміщень конструкції не перевищує допустимі значення і не призводить до порушення геометричної стабільності або функціонального призначення виробу. Таким чином, рама забезпечує необхідну жорсткість за заданих умов навантаження.

Загалом результати дослідження підтверджують, що конструкція працює в межах пружної області матеріалу, а запас міцності є достатнім для забезпечення надійної та безпечної експлуатації.

На основі отриманих результатів можна окреслити основні напрями подальшого вдосконалення рами. Зокрема, доцільним є:

- локальне зменшення товщини або діаметра труб у зонах із надлишковим запасом міцності;
- удосконалення геометрії вузлів стику труб з метою зниження концентрації напружень;
- застосування альтернативних схем зварювання або додаткових підсилювальних елементів у критичних зонах;
- проведення додаткових розрахунків на втому та динамічні навантаження для комплексної оцінки ресурсу конструкції.

Зазначені заходи можуть бути реалізовані на наступних етапах проєктування та дозволять підвищити ефективність конструкції без погіршення її експлуатаційних характеристик.

У результаті проведеного чисельного дослідження напружено-деформівного стану рами з використанням методу скінченних елементів у середовищі SolidWorks Simulation встановлено таке:

1. Побудована скінченно-елементна модель адекватно відтворює геометрію, матеріальні властивості та умови навантаження рами.
2. Максимальні еквівалентні напруження за критерієм Мізеса не перевищують границю текучості сталі S460N, що свідчить про роботу конструкції в межах пружної області.
3. Рівень сумарних переміщень знаходиться в допустимих експлуатаційних межах і не призводить до втрати жорсткості або функціональності конструкції.
4. Мінімальний коефіцієнт запасу міцності підтверджує надійність та безпечність рами за заданих умов навантаження.
5. Отримані результати можуть бути використані як обґрунтування прийнятих конструктивних рішень та основа для подальшої оптимізації або розширених розрахунків.

Таким чином, рама відповідає вимогам міцності та жорсткості і може бути рекомендована до експлуатації за заданих умов навантаження.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування вибору способу зварювання

Під час виготовлення зварної рамної конструкції причепа зернового перевантажувача основну частину становлять зварні шви відносно невеликої протяжності, довжина яких, як правило, не перевищує 300 мм. З урахуванням геометрії елементів рами та характеру їх з'єднання технологічно можливим є застосування як ручного дугового зварювання, так і напівавтоматичного зварювання плавким електродом.

У разі використання ручного дугового зварювання процес виконується покритими електродами, що забезпечують необхідний рівень міцності зварного з'єднання. Для конструкцій загального призначення доцільним є застосування електродів рутилового типу, які характеризуються стабільним горінням дуги та відносною простотою використання. Для більш навантажених і відповідальних елементів рамних конструкцій використовують електроди з основним або комбінованим покриттям, що дозволяє отримати зварні шви з підвищеними механічними властивостями. Разом із тим, суттєвим недоліком ручного дугового зварювання є низька продуктивність і значна залежність якості шва від кваліфікації зварювальника. З огляду на це даний спосіб доцільно застосовувати переважно в умовах одиничного виробництва, а також під час виконання монтажних і ремонтних робіт [15-16].

Найбільш раціональним та технологічно ефективним способом з'єднання елементів рамних конструкцій є зварювання в середовищі захисних газів, що забезпечує стабільність процесу та високу якість формування шва. Як захисне середовище найчастіше використовують вуглекислий газ або газові суміші на основі аргону з додаванням CO_2 , що дозволяє оптимізувати процес перенесення металу та зменшити розбризкування. Зварювання в захисних газах характеризується підвищеною продуктивністю, можливістю механізації

процесу та виконанням швів у всіх просторових положеннях, що є особливо важливим при виготовленні складних просторових рамних конструкцій.

З урахуванням вимог до якості, продуктивності та стабільності технологічного процесу, а також умов серійного виготовлення рам зернових перевантажувачів, доцільним є застосування напівавтоматичного зварювання в захисному газовому середовищі як основного способу з'єднання елементів конструкції [15].

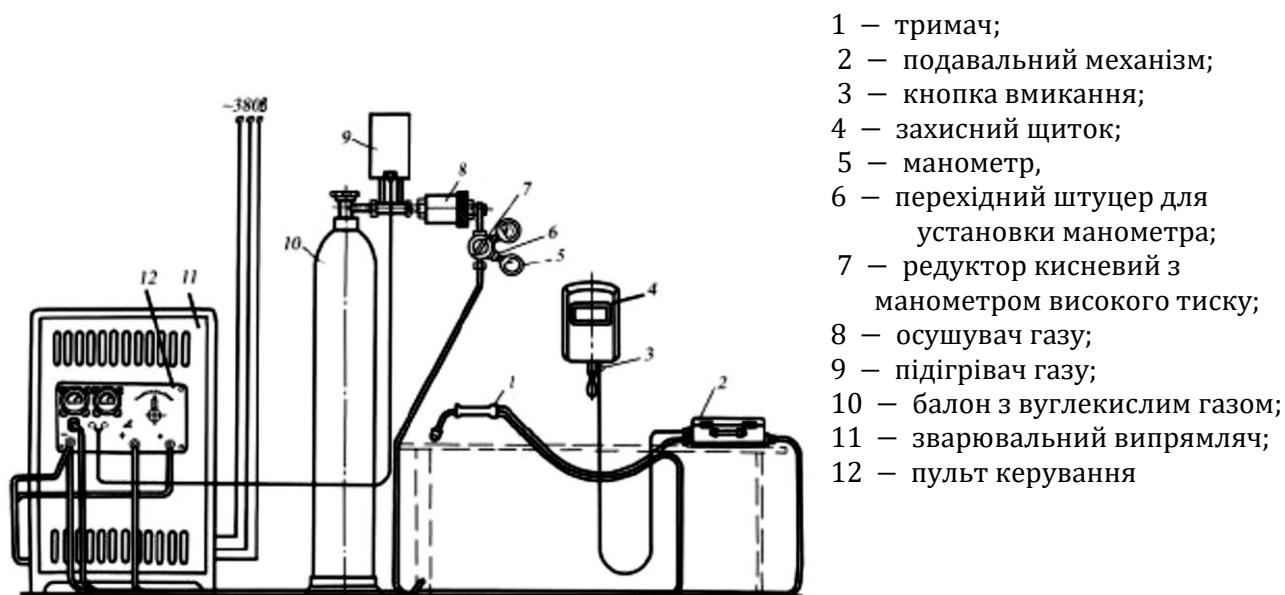


Рис.3.1– Вигляд зварювального поста

Під час зварювання якісних конструкційних сталей у середовищі захисних газів доцільно застосовувати електродні дроти кремній-марганцевої групи, які забезпечують стабільність процесу та формування зварних з'єднань з необхідними експлуатаційними властивостями. Найбільш поширеними в цьому випадку є дроти марок Св-08Г2С та Св-08ГС, хімічний склад яких наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Хімічний склад дроту [17]

Хімічний елемент	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
Вміст, %	≤ 0,10	1,40–1,90	0,60–0,90	≤ 0,025	≤ 0,030	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30

Таблиця 3.2 – Механічні властивості металу зварного шва, отриманого дротом 08Г2С [17]

Показник	Одиниця вимірювання	Значення
Межа текучості	МПа	≥ 420
Тимчасовий опір розриву	МПа	500–640
Відносне подовження	%	≥ 22
Ударна в'язкість ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Дж/см ²	≥ 27
Твердість металу шва	–	170–220

З огляду на підвищену відповідальність рамної конструкції та жорсткі вимоги до якості зварних з'єднань, у даному технологічному процесі доцільно застосувати газове середовище на основі аргону з додаванням вуглекислого газу у співвідношенні $\text{Ar}(75\%) + \text{CO}_2(25\%)$. Використання такої газової суміші забезпечує стабільне горіння дуги, покращує формування шва та сприяє зниженню інтенсивності розбризкування металу. Аргон передбачається застосовувати першого ґатунку, а вуглекислий газ — першого сорту [17].

Для призначення режимів зварювання доцільно спочатку визначити площу поперечного перерізу кутового шва, оскільки саме вона задає об'єм наплавленого металу й безпосередньо впливає на продуктивність процесу.

Для обґрунтування режимів напівавтоматичного зварювання рамної конструкції зернового перевантажувача зі сталі 09Г2С при товщині лонжеронів 6 мм розрахунок доцільно виконувати, починаючи з геометричних параметрів кутового зварного шва (рис. 3.2).

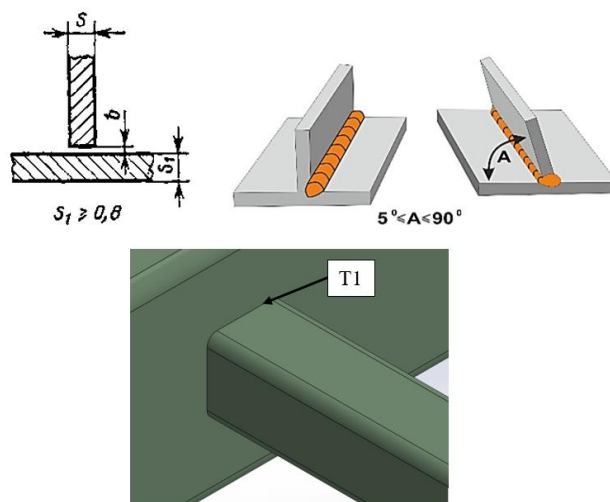


Рис. 3.2 – Зварне з'єднання елементів рами

Саме геометрія шва визначає об'єм наплавленого металу та слугує вихідною основою для подальшого вибору сили струму, напруги дуги та швидкості зварювання [18].

Площа поперечного перерізу кутового зварного шва без урахування випуклості визначається з геометричних співвідношень для прямокутного трикутника і залежить від величини катета шва:

$$F_{\text{н}} = \frac{k^2}{2}, \quad (3.1)$$

де k — катет зварного шва, мм.

Для прийнятого катета $k = 4$ мм отримаємо:

$$F_{\text{н}} = \frac{4^2}{2} = 8 \text{ мм}^2$$

Отримане значення характеризує кількість металу, яка повинна бути наплавлена на одиницю довжини шва, і надалі використовується при визначенні продуктивності процесу.

Висота наплавленого валика зварного шва визначається з урахуванням геометрії кутового з'єднання та прийнятого катета:

$$h_{\text{н}} = 0,707 k, \quad (3.2)$$

$$h_{\text{н}} = 0,707 \cdot 4 = 2,83 \text{ мм.}$$

Ця величина характеризує частку наплавленого металу, що формує зовнішній профіль шва.

Ширина зварного шва є важливим параметром, який впливає на розподіл напружень у зоні з'єднання та жорсткість конструкції. Вона визначається за співвідношенням:

$$l = \sqrt{2k^2}, \quad (3.3)$$

$$l = \sqrt{2 \cdot 4^2} = 5,66 \text{ мм.}$$

Для оцінки глибини проплавлення основного металу визначається загальна висота зварного шва, яка включає як наплавлений метал, так і зону

проплавлення. З урахуванням коефіцієнта форми проплавлення $\psi_{\text{пр}}$ загальна висота шва визначається як:

$$l = \psi_{\text{пр}} \cdot H, \quad (3.4)$$

звідки

$$H = \frac{l}{\psi_{\text{пр}}} = \frac{5,66}{0,8} = 7,07 \text{ мм.}$$

Глибина проплавлення основного металу знаходиться як різниця між загальною висотою шва та висотою наплавленого валика:

$$h_p = H - h_{\text{н}}, \quad (3.5)$$

$$h_p = 7,07 - 2,83 = 4,24 \text{ мм.}$$

Отримане значення глибини проплавлення використовується для визначення сили зварювального струму, оскільки саме струм визначає інтенсивність теплового впливу дуги та забезпечення необхідної суцільності з'єднання.

Сила зварювального струму визначається за залежністю:

$$I_{\text{зв}} = \frac{h_p}{R_{\text{п}}} \cdot 100, \quad (3.6)$$

де $R_{\text{п}}$ — розрахунковий коефіцієнт, що враховує умови зварювання. При $R_{\text{п}} = 1,75$:

$$I_{\text{зв}} = \frac{4,24}{1,75} \cdot 100 = 242,3 \approx 240 \text{ А.}$$

Після визначення струму здійснюється підбір діаметра електродного дроту, який має забезпечувати стабільне горіння дуги та необхідну продуктивність процесу. Розрахунковий діаметр дроту:

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_{\text{зв}}}{j}}, \quad (3.7)$$

де j — допустима густина струму. За $j = 130 \text{ А/мм}^2$

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{240}{130}} = 1,54 \text{ мм.}$$

З урахуванням стандартного ряду діаметрів електродного дроту приймаємо $d_e = 1,6\text{мм}$.

Напруга зварювальної дуги визначається як параметр, що впливає на довжину дуги, ширину ванни та характер формування шва:

$$U_{зв} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \cdot I_{зв} \pm 1, \quad (3.8)$$

$$U_{зв} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,6}} \cdot 240 \pm 1 \approx 29 \text{ В.}$$

Швидкість подачі електродного дроту визначається з умови забезпечення необхідного об'єму наплавленого металу:

$$V_{п.д.} = \frac{4\alpha_n I_{зв}}{\pi d_e^2 \gamma}, \quad (3.9)$$

де α_n — коефіцієнт плавлення дроту, γ — густина металу.

Підставляючи числові значення:

$$V_{п.д.} \approx 184 \text{ м/год.}$$

Завершальним етапом є визначення швидкості зварювання, яка характеризує продуктивність процесу та повинна бути узгоджена з прийнятим струмом:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{зв}}, \quad (3.10)$$

$$V_{зв} = \frac{6 \cdot 10^3}{240} \approx 25 \text{ м/год.}$$

Аналогічним чином за наведеною методикою виконуються розрахунки для кутових швів із катетом 5 мм, що застосовуються у вузлах підвищеної відповідальності рамної конструкції. Отримані геометричні та режимні параметри зварювання узагальнюються у зведеній таблиці та використовуються при практичній реалізації технологічного процесу виготовлення рами зернового перевантажувача.

$$F_H = \frac{5^2}{2} = 12,5 \text{ мм}^2$$

$$h_H = 0,707 \cdot 5 = 3,54 \text{ мм}$$

$$l = \sqrt{2 \cdot 5^2} = 7,07 \text{ мм}$$

$$H = \frac{l}{0,8} = \frac{7,07}{0,8} = 8,84 \text{ мм}$$

$$h_p = 8,84 - 3,54 = 5,30 \text{ мм}$$

$$I_{зв} = \frac{5,30}{1,75} \cdot 100 = 302,9 \approx 300 \text{ А}$$

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{300}{130}} = 1,70 \text{ мм} \Rightarrow \text{приймаємо } d_e = 1,6 \text{ мм}$$

$$U_{зв} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,6}} \cdot 300 \pm 1 = 31,9 \pm 1 \approx 32 \text{ В}$$

$$V_{п.д.} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{3,14 \cdot (1,6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7800} \approx 230 \text{ м/год}$$

$$V_{зв} = \frac{6 \cdot 10^3}{300} = 20 \text{ м/год}$$

Таблиця 3.3 – Розраховані параметри МАG-зварювання кутових швів рами (09Г2С, $t = 6$ мм, дріт 08Г2С $d_e = 1,2$ мм)

Параметр	Позначення	Од.	k = 4 мм	k = 5 мм
Площа перерізу шва	F_H	мм ²	8,0	12,5
Висота наплавленого валика	h_H	мм	2,83	3,54
Ширина шва	l	мм	5,66	7,07
Загальна висота шва	H	мм	7,07	8,84
Висота проплавлення	h_p	мм	4,24	5,30
Зварювальний струм	$I_{зв}$	А	240	300
Діаметр дроту (прийнято)	d_e	мм	1,6	1,6
Напруга	$U_{зв}$	В	29	32
Подача дроту	$V_{п.д.}$	м/ГОД	184	230
Швидкість зварювання	$V_{зв}$	м/ГОД	25	20
Витрата газу	Q	л/хв	10–20	10–20

Під час виконання дротом діаметром 1,6–2,0 мм витрата захисного газу, як правило, встановлюється в межах 10–20 л/хв, що забезпечує надійний захист зварювальної ванни від впливу атмосферного повітря та стабільність процесу формування шва. Зазначений діапазон витрат дозволяє досягти

оптимального співвідношення між якістю зварного з'єднання та економічною доцільністю використання газової суміші.

Для отримання зварних з'єднань із високими показниками якості вирішальне значення має раціональний вибір зварювального обладнання. Комплекс технічних засобів, що застосовується у зварювальному процесі, повинен забезпечувати підведення зварювального струму необхідних параметрів, рівномірне подавання електродного дроту у зварювальну ванну зі швидкістю, узгодженою з інтенсивністю його плавлення, а також надійний захист зони зварювання від негативного впливу атмосферного повітря. Окрім цього, обладнання має гарантувати стабільність перебігу дугового процесу, впевнене запалювання дуги, якісне заварювання кратера наприкінці шва та відзначатися надійністю і зручністю в експлуатації.

На сучасному етапі розвитку зварювального виробництва все більшого поширення набувають принципи уніфікації та агрегатування електрозварювального устаткування. Їх застосування дозволяє досягти значного економічного ефекту на всіх стадіях життєвого циклу обладнання — від проєктування і виготовлення до експлуатації та ремонту, а також спрощує технічне обслуговування і підвищує взаємозамінність елементів [19-20].

Для реалізації обраного способу зварювання доцільно використовувати зварювальні напівавтомати у поєднанні з відповідними джерелами живлення. Напівавтоматичні установки для дугового зварювання характеризуються високими експлуатаційними показниками та забезпечують саморегулювання довжини зварювальної дуги, автоматично компенсуючи коливання дугового проміжку. Швидкість подавання електродного дроту в таких апаратах встановлюється відповідно до заданого режиму зварювання і підтримується сталою протягом усього процесу формування шва, що позитивно впливає на його якість і однорідність.

З метою підвищення якості формування зварних з'єднань, забезпечення відтворюваності результатів та стабільності технологічного процесу при виготовленні коромисла екскаватора доцільним є застосування

автоматизованих роботизованих комплексів дугового зварювання. Використання таких систем дає змогу істотно зменшити вплив суб'єктивного людського чинника на параметри процесу, одночасно забезпечуючи відповідність зварних з'єднань сучасним вимогам щодо міцності, герметичності та довговічності конструкцій, які експлуатуються в умовах дії змінних і ударних навантажень [21–22].

У складі автоматизованого зварювального комплексу для виконання відповідальних операцій запропоновано застосування шестивісного промислового зварювального робота QRH 410 (рис. 3.3), розробленого компанією CLOOS (Німеччина). Дана модель спеціалізується на високоточному виконанні зварювальних робіт при виготовленні великогабаритних металоконструкцій, зокрема несучих елементів землерийної та будівельної техніки.



Рис. 3.3 – Робот QRH 410 [21]

Робот QRH 410 належить до класу шестивісних маніпуляторів і характеризується підвищеною кінематичною гнучкістю та високою точністю

позиціонування робочого органа. Це забезпечує можливість реалізації складних просторових траєкторій зварювання з дотриманням заданих геометричних параметрів швів. Повна автоматизація процесу сприяє отриманню стабільної якості зварних з'єднань та практично усуває варіабельність результатів, пов'язану з впливом оператора. Основні технічні характеристики роботи *QRH 410* наведені в табл. 2.4.

Таблиця 3.4 – Дані робота *QRH 410* [21]

Зварювальний робот	З повним валом шарніра руки <i>QRH 410</i>
Принцип конструкції	шарнірно-важільна, 6 осей
Привід осей	серводвигуни змінного струму з електронним регулюванням
Вантажопідйомність	10 кг
Точність відтворення позиції	0,1 мм
Форма робочої зони	напівшарова
Макс. діаметр робочої зони, мм	4910
Висота робочої зони	2875

Застосування зазначеного роботизованого комплексу забезпечує високу однорідність і повторюваність властивостей зварних з'єднань уздовж усієї довжини шва, дозволяє скоротити тривалість допоміжних і завершальних операцій, а також суттєво покращує умови праці персоналу шляхом усунення безпосереднього контакту з електричною дугою та зварювальними аерозолями. Високий рівень автоматизації у поєднанні з можливістю оперативного переналагодження обладнання забезпечує гнучкість виробничої системи, що є особливо важливим для багатомоделного серійного виробництва.

Впровадження роботизованого зварювання з використанням комплексу *QRH 410* створює передумови для досягнення нового рівня технологічної досконалості при виготовленні відповідальних елементів конструкцій, підвищує якість готової продукції, конкурентоспроможність підприємства та загальну ефективність виробничого процесу.

Для забезпечення стабільної роботи автоматизованої зварювальної системи доцільним є застосування сучасного джерела зварювального струму

Qineo Step 600 C (рис. 3.4), яке відзначається високими експлуатаційними характеристиками, зокрема стабільністю дугового процесу, широким діапазоном регулювання параметрів та повною сумісністю з інтелектуальними системами керування [22].



Рис. 3.4 – Апарат *Qineo Step 600 C* живлення робота [22]

Особливо актуальним використання даного джерела є при зварюванні відповідальних конструкцій із низьколегованих та високоміцних сталей, де критично важливими є точне дотримання параметрів теплового циклу, повторюваність результатів і відповідність нормативним вимогам до якості зварних з'єднань. У цьому аспекті *Qineo Step 600 C*, розроблений компанією CLOOS, належить до найбільш технологічно досконалих зразків сучасного інверторного зварювального обладнання.

Джерело входить до професійної серії QINEO, орієнтованої на інтегровані інженерні рішення, і забезпечує реалізацію високоточних процесів MIG/MAG-зварювання. Модульна побудова установки дозволяє легко адаптувати її до специфічних умов виробництва та використовувати широкий спектр регламентованих налаштувань.

Qineo Step 600 C забезпечує зварювальний струм до 600 А при тривалості навантаження 60 %, що робить можливим зварювання

товстостінних елементів і виконання наплавних операцій. Реалізований синергетичний режим автоматично узгоджує напругу дуги, швидкість подачі дроту та індуктивність відповідно до типу матеріалу, діаметра електрода та складу захисного газу, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактора і скоротити час налаштування обладнання.

Система керування базується на цифровому інтерфейсі з багаторівневим меню, сенсорним енкодером та функцією збереження до десяти користувацьких програм, що забезпечує швидке переналаштування установки під конкретні виробничі завдання.

До основних технічних переваг джерела *Qineo Step 600 C* належать:

- стабільне горіння дуги у всіх просторових положеннях;
- підтримка широкого діапазону зварювальних струмів для дроту діаметром 0,8–2,0 мм;
- знижений рівень розбризкування металу, що зменшує обсяг подальшої механічної обробки;
- високий коефіцієнт корисної дії, який сприяє зменшенню енергоспоживання.

Обладнання має повну апаратну сумісність із роботизованими системами подачі дроту, зокрема CLOOS QWD-A, та підтримує інтеграцію через стандартні промислові інтерфейси. Додатково передбачена можливість роботи в імпульсно-дуговому режимі, що забезпечує покращене формування зварного валика, особливо під час зварювання аустенітних, нержавіючих і корозійностійких сталей.

Завдяки підвищеній термічній стійкості елементів, ефективній системі охолодження та захисту від пилу й вологи (ступінь захисту IP23) джерело може ефективно використовуватися як у стаціонарних, так і в мобільних умовах виробництва.

Для реалізації технологічного процесу зварювання також обґрунтовано вибір сучасного напівавтоматичного джерела зварювального струму TPS/i 500 (рис. 3.5, табл. 3.5), яке повністю відповідає вимогам до зварювання

низьколегованих сталей і забезпечує стабільність дуги в широкому діапазоні режимів.

TPS/i 500 призначене для виконання процесів MIG/MAG-зварювання різних металів, включаючи вуглецеві та леговані сталі, алюмінієві сплави й аустенітні нержавіючі сталі. Наявність імпульсного режиму дозволяє зменшити теплове навантаження на основний метал, знизити ймовірність утворення пор та інших термічних дефектів і покращити формування зварного шва [23].



Рис. 3.5 – Напівавтомат типу *TPS/i 500* [23]

Ключовою особливістю установки є інтегрована інтелектуальна система синергійного керування, яка автоматично встановлює оптимальні параметри процесу залежно від типу зварювального дроту, складу захисного газу та властивостей основного матеріалу. Зручний графічний інтерфейс із багатомовною підтримкою та логічною структурою меню значно спрощує експлуатацію обладнання в умовах інтенсивного виробництва.

Таблиця 3.5 – Технічні дані *TPS/i 500* [23]

Напруга мережі	3 x 400V
Частота сети	50-60Hz
Зварювальний струм мінімальний	3 A
Зварювальний струм максимальний	500 A
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	500A / 40%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	430A / 60%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	360A / 100%
Напруга холостого ходу	71 V
Клас захисту	IP23
Габаритні розміри / довжина	706 mm
Габаритні розміри / ширина	300 mm
Габаритні розміри / висота	510 mm
Вага	38 kg

Імпульсно-дуговий режим, реалізований у *TPS/i 500*, забезпечує мінімальний рівень розбризкування металу, що є особливо важливим при зварюванні легованих сталей і конструкцій із підвищеними естетичними вимогами. Зменшення загального тепловкладення сприяє збереженню сприятливої мікроструктури основного металу, що позитивно впливає на експлуатаційні характеристики зварного з'єднання, зокрема на його міцність, ударну в'язкість і корозійну стійкість.

3.2 Опис технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення рами зернового перевантажувача формується на основі загальноприйнятих принципів виробництва зварних металоконструкцій і охоплює повний цикл операцій — від підготовки заготовок до контролю якості готового виробу. До основних етапів процесу належать виготовлення та підготовка заготовок, складання елементів у вузли, зварювання окремих складальних одиниць і рами в цілому, усунення виявлених дефектів, а також остаточний контроль якості конструкції.

Підготовка заготовок розпочинається з підбору металопрокату відповідно до вимог конструкторської документації з урахуванням геометричних параметрів, форми поперечного перерізу та марки сталі. На цьому етапі виконуються операції правлення, нанесення розмітки, різання, гнуття та очищення поверхонь у місцях майбутнього зварювання. Якість виконання зазначених операцій безпосередньо впливає на точність складання та якість зварних з'єднань.

Оскільки рамна конструкція зернового перевантажувача виготовляється із профільних труб, операції правлення та формоутворення виконують із застосуванням спеціалізованого обладнання. Для цього використовується профілезгинальний і правильний верстат типу *Bendmak PRO 180* (рис. 3.6), який забезпечує виправлення деформацій прокату та формування необхідної геометрії елементів із високою точністю.



Рис. 3.6 Станок типу *Bendmak PRO* – 180 [26]

Розкрій профільних заготовок за заданими розмірами здійснюється на автоматичному стрічковийному верстаті типу *SPECIAL700DI – АМАСС* (рис. 3.7). Застосування такого обладнання дозволяє підвищити

продуктивність процесу різання, забезпечити стабільну якість торців заготовок і мінімізувати відхилення від заданих розмірів.



Рис. 3.7 — Профільно — відрізний станок *SPECIAL700DI* — АМАСС [26]

Підготовка металопродукату, окремих деталей і зварювальних кромки передбачає їх механічне очищення з метою забезпечення належної якості зварних з'єднань. Видалення продуктів корозії, окалини та інших поверхневих забруднень здійснюється із застосуванням дробоструменевого обладнання (рис. 3.8), що дозволяє отримати рівномірно очищену поверхню з необхідною шорсткістю.



Рис. 3.8 — Установка дробоструменевої SK — 1 [26]

Після виготовлення та підготовки заготовок елементів рамної конструкції виконують їх складання з використанням спеціалізованих складально-зварювальних пристосувань. Застосування таких пристосувань забезпечує точне взаємне розташування деталей, стабільність геометричних параметрів рами та створює необхідні умови для подальшого прихвачування і зварювання.

Складання рамної конструкції виконується у спеціалізованих складально-зварювальних пристосуваннях із дотриманням раціональної технологічної послідовності, що забезпечує точність базування елементів, стійкість геометричних параметрів та мінімізацію зварювальних деформацій.

На початковому етапі дишло рами встановлюють у базові вилки стапеля та фіксують у заданому положенні. Після цього по черзі монтують лонжерони, розміщуючи їх у вилках стапеля та бокових елементах дишла, і виконують їх позиціювання за контрольними отворами з використанням пневматичних фіксаторів. Для забезпечення щільного контакту бокові листи дишла притискають до лонжеронів кліщовими пневматичними затискачами, а самі лонжерони додатково фіксують пневмопритискачами.

Далі на опорні елементи встановлюють відбивач і закріплюють його пневматичним притискачем, після чого монтують захисний щиток відповідно до базування притискного пристрою. Наступною операцією є встановлення кутника у вилки стапеля з фіксацією знімним фіксатором та додатковим притисканням пневматичним механізмом.

Після цього у стапель поетапно встановлюють поперечні балки, орієнтуючи їх за відкидними фіксаторами або базовими отворами, а також монтують опори на лонжерони з подальшим притисканням пневмопритискачами. Усі балки остаточно притискають і фіксують пневматичними пристроями для запобігання зміщенню під час зварювання. Далі в пази стапеля встановлюють пластини, які спочатку закріплюють гвинтовими притискачами, а потім — додатковими притискними елементами

по місцю. Після цього монтують прокладки та фіксують їх пневмопритискачами.

Після завершення складальних операцій раму зварюють у тому ж пристосуванні, дотримуючись встановленої послідовності. Спочатку виконують прихвачування лонжеронів до дишла у кількох контрольних точках, далі — щитків до лонжеронів, кутника, балок та опор. Окремо виконують прихвачування балок між собою та з опорами, а також пластин і накладок до відповідних елементів конструкції. Кількість і розташування прихваток забезпечують збереження геометрії рами під час основного зварювання.

Після прихвачування виконують зварювання доступних швів. Далі знімають відкидні та знімні фіксатори, від'єднують притискні пристрої і підіймають раму. Зі стапеля конструкцію знімають за допомогою мостового підіймального механізму та встановлюють у вилки кантувача, де її фіксують пневмопритискачами. Раму кантують на 180° для забезпечення доступу до раніше недоступних зон.

У перевернутому положенні на раму встановлюють додаткові накладки, виконують їх прихвачування та остаточне зварювання, періодично повертаючи конструкцію у зручне для виконання швів положення. Після цього за шаблонами послідовно монтують скоби та бобишки, здійснюють їх прихвачування й остаточне приварювання. Завершальними операціями є встановлення та зварювання додаткових скоб до лонжеронів і від'єднання готової рамної конструкції від кантувача.

Запропонована технологічна послідовність складання і зварювання забезпечує високу точність базування елементів, стабільну якість зварних з'єднань та раціональну організацію виробничого процесу виготовлення рами зернового перевантажувача.

Після завершення складально-зварювальних робіт виконують опоряджувальну обробку зварних швів і прилеглої до них біляшовної зони. Метою цих операцій є видалення напливів, бризок металу, шлакових залишків

і нерівностей поверхні, а також зменшення концентрації напружень у місцях переходу зварного шва до основного металу. Для виконання опоряджувальних робіт застосовують кутошліфувальні машини з відповідними абразивними інструментами, що забезпечують необхідну якість поверхні.

У разі виявлення відхилень від заданих геометричних параметрів або залишкових деформацій рами виконують її правлення. Виправлення здійснюють на спеціалізованому стенді (рис. 3.9) із використанням контрольованих зусиль, що дозволяє відновити правильну геометрію конструкції без погіршення механічних властивостей зварних з'єднань.



Рис. 3.9 Стенд для правлення рам [26]

Невід'ємним етапом технологічного процесу виготовлення рами зернового перевантажувача є організація поточного та завершального контролю якості, спрямованого на забезпечення відповідності зварної конструкції вимогам конструкторської та нормативної документації. Контрольні операції дозволяють своєчасно виявляти та усувати дефекти, а також гарантують надійність і довговічність виробу в умовах експлуатації.

Поточний контроль якості зварної рами здійснюється переважно візуальним методом і проводиться на всіх основних стадіях виробничого процесу. Зокрема, він охоплює вхідний контроль металевих матеріалів, перевірку якості виготовлення окремих деталей і елементів зварних вузлів, оцінювання стану поверхонь і підготовки кромки перед складанням та зварюванням. Окрема увага приділяється контролю правильності складання деталей під зварювання, дотриманню технологічних режимів у процесі виконання зварних швів, а також перевірці якості сформованих швів і зварних з'єднань. За результатами контролю, за потреби, виконують усунення виявлених дефектів.

Для забезпечення достовірності візуального контролю необхідно дотримуватися встановлених умов огляду. Освітленість контрольованих поверхонь повинна бути не меншою ніж 500 лк, що створює достатній контраст між зварним швом і фоном. Огляд зварних з'єднань слід виконувати під кутом понад 30° до контрольованої поверхні з відстані, яка не перевищує 600 мм, що дозволяє об'єктивно оцінити геометрію шва, наявність поверхневих дефектів і якість виконання зварних робіт. [24].

Під час проведення візуального та вимірювального контролю зварних з'єднань застосовують комплекс простих і спеціалізованих засобів контролю. До них належать оптичні лупи, зокрема з вимірювальними шкалами, металеві вимірювальні лінійки, а також спеціальні й універсальні шаблони зварника, що дозволяють оперативно оцінювати геометричні параметри зварних швів і елементів з'єднань.

Вимірювальний контроль спрямований на перевірку відповідності фактичних параметрів зварної конструкції вимогам технічної документації. У процесі контролю здійснюють вимірювання розмірів прихватних швів, які використовуються як тимчасові технологічні кріплення, а також визначають відстані між такими кріпленнями та кромками деталей. Крім того, контролюють величину зміщення зварювальних кромки, ступінь перекриття

елементів у з'єднанні, а також розміри прихваток і правильність їх розташування відносно базових поверхонь.

Зазначені операції вимірювального контролю дозволяють своєчасно виявити відхилення від заданих параметрів, запобігти виникненню дефектів на подальших етапах зварювання та забезпечити необхідну точність і якість рамної конструкції зернового перевантажувача.



Рис. 3.10 Шаблони зварника

Дефекти, виявлені під час візуального та вимірювального контролю, підлягають обов'язковому усуненню до переходу на наступну технологічну операцію. Такий підхід забезпечує стабільність якості зварних з'єднань і запобігає накопиченню похибок на подальших етапах виготовлення рамної конструкції.

Після завершення зварювання готові з'єднання піддають детальному візуальному контролю. У процесі огляду оцінюють наявність поверхневих дефектів, правильність і повноту очищення металу в місцях видалення тимчасових технологічних кріплень, а також стан поверхні зварного шва і прилеглих до нього ділянок основного металу. Окрім цього, контролюють геометричні параметри шва, зокрема його висоту та ширину, ступінь увігнутості або опуклості зворотного боку, глибину западин між наплавленими валиками, а також глибину і протяжність підрізів у зоні

сплавлення. Для кутових зварних з'єднань додатково перевіряють відповідність фактичного катета шва вимогам технічної документації.

Оскільки рама зернового перевантажувача є відповідальною несучою конструкцією, візуальний контроль доповнюють обов'язковим неруйнівним контролем методом ультразвукової дефектоскопії. Зазначений метод застосовують для перевірки всіх зварних швів з метою виявлення внутрішніх дефектів, таких як пори, шлакові включення, непровари або тріщини.

Методика ультразвукового контролю повинна забезпечувати надійне виявлення будь-яких неприпустимих дефектів по всьому перерізу зварного шва та у біляшовній зоні. Контроль проводять після завершення зовнішнього огляду та усунення виявлених поверхневих дефектів. Безпосередньо перед дефектоскопією поверхню біляшовної зони ретельно очищають і протирають, після чого наносять шар контактного мастильного матеріалу для забезпечення якісного акустичного контакту з ультразвуковим перетворювачем.

Під час контролю кутових зварних швів введення ультразвукового променя здійснюють через основний метал стінки з'єднання. Кут введення ультразвукових хвиль вибирають таким чином, щоб напрямок променя був максимально наближеним до перпендикулярного відносно площини можливого дефекту, що забезпечує найбільшу ймовірність його виявлення та достовірність результатів контролю.

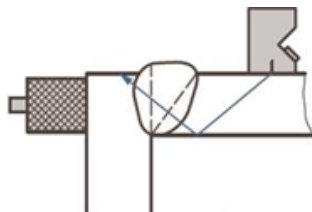


Рис. 3.11 Схема «прозвучування» швів [24]

Для здійснення неруйнівного контролю якості зварних з'єднань рамної конструкції дефектоскоп ультразвуковий Erosch 1000. Він є портативним вимірювально-діагностичним приладом для неруйнівного контролю, побудованим за модульним принципом і призначеним для реалізації імпульсно-ехового методу ультразвукової дефектоскопії. Конструкція

приладу поєднує в єдиному корпусі функціональні вузли формування ультразвукових сигналів, їх приймання, цифрової обробки та візуалізації результатів контролю, що забезпечує високу інформативність і надійність вимірювань у виробничих умовах.

Основним елементом апаратної частини дефектоскопа є імпульсний генератор, який формує короткотривалі електричні імпульси підвищеної напруги для збудження ультразвукових перетворювачів. Конструктивне виконання генератора забезпечує стабільність параметрів імпульсів у широкому діапазоні налаштувань, що дозволяє адаптувати дефектоскоп до різних типів перетворювачів і матеріалів. Керування параметрами генерації здійснюється програмно, що виключає необхідність апаратного переналагодження.

Приймальний тракт дефектоскопа ЕРОСН 1000 реалізований у вигляді багатокаскадної електронної схеми, до складу якої входять попередні підсилювачі, смугові фільтри та регульований підсилювач основного каналу. Така структура дозволяє ефективно підсилювати слабкі ехосигнали, відбиті від дефектів і меж розділу середовищ, при одночасному зниженні впливу електричних і акустичних шумів. Частотні характеристики приймального тракту узгоджені з робочими параметрами ультразвукових перетворювачів, що підвищує точність контролю.



Рис. 3.11 — Дефектоскоп ультразвуковий Ерошн 1000[25].

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Вибір пристосувань та опис принципу їх роботи

Рама причепа типу зернового перевантажувача належить до відповідальних несучих конструкцій, до яких висуваються підвищені вимоги щодо точності складання, стабільності геометричних параметрів і якості зварних з'єднань. У зв'язку з цим під час організації виробничого процесу необхідно забезпечити надійне базування елементів конструкції, фіксацію їх у заданому положенні та дотримання проєктних розмірів на всіх етапах виготовлення.

У зварювальному виробництві технологічні процеси складально-зварювальних операцій, як правило, реалізуються за двома основними підходами: повне попереднє складання виробу з подальшим зварюванням або поетапне формування конструкції шляхом послідовного нарощування окремих елементів і вузлів. З огляду на те, що рама причепа складається з деталей різної конфігурації та значної кількості елементів, раціональним є застосування принципу поетапного нарощування, який дозволяє зменшити складність складання, підвищити точність і полегшити контроль геометрії.

Враховуючи серійний характер виробництва даної рамної конструкції, доцільним є використання спеціалізованих складально-зварювальних кондукторів і кантувальних пристроїв. Застосування такого оснащення забезпечує високу повторюваність виробів, зниження трудомісткості складальних операцій і підвищення продуктивності праці, що є особливо важливим для серійного виготовлення.

Технологічний процес організовано за принципом паралельного виготовлення окремих елементів рами.

Виготовлення дишла здійснюється з використанням спеціального складально-зварювального кондуктора (рис. 4.1), який забезпечує точне базування деталей, їх надійну фіксацію під час прихвачування і зварювання, а

Дишло рами за своєю конструктивною схемою являє собою гнуту балку швелерного типу. Його виготовлення здійснюється з листового прокату, який на попередніх етапах піддають розкрою та гнуттю до надання необхідної просторової форми. Такий підхід дозволяє отримати елемент із заданими геометричними параметрами та раціональним розподілом матеріалу по перерізу.

Наступною операцією є монтаж верхнього пояса балки. Після його

встановлення виконують остаточне базування та притискання всіх елементів конструкції з використанням гвинтових притискачів і фіксаторів, що гарантує збереження заданої геометрії під час подальших зварювальних робіт. Після завершення складання здійснюють прихвачування, а потім — зварювання доступних з'єднань.

Для складання основної частини рами застосовують універсальний стенд, призначений для монтажу та зварювання рам напівпричепів (рис. 4.2). Конструкція стенда забезпечує можливість точного базування елементів рами, їх надійну фіксацію у заданому положенні та зручний доступ до зон зварювання [26].



Рис. 4.2 Загальний вигляд універсального стенду для складання рам [26]

Модульне виконання складально-зварювального кондуктора-стенда забезпечує можливість його швидкого переналаштування під різні моделі рам напівпричепів без суттєвих витрат часу. Упори та притискні елементи стенда виконані у пересувному пневматичному варіанті, що дозволяє оперативно змінювати їх положення відповідно до геометрії конкретної конструкції та значно підвищує швидкодію складальних операцій.

У межах даного пристрою здійснюють складання поздовжніх лонжеронів із поперечними балками з точним взаємним базуванням елементів.

Використання такого типу кондуктора забезпечує високу точність складання та стабільність геометричних параметрів основної частини рами. Після завершення складальних операцій і виконання прихвачувальних швів зібрані лонжерони разом із поперечними балками переміщують до зварювальних обертачів (рис. 4.3), де виконують повне зварювання основної рамної конструкції з забезпеченням зручного просторового положення для формування якісних зварних з'єднань[16].



Рис. 4.3. Загальний вигляд зварювального кантувача [26]

Після завершення повного зварювання окремих складових елементів рами виконують її остаточне складання в єдину конструкцію. Для реалізації цієї операції застосовують спеціалізований складально-зварювальний кондуктор, загальний вигляд якого наведено на рис. 4.4. Використання такого оснащення дозволяє забезпечити точне взаємне розташування всіх вузлів і збереження проєктних геометричних параметрів рами.

На першому етапі у кондуктор встановлюють основну рамну частину та надійно фіксують її у базовому положенні. Після цього по черзі монтують зварені половини дишла, орієнтуючи їх відносно базових поверхонь і контрольних елементів пристосування. Усі складові частини рами

закріплюють і притискають за допомогою притискних механізмів, що унеможлиблює їх зміщення під час зварювальних робіт.

Після завершення операцій складання виконують зварювання з'єднань між основною частиною рами та дишлом, а також приварювання допоміжних і дрібногабаритних елементів конструкції. Така організація процесу забезпечує високу точність складання, стабільну якість зварних з'єднань і надійність рамної конструкції в цілому.

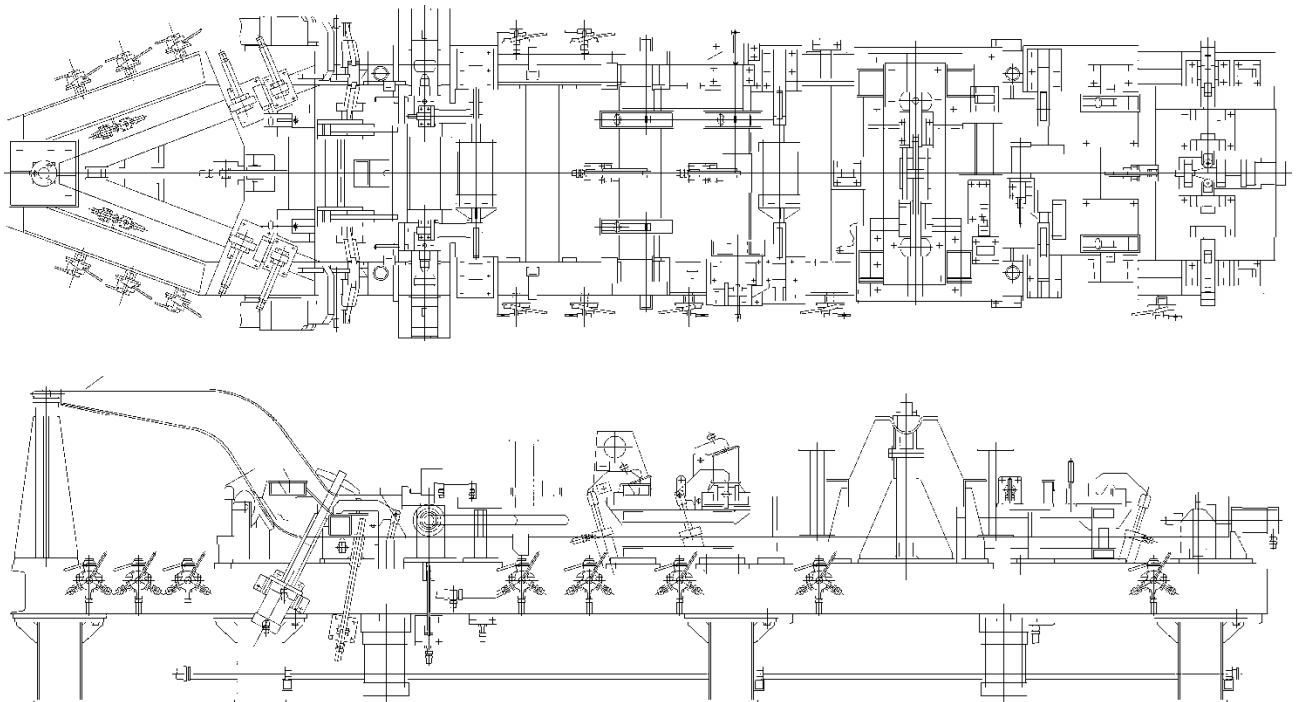


Рис. 4.4 Схема складально-зварювального кондуктора

4.2 Розрахунок зварювального кантувача

Розрахунок зварювального кантувача, призначеного для обертання та фіксації рамної конструкції під час виконання зварювальних робіт, виконується відповідно до методичних рекомендацій, наведених у спеціалізованій технічній літературі [27]. Метою розрахунку є забезпечення

безпечної та надійної роботи кантувача, а також створення зручних умов для зварювання в оптимальних просторових положеннях (рис. 4.5).

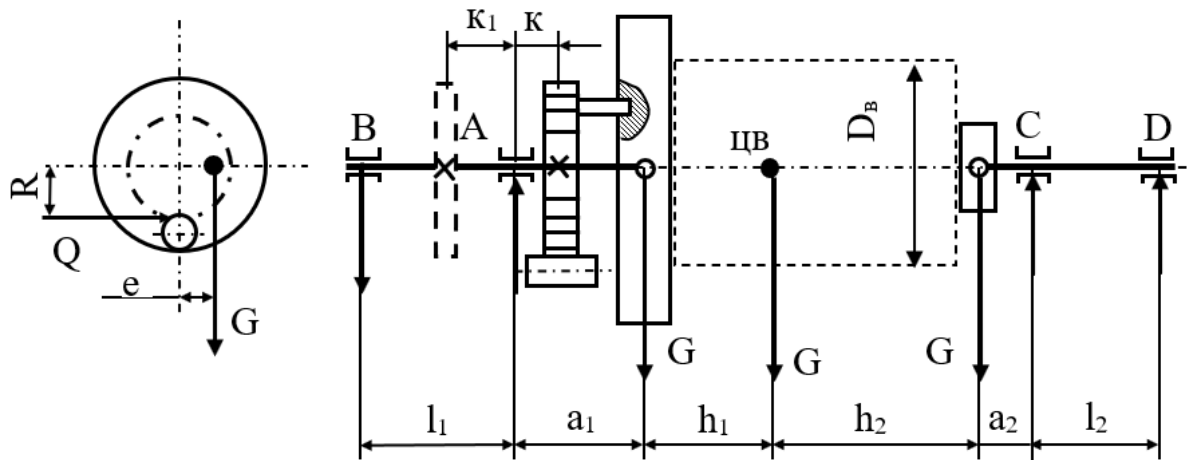


Рис. 4.5. Розрахункова схема

Оскільки під час виготовлення рами зернового перевантажувача виконуються протяжні кутові та стикові шви, технологічно обґрунтованим є використання зварювального кантувача, який забезпечує:

- фіксацію виробу у сталому положенні,
- можливість повороту для зварювання в нижньому/горизонтальному положенні,
- зменшення втоми зварника та стабілізацію якості швів.

Розрахункове навантаження визначаємо за вагою рами:

$$G = mg = 2000 \cdot 9,81 = 19620 \text{ Н.}$$

Як і у вашому прикладі, приймаємо геометричні параметри схеми розподілу навантаження між бабками:

$$h_1 = 4,2, h_2 = 2,8.$$

Коефіцієнти та допущення з методики залишаємо тими ж (для збереження порівнюваності результатів):

- $R_p = 1,75$;
- $f = 0,1$;

- $[\sigma] = 70 \dots 80$ МПа (для шпинделів зі сталі типу 40Х приймаємо верхню межу $[\sigma] = 80$ МПа);
- плечі та розміри, що входять у формули реакцій, відповідають вашій розрахунковій схемі (тобто використовуються ті самі l_1, a_1, a_2, k, R).

На першому кроці розрахунку визначається, яку частину ваги рами сприймає кожна бабка. Це потрібно, щоб далі коректно знайти реакції в опорах і згинальні моменти у шпинделях.

$$G_1 = G \frac{h_2}{h_1 + h_2}, G_2 = G \frac{h_1}{h_1 + h_2}.$$

Підставляємо:

$$G_1 = 19620 \cdot \frac{2,8}{4,2 + 2,8} = 19620 \cdot 0,4 = 7848 \text{ Н},$$

$$G_2 = 19620 \cdot \frac{4,2}{4,2 + 2,8} = 19620 \cdot 0,6 = 11772 \text{ Н}.$$

Далі, як у вашій методиці, переходять до визначення вертикальних опорних реакцій у підшипниках бабок:

$$A_{B0} = 6686, B_{B0} = 3086, C_{B0} = 7040, D_{B0} = 2640 \text{ (Н)}.$$

Оскільки в цій частині розрахунку реакції пропорційні вазі G , їх зручно перерахувати через коефіцієнт масштабування:

$$\lambda = \frac{19620}{8000} = 2,4525.$$

Тоді:

$$A_B = 6686\lambda = 16397 \text{ Н}, B_B = 3086\lambda = 7568 \text{ Н},$$

$$C_B = 7040\lambda = 17266 \text{ Н}, D_B = 2640\lambda = 6475 \text{ Н}.$$

У вашому прикладі момент, що передається приводом на кантувач, прийнято як $M_B = 3706$ Нм, а радіальна сила визначалася як:

$$Q = \frac{M_B}{R}.$$

Оскільки маса виробу зросла у $\lambda = 2,4525$ рази, то для збереження тієї ж логіки методики (тобто пов'язування моменту з навантаженням виробу) приймаємо:

$$M_B = 3706\lambda = 9089 \text{ Нм.}$$

За радіусом з прикладу $R = 0,35 \text{ м}$:

$$Q = \frac{9089}{0,35} = 2,597 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

У прикладі реакції від Q були:

$$A_{r0} = 1,617 \cdot 10^4, B_{r0} = 5,88 \cdot 10^3 (\text{Н}),$$

тому при масштабуванні:

$$A_r = A_{r0}\lambda = 3,965 \cdot 10^4 \text{ Н}, B_r = B_{r0}\lambda = 1,442 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Оскільки опори сприймають одночасно вертикальні та радіальні компоненти, результуюче навантаження визначають як геометричну суму:

$$A = \sqrt{A_B^2 + A_r^2}, B = \sqrt{B_B^2 + B_r^2}.$$

Підстановка дає:

$$A = \sqrt{16397^2 + 39650^2} \approx 4,291 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

$$B = \sqrt{7568^2 + 14420^2} \approx 1,629 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Для другої бабки у вашій схемі прийнято $C = C_B, D = D_B$, тому:

$$C = 1,727 \cdot 10^4 \text{ Н}, D = 6,475 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

На цьому етапі встановлюють згинальні моменти у характерних перерізах (А і С), оскільки саме вони визначають необхідний діаметр шпинделя.

У вихідному прикладі для перерізу А момент складався з двох компонент:

- від вагового навантаження $M_1 = G_1 a_1$ (при $a_1 = 0,3 \text{ м}$);
- від радіальної сили $M_2 = Qk$ (при $k = 0,2 \text{ м}$).

Тепер:

$$M_1 = G_1 a_1 = 7848 \cdot 0,3 = 2354 \text{ Нм},$$

$$M_2 = Qk = 25970 \cdot 0,2 = 5194 \text{ Нм.}$$

Результуючий:

$$M_A = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = \sqrt{2354^2 + 5194^2} \approx 5,70 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

Для перерізу С у вашому прикладі було $M_C = 1320$ Нм при $G = 8000$ Н.
Масштабуємо:

$$M_C = 1320\lambda = 3237 \text{ Нм.}$$

Діаметр визначають із нерівності міцності при згині (як у методиці):

$$\sigma = \frac{M}{0,1d^3} \leq [\sigma], d = \sqrt[3]{\frac{M}{0,1[\sigma]}}.$$

Приймаємо $[\sigma] = 80 \text{ МПа} = 80 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

Для перерізу А:

$$d_A = \sqrt[3]{\frac{5700}{0,1 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 0,089 \text{ м} \approx 89 \text{ мм.}$$

Для перерізу С:

$$d_C = \sqrt[3]{\frac{3237}{0,1 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 0,074 \text{ м} \approx 74 \text{ мм.}$$

З урахуванням стандартного ряду та конструктивної уніфікації доцільно прийняти:

$$d_A = d_B = 90 \text{ мм}, d_C = d_D = 75 \text{ мм.}$$

Для уточнення навантажень обчислюють момент тертя в опорах (як у методиці), приймаючи $f = 0,1$:

$$M_{\text{тр}} = 0,5(Ad_A f + Bd_B f + Cd_C f + Dd_D f).$$

Підстановка чисел (із прийнятими діаметрами) дає:

$$M_{\text{тр}} \approx 3,55 \cdot 10^2 \text{ Нм.}$$

Сумарний момент, який повинен передати привод кантувача:

$$M_{\text{кр}} = M_B + M_{\text{тр}} = 9089 + 355 \approx 9444 \text{ Нм.}$$

ККД привода приймаємо як у вашому прикладі:

$$\eta_0 = 0,54.$$

Кутова швидкість (за тією самою частотою кантування, що й у методиці) прийнята:

$$\omega \approx 0,4 \text{ с}^{-1}.$$

Тоді потужність:

$$N = \frac{M_{\text{кр}} \omega}{\eta_0} = \frac{9444 \cdot 0,4}{0,54} \approx 6996 \text{ Вт} \approx 7,0 \text{ кВт.}$$

З урахуванням стандартного ряду електродвигунів та запасу на пускові режими раціонально прийняти:

$$N_{\text{дв}} = 7,5 \text{ кВт.}$$

За результатами розрахунку для маси рами $m = 2000$ кг визначено навантаження на опорні вузли кантувача та виконано підбір шпиндельних діаметрів. У найбільш навантажених перерізах доцільно приймати шпинделі Ø90 мм, у менш навантажених — Ø75 мм. Сумарний крутний момент привода з урахуванням тертя становить близько 9,4 кН·м, що зумовлює вибір електродвигуна потужністю порядку 7 кВт, із прийняттям стандартного значення 7,5 кВт для забезпечення надійності роботи в реальних умовах експлуатації.

4.3 Розрахунок притискачів кондуктора

Оскільки у процесі виготовлення рами застосовуються складально-зварювальні кондуктори, оснащені гвинтовими притискними елементами, виникає необхідність виконання їх інженерного розрахунку. Розрахунок гвинтових притискачів (рис. 4.6) здійснюється відповідно до методичних рекомендацій, наведених у спеціалізованій літературі [27], з метою забезпечення їх міцності, надійності та безпечної експлуатації під час складальних і зварювальних робіт.

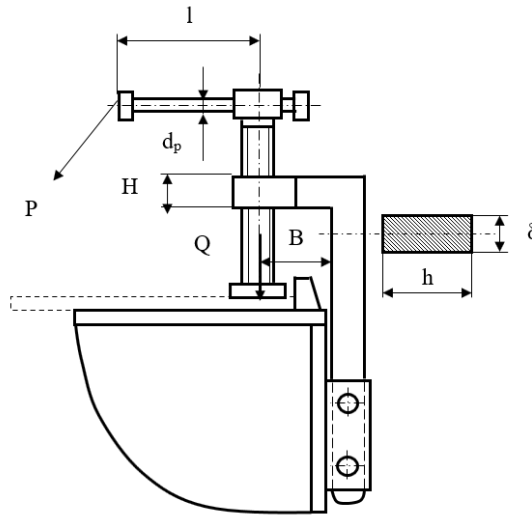


Рис. 4.6 Схема гвинтового притискача

Оскільки під час складання рами застосовуються притискні елементи, виконуємо розрахунок гвинтового притискача за тією ж методикою.

Приймаємо зусилля затиску:

$$Q = 10 \text{ кН.}$$

Матеріал гвинта — сталь 45, допустиме напруження:

$$[\sigma] = 80 \text{ МПа.}$$

Внутрішній (розрахунковий) діаметр гвинта:

$$d_{\text{вн}} = 1,4 \sqrt[3]{\frac{4Q}{\pi[\sigma]}} = 1,4 \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10000}{3,14 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 0,015652 \text{ м} = 15,652 \text{ мм.}$$

З урахуванням стандартів різьбових елементів приймаємо: M20 × 2,5. Момент затягування гвинта визначають з урахуванням тертя у різьбі та в опорі:

$$M_c = Ql_r(\text{tg}(\alpha + \varphi_{\text{пр}})) + M_{\text{трс}}.$$

За прийнятою методикою (для наочності збережено числові параметри):

$$M_c = 10 \cdot 10^3 \cdot 0,45 \cdot 0,020 \cdot \text{tg}(2^\circ 30' + 6^\circ 40') = 14,526 \text{ Нм.}$$

Довжину рукоятки визначають із допустимого ручного зусилля P :

$$l = \frac{M_c}{P}.$$

При $P = 100 \text{ Н}$:

$$l = \frac{14,526}{100} = 0,145 \text{ м} \Rightarrow \text{приймаємо } l = 150 \text{ мм.}$$

Діаметр рукоятки підбирають за умовою міцності на згин:

$$\sigma = \frac{Pl}{W} \leq [\sigma], W \approx 0,1d_p^3,$$

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{Pl}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 0,15}{0,1 \cdot 80 \cdot 10^6}} \approx 0,012 \text{ м} \Rightarrow d_p = 12 \text{ мм.}$$

Кількість витків, що перебувають у зачепленні, визначають із умови допустимого контактного тиску p_0 (приймаємо 9...13 МПа). Розрахунком отримуємо: $n \approx 12,63 \Rightarrow \text{приймаємо } n = 13$.

Висота гайки:

$$H = \frac{nS}{m}.$$

Для різьби М20×2,5: $S = 2,5$ мм, коефіцієнт умов роботи $m = 1$:

$$H = \frac{13 \cdot 2,5}{1} = 32,5 \text{ мм.}$$

Товщину стінки корпусу приймаємо $\delta = 10$ мм. Для згинального моменту:

$$M = Qb.$$

З умови міцності корпусу на згин отримують розрахункову ширину:

$$b = \sqrt{\frac{6QB}{\delta[\sigma]}}.$$

Розрахунком отримано: $b \approx 0,061$ м $\Rightarrow$ приймаємо $b = 60$ мм.

Контрольне напруження за прийнятим розміром (з урахуванням двох складових):

$$\sigma = \frac{6 \cdot 10000 \cdot 0,1}{0,07^2 \cdot 0,01} + \frac{10000}{0,07 \cdot 0,01} = 122,4 + 14,29 = 137,3 \text{ МПа.}$$

За необхідності підвищення запасу міцності параметр b допускається збільшувати конструктивно (що є типовим рішенням для технологічного оснащення).

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

5.1.1 Аналіз потенційних небезпек. Заходи для їх зниження

При роботі на напівавтоматі в суміші захисних газів з метою попередження нещасних випадків необхідно дотримуватися ряду заходів, передбачених законами про охорону праці та чинними правилами та інструкціями.

Ураження електричним струмом, опіки, отруєння газами - найбільш характерні випадки травматизму при зварюванні в суміші захисних газів.

Ураження електричним струмом - найбільш частий вид травматизму при зварюванні. Причинами поразки струмом є дотик до голих струмоведучих частин електроустаткування, відсутність або недоброякісність захисних засобів і заземлюючих пристроїв.

В напівавтоматах, включаючи джерела живлення, повинна бути виключена можливість випадкового дотику до частин, що знаходяться під напругою вище допустимого для зварювального ланцюга, і виключена можливість появи небезпечної напруги на частинах, нормально знаходяться без напруги (корпусу джерел живлення, шаф, верстатів). Для цього необхідно ізолювати дроти, в першу чергу підводять струм до зварювального обладнання від силової мережі 220 або 380 В. Затискачі для приєднання проводів від силової мережі повинні бути ізольовані від корпусу і прикриті кришкою або козирком [28].

У випадку пробою ізоляції обмоток, з'єднаних з силовою мережею, під високою напругою можуть виявитися корпуси зварювального обладнання, тому вони повинні бути заземлені.

При пошкодженні ізоляції між обмотками зварювального трансформатора його вторинна обмотка буде з'єднана з силовою мережею

через первинну обмотку. Щоб уникнути можливого при цьому ураження електричним струмом, затискачі вторинної обмотки джерела живлення, від якого йде провід до зварюваного виробу, повинні бути заземлені. Необхідно також заземлювати зварюваний виріб.

Здійснювати перемикання, приєднання або від'єднання в електротехнічних ланцюгах установок можна тільки після вмикання загального рубильника або пускача. При ремонті й усуненні несправностей зварювальне обладнання повинно бути від'єднати від мережі живлення. Пересувні джерела зварювального струму під час їх пересування необхідно від'єднати від мережі. Забороняється користування зварювальними дротами з пошкодженою ізоляцією. З'єднання зварювальних дротів повинно проводитися паянням, зварюванням або з'єднувальними муфтами з ізолюючою обмоткою.

При роботі в особливо небезпечних приміщеннях, а також у відсіках суден, резервуарів джерела живлення повинні бути оснащені пристроєм автоматичного від'єднання напруги холостого ходу або пристроєм, понижуюча напруга в зварювального ланцюга до 12 В. Робота в закритих ємностях повинна проводитися не менше ніж двома особами, причому одна особа повинна мати кваліфікаційну групу з техніки електробезпеки не нижче III і знаходитися зовні.

Опіки тіла при напіваавтоматичному зварюванні можуть бути викликані бризками розплавленого металу. Місця зварювальних робіт повинні бути очищені від горючих матеріалів у радіусі не менше 5 м.

В процесі зварювання виділяється велика кількість газів, пилу і парів металу, що може призвести до захворювання дихальних шляхів зварника. Для уникнення цього необхідно постачати автомати газовідсмоктувачі, розташованими поблизу дуги. При зварюванні в закритих приміщеннях необхідно застосовувати витяжну вентиляцію [28].

5.1.2 Заходи пожежної безпеки при експлуатації спроектованого обладнання.

Пожежа та вибух на виробництві можуть призвести до значних матеріальних втрат та загибелі людей. Висока швидкість горіння здатна повністю знищити матеріальні цінності, виготовленні з горючих матеріалів, та нанести шкоду тим, які виготовленні з важкогорючих і негорючих матеріалів. Вибух руйнує виробничі конструкції та прилади, приміщення і цілі будівлі. Висока температура, наявність отруйних продуктів горіння, значний надлишковий тиск під час вибуху та вивільнена енергія призводять до пошкодження людського організму, хвороби та загибелі людини.

На виробництві для дотримання проти пожежних і проти вибухових заходів необхідно строго дотримуватися організації та перебігу технологічного процесу й вимог, що впливають з його особливостей. Такими заходами є [28]:

1. Відповідність вимогам що до матеріалів і речовин, їх кількості у виробництві;
2. Запобігання виникненню горючого та вибухового середовища;
3. Запобігання виникненню джерел запалювання в горючому середовищі;
4. Здійснення контролю за параметрами пожежо- та вибухонебезпечного середовища й обладнання;
5. Наявність пристроїв пожежної автоматики та сигналізації;
6. Організація пожежної охорони;
7. Навчання та інформування персоналу про правила пожежної безпеки та поведінку при надзвичайній ситуації.

5.2 Підвищення стійкості об'єкта до ударної хвилі

Інженерно-технічний комплекс будь-якого підприємства включає в себе: будівлі споруди, технологічне обладнання і комунікації, електромережі, тепломережі, водопровід, каналізацію і газопровід [29].

Від стійкості будівель і споруд залежить в основному стійкість всього об'єкту. Підвищувати стійкість всіх будівель і споруд не потрібно, так як це пов'язано з великими матеріальними затратами, які не завжди будуть виправдані. Головним чином, потрібно підвищувати міцність найбільш важливих елементів виробництва, від яких залежить робота всього підприємства, але стійкість яких нижча загальної границі стійкості. Підвищення стійкості будівель і споруд досягається встановленням додаткових зв'язків між несучими елементами, будовою каркасів, рам, підкосів, опор для зменшення прольоту несучих конструкцій, а також за рахунок застосування більш міцних матеріалів.

Низькі споруди, для підвищення їх міцності, частково обсипаються ґрунтом. Високі споруди (труби, башти, колони) закріплюються розтяжками, які розраховані на певні навантаження.

Захист ємкостей для зберігання легкозаймистих рідин може здійснюватися побудовою підземних сховищ, заглибленням їх в ґрунт, а збільшення механічної міцності ємкостей – встановленням ребр жорсткості.

Надійно захистити все технологічне обладнання від дії ударної хвилі практично неможливо. Захист обладнання необхідний, якщо воно здатне при руйнуванні частини підприємства випускати особливо цінну продукцію і його необхідно зберегти для подальшого використання. Захист обладнання входить в загальний комплекс інженерно-технічних заходів по підвищенню стійкості роботи підприємства. Потрібно створювати запаси деталей і вузлів технологічного устаткування, а також виготовляти захисні конструкції і застосовувати їх в період загрози нападу ворога для запобігання виходу з ладу устаткування при обвалі конструкцій будівель [29].

Для сучасних підприємств характерна велика кількість комунікацій для подачі води, електроенергії, пари, газу, які розміщені відкрито на високих естакадах або зовнішніх стінах будівель, що полегшує їх регулярний огляд і ремонт, але з другого боку значно знижує стійкість до дії ударної хвилі ядерного вибуху.

Для підвищення надійності комунікацій потрібно: заглиблювати основні комунікаційно-енергетичні мережі і технологічні комунікації або розміщувати їх на низьких естакадах та обвалькувати землю; збільшувати механічну міцність трубопроводів за рахунок встановлення ребр жорсткості, хомутів, які з'єднують два-три трубопроводи в один пучок.

Система електрозабезпечення займає значне місце на промисловому підприємстві, тому останнє повинно мати два джерела живлення – основне і аварійне. Для запобігання виходу з ладу електричних мереж потрібно встановлювати пристрої автоматичного відключення їх при утворенні перенапруг, які можуть бути створені електромагнітними полями, що виникають при ядерному вибуху.

При пошкодженні джерел газозабезпечення або газопроводів на великих підприємствах знаходяться підземні ємкості - газгольдери постійного об'єму. Газові мережі прокладають під землею і підводять до об'єкту з двох напрямків. Для запобігання руйнуванню газових мереж їх забезпечують пристроями для автоматичного відключення ділянок газопроводу.

Стійкість роботи промислових об'єктів визначається також стійкістю систем парозабезпечення і теплозабезпечення. Промислові об'єкти повинні мати два джерела пари і тепла - зовнішнє (ТЕЦ) і внутрішнє (місцеві котельні).

Важливе значення має створення стійкості системи водозабезпечення об'єкту. Промисловий об'єкт повинен забезпечуватись водою не менше ніж від двох джерел - основних і резервних. Одне із джерел повинно бути підземним. Мережі водозабезпечення прокладаються в землі і обладнуються засувками для відмикання окремих ділянок при аварії.

Щоб підвищити стійкість каналізації об'єкта потрібно створити роздільні системи каналізації – одну для дощових, другу для промислових і господарських вод, Система каналізації об'єкта повинна мати аварійні викиди в річку або в дощову мережу.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра виконано комплексне інженерно-технологічне дослідження, спрямоване на розроблення технології виготовлення рами зернового перевантажувача з урахуванням її напружено-деформованого стану, що є актуальним завданням для сучасного аграрного машинобудування.

У ході виконання пояснювальної записки досягнуто таких основних результатів і зроблено узагальнені висновки:

Проведено аналітичний огляд конструкції зернового перевантажувача та умов його експлуатації, який показав, що рама є основним несучим елементом машини та зазнає значних статичних і динамічних навантажень у процесі транспортування і розвантаження зерна. Встановлено, що надійність і довговічність перевантажувача в цілому визначається міцністю, жорсткістю та якістю виготовлення рамної конструкції.

Обґрунтовано вибір матеріалу рами (конструкційна сталь типу Сталь 09Г2С/С460N), який характеризується достатніми механічними властивостями, високою зварюваністю та придатністю до роботи в умовах змінних навантажень і широкого температурного діапазону. Розрахунок еквівалентного вмісту вуглецю підтвердив можливість виконання зварних з'єднань без застосування складних термічних обробок.

Досліджено напружено-деформований стан рами методом кінцевих елементів із використанням програмного комплексу SolidWorks Simulation. За результатами чисельного моделювання встановлено найбільш навантажені та потенційно небезпечні зони конструкції, зокрема ділянки з'єднання дишла з основною частиною рами. Отримані значення еквівалентних напружень і переміщень не перевищують допустимих, що підтверджує працездатність конструкції за заданих умов навантаження.

На основі результатів НДС запропоновано конструктивні рекомендації, спрямовані на підвищення жорсткості та зниження концентрації напружень у

критичних вузлах, зокрема шляхом локального підсилення та раціонального розміщення елементів жорсткості без істотного збільшення металоємності конструкції.

Розроблено технологічний процес виготовлення рамної конструкції, який охоплює всі основні етапи: підготовку заготовок, складання, напіваавтоматичне зварювання в захисних газах, контроль якості та усунення можливих дефектів. Обґрунтовано вибір способу зварювання, зварювальних матеріалів, режимів зварювання та основного обладнання, що забезпечує необхідну якість і продуктивність процесу.

Запропоновано застосування сучасних складально-зварювальних пристосувань і механізмів фіксації, що дозволяє підвищити точність складання, зменшити трудомісткість операцій і мінімізувати зварювальні деформації, порівняно з традиційними ручними методами.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, зокрема заходи щодо забезпечення безпечних умов праці зварювальників та підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкта, що відповідає вимогам чинних нормативно-правових документів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сільськогосподарська техніка та обладнання вітчизняного виробництва: каталог / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України; Міністерство аграрної політики та продовольства України; Національний комітет з промислового розвитку; Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН; К.: БВІ-Принт, 2019. 256 с.
2. Трактори, мобільні навантажувальні машини та причеми: Посібник за ред. В. Кравчука та О. Демидова. – Дослідницьке Київської обл. – 2010. – 171 с.
3. https://kinzecom.s3.amazonaws.com/Literature/MY2024_GrainCart_Literature-KE-UKR.pdf
4. <https://kobzarenko.com.ua/produkcija/bunker-1-nakopichuvach/58-pbn-16.html>
5. <https://kobzarenko.com.ua/download/PBN-ukr.pdf>
6. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів.: Навчальний посібник. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. - 263 с.
7. https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=120
8. Кривов Г.О Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов, К.О. Зворикін. – К.: КВІЦ, 2012. – 896 с.
9. ДСТУ EN ISO 5817:2022 Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT; ISO 5817:2014, IDT).
10. ДСТУ EN ISO 15614-1:2019 Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 1. Дугове та газове зварювання сталей і дугове зварювання нікелю та нікелевих сплавів (EN ISO 15614-1:2017, IDT; ISO 15614-1:2017, Corrected version 2017-10-01, IDT).

11. Титаренко В.Є. Напружено-деформований стан і довговічність рам напівпричепів / Дисерт. канд. техн. наук. – Тернопіль: ТДТУ, 2006. – 180 с.
12. Підгурський М.І. Методи прогнозування ресурсу несучих і функціональних систем бурякозбиральних комбайнів / Дисерт. докт. техн. наук. – Тернопіль: ТДТУ, 2007. – 340 с.
13. Особливості дослідження напружено-деформівного стану будівельних сталевих перфорованих балок методом скінчених елементів / М. Підгурський, І. Підгурський, М. Сташків, В. Ігнат'єва, С. Данильченко, Д. Биків, О. Підлужний // Вісник ТНТУ. — Т. : ТНТУ, 2023. — Том 111. — № 3. — С. 126–138.
14. Investigation of the Stress Intensity Factor for the Edge Crack in I-beam Under Bending Moment Author links open overlay panel /Mykola Pidgurskyi, Mykola Stashkiv, Roman Rohatynskyi, Ivan Pidgurskyi, Viktor Senchyshyn, Andriy Mushak/ Procedia Structural Integrity. Vol. 59, P. 322-329. ISSN: 2452-3216
15. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.
16. Спеціальні способи зварювання : підручник / І. В. Кривцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б. Є. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017.– 346 с.
17. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
18. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.
19. Биковський, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.

20. Александров О.Г. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення [Текст]: навчальний посібник / О.Г. Александров, Д.А. Антонюк, Капустян О.Є. – Львів: Новий світ – 2000, 2013. – 224 с.
21. https://hydrolider.com.ua/ua/p579840841-svarochnye-roboty-cloos.html?srsId=AfmBOoog3YvdW26m6cBCJ7Zl_iZLgC1_as8AuEdzSvvgQRLhB3L3qJgS
22. <https://www.indiamart.com/proddetail/qineo-step-600-c-mig-mag-co2-welding-machine-20014384791>
23. <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryuvalni-tekhnohiiyi/produkty/>
24. Камель Г. І. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 241 с.
25. <https://intron-set.com.ua/product/defektoskop-ultrazvukovoj-epoch-1000/>
26. <https://svartech.com.ua/>
27. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
28. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
29. Стеблюк М.І. С79 Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487 с.
30. Окіпний І. Б., Сенчишин В. С., Ткаченко І. Г., Комар Р. В., Дячун А. Є. Кваліфікаційна робота магістра : методичні вказівки для здобувачів другого (освітньо-професійного) рівня вищої освіти за спеціальністю G9 Прикладна механіка галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 40 с.

ДОДАТКИ