

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

«___» _____ 2024 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Конструювання та дизайн
машин»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
на тему: «Пристрій для збирання соняшнику»**

Виконав:

студент II курсу, групи МК – 31 мп

Щербань Антон Едуардович _____

Керівник:

Доц., к.т.н.

Вовк Вячеслав Володимирович _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому
дипломному проєкті немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2024

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Конструювання та дизайн машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО**

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Щербаню Антону Едуардовичу

1. Тема проєкту «Пристрій для збирання соняшнику», керівник проєкту Вовк Вячеслав Володимирович, к.т.н., доц., затверджені наказом по університету від «11» листопада 2024 р. №5000-с.

2. Термін подання студентом проєкту 09.11.2024р.

3. Вихідні данні: потужність вхідного приводу 7 кВт; кількість подвійних ходів різального елемента – 389 ходів/хв; передача вхідної потужності – карданна передача; місце встановлення – комбайн; наявність системи відкидання стебла. Геометричні та масові параметри:

довжина робочої частини	=	8152 мм
довжина центральної секції	=	2220 мм
габаритна довжина рами	≈	9400 мм
габаритна висота рами	≈	1100 мм

габаритна ширина рами	≤	1300	мм
загальна маса машини	≤	2400	кг
маса шнека	=	360	кг
маса бітера	=	400	кг
маса захисного кожуха	=	250	кг

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз стану питання та необхідності розробки пристрою; проектування та розрахунків пристрою; розробка допоміжних пристосувань; автоматизація процесів роботи з великими, за кількістю деталей, складальними одиницями; розробка процедури сертифікації.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо).

6. Дата видачі завдання 14.03.2024р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Ознайомлення з технічним завданням та матеріальною базою підприємства	14.03.2024	
2	Аналіз існуючих конструкцій машини	28.03.2024	
3	Розрахунок елементів конструкції	24.05.2024	
4	Аналіз технології виготовлення деталей та збірок	21.05.2024	
5	Розробка 3D моделі машини	15.08.2024	
6	Розробка конструкторської документації	23.09.2024	
7	Контроль процесу виготовлення дослідного зразка на виробничих потужностях замовника	26.10.2024	
8	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	09.11.2024	

Студент

_____ Антон ЩЕРБАНЬ

Керівник

_____ Вячеслав ВОВК

Затверджую
_____Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО
«__»_____ 2024 р

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ ДО ПРОЕКТУ																																							
Тема проекту	Пристрою для збирання насіння соняшнику																																						
Зміст проекту	Розробка конструкторської документації пристрою для збирання насіння соняшнику																																						
Технічні вимоги	Потужність вхідного приводу 7 кВт; кількість подвійних ходів різального елемента – 389 ходів/хв; передача вхідної потужності – карданна передача; місце встановлення – комбайн; наявність системи відкидання стебла. Геометричні та масові параметри: <table><tr><td>довжина робочої частини</td><td>=</td><td>8152</td><td>мм</td></tr><tr><td>довжина центральної секції</td><td>=</td><td>2220</td><td>мм</td></tr><tr><td>габаритна довжина рами</td><td>≈</td><td>9400</td><td>мм</td></tr><tr><td>габаритна висота рами</td><td>≈</td><td>1100</td><td>мм</td></tr><tr><td>габаритна ширина рами</td><td>≤</td><td>1300</td><td>мм</td></tr><tr><td>загальна маса машини</td><td>≤</td><td>2400</td><td>кг</td></tr><tr><td>маса шнека</td><td>=</td><td>360</td><td>кг</td></tr><tr><td>маса бітера</td><td>=</td><td>400</td><td>кг</td></tr><tr><td>маса захисного кожуха</td><td>=</td><td>250</td><td>кг</td></tr></table>			довжина робочої частини	=	8152	мм	довжина центральної секції	=	2220	мм	габаритна довжина рами	≈	9400	мм	габаритна висота рами	≈	1100	мм	габаритна ширина рами	≤	1300	мм	загальна маса машини	≤	2400	кг	маса шнека	=	360	кг	маса бітера	=	400	кг	маса захисного кожуха	=	250	кг
довжина робочої частини	=	8152	мм																																				
довжина центральної секції	=	2220	мм																																				
габаритна довжина рами	≈	9400	мм																																				
габаритна висота рами	≈	1100	мм																																				
габаритна ширина рами	≤	1300	мм																																				
загальна маса машини	≤	2400	кг																																				
маса шнека	=	360	кг																																				
маса бітера	=	400	кг																																				
маса захисного кожуха	=	250	кг																																				
Особливі вимоги	Використання в запиленому середовищі.																																						

ЛИСТ	ЗМІСТ ІЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРІАЛУ
СП	Обґрунтування необхідності розробки модифікованого пристрою для збирання соняшнику.
ОП	Пристрій для збирання соняшнику.
ТС	Додаткові пристосування.
КС	Пакет конструкторської документації для виготовлення пристрою.
СС	Розрахунок валу.
НС	Методика аналізу великих, за кількістю деталей, складальних одиниць.
Студент _____ «_____» _____ 2024 р Керівник _____ «_____» _____ 2024 р	

СП – стан питання
ОП – об’єкт проектування
ТС – технологічна складова

КС – конструкторська складова
СС – спеціальна складова
НС – наукова складова

АНОТАЦІЯ

Даний дипломний проект присвячений розробці конструкторської документації для виготовлення пристрою для збирання насіння соняшнику. Робота виконувалась на замовлення підприємства. В даній роботі проведений аналіз основних елементів рами пристрою, описано методику та проведено аналіз несучої рами пристрою. Розроблено та розраховано нову кінематичну схему пристрою, окремо наведено розрахунок валу за допомогою модуля Autodesk Inventor. Розроблено процеси автоматизації розробки конструкторської документації та допоміжних файлів для виробництва. За результатами аналізів та розрахунків створено конструкторську документацію на пристрій в двох виконаннях. Розроблено додаткові пристосування які полегшують процес виробництва та логістики пристрою в умовах підприємства замовника. Описано процедуру сертифікації, яку має пройти пристрій для можливості продажу в країнах членах Європейського союзу. Даний пристрій, на момент публікації знаходиться на стадії піднаглядової експлуатації, 4 машини продані та експлуатуються у клієнтів. Результати дипломного проекту були передані замовнику, що підтверджується відповідним актом.

Записка містить 152 сторінки, 91 рисунок, 14 таблиць, 5 додатків.

Ключові слова: *CAD, Inventor, машинобудування, автоматизація, складальні одиниці, вузли, метод скінченних елементів, DXF, PDF, iLogic, кінематика, деталі з листового металу, сертифікація.*

SUMMARY

This diploma project is devoted to the development of design documentation for the manufacture of a device for harvesting sunflower seeds. The work was carried out by order of the enterprise. This work analyzes the main elements of the device frame, describes the methodology and analyzes the bearing frame of the device. A new kinematic scheme of the device was developed and calculated, and the shaft was calculated separately using the capabilities of Autodesk Inventor. Based on the results of the analyzes and calculations, the design documentation for the device in two configurations was developed. Additional devices have been developed to facilitate the process of production and logistics of the device at the customer's enterprise. The certification procedure that the device must undergo to be sold in the countries of the European Union is described. This device, at the time of publication, is at the stage of supervised testing, where 4 machines have been sold and are in operation at customers. The results of the diploma project were handed over to the customer, which is confirmed by the relevant act.

The thesis contains 152 pages, 91 figures, 14 tables, and 5 appendices.

Keywords: *CAD, Inventor, mechanical engineering, automation, assembly units; assemblies, finite element method, DXF, PDF, iLogic, kinematics, sheet metal parts, certification.*

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1 КОНСТРУЮВАННЯ	12
1.1 Обґрунтування необхідності розробки	12
1.2 Опис механізму	12
1.3 Проектування рами	13
1.3.1 Вихідні данні	13
1.3.2 Принципова схема рами	13
1.3.3 Лонжерон	15
1.3.4 Пальцевий брус	21
1.3.5 Жорсткості задні	25
1.3.6 Спрощений розрахунок рами.....	31
1.3.7 Результати проектування рами	38
1.4 Розрахунок кінематики	41
1.4.1 Обґрунтування необхідності розробки	41
1.4.2 Кінематична схема	44
1.4.3 Конструювання зірочок.....	56
1.4.4 Проектування валу	60
1.4.5 Результати проектування кінематики	74
1.5 Допоміжні пристосування.....	76
1.5.1 Візок для переміщення та збирання.....	76
1.5.2 Опори для зберігання та транспортування.....	78
1.6 Результати	79
2 АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА.....	85

2.1	Параметризація складальної одиниці	85
2.2	Автоматизований експорт PDF креслеників	91
2.3	Автоматизований випуск DXF файлів листових деталей.....	101
2.4	Результати	106
3	СЕРТИФІКАЦІЯ.....	108
3.1	Регламент	108
3.2	Приймальні випробування дослідного зразка.....	113
3.2.1	Мета випробувань	113
3.2.2	Призначення і сфера застосування програми та методики	113
3.2.3	Об'єкт випробувань.....	113
3.2.4	Допустимі межі значень, характеристик і властивостей об'єкта ..	113
3.2.5	Загальні вимоги до умов, забезпечення та проведення випробувань.....	114
3.2.6	Методи перевірки працездатності механізму приводу.	114
3.2.7	Методи перевірки працездатності різального апарата.....	115
3.2.8	Усунення помічених дефектів і недоліків.	115
3.2.9	Вимоги безпеки	115
3.2.10	Вимірювані показники (характеристики) і точність вимірювань	116
3.2.11	Звітність	116
3.3	Піднаглядова експлуатація.....	117
3.4	Результати	122
	ВИСНОВКИ.....	123
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	124
	ДОДАТКИ.....	126

ВСТУП

Сільське господарство є однією з провідних галузей економіки, яка забезпечує населення продовольством та є важливим джерелом сировини для промисловості. З огляду на зростаючі обсяги виробництва та високі вимоги до якості продукції, актуальним завданням є вдосконалення техніки для збирання врожаю, зокрема технічних засобів для збору соняшника. Соняшник займає значну частину аграрного сектора України, і ефективне його збирання є важливим елементом для підвищення врожайності та якості кінцевої продукції.

Дана дипломна робота присвячена проектуванню та впровадженню у виробництво модифікації пристрою для збирання соняшника з підвищеними показниками жорсткості рами, та збільшеним відсотком взаємозамінності деталей для різних виконань пристрою. Проект виконується на замовлення аграрного підприємства ПП “БІЛОЦЕРКІВМАЗ”, що свідчить про високий інтерес виробників до вдосконалення сільськогосподарської техніки для підвищення ефективності та рентабельності робочих процесів.

Основна мета роботи – розробити конструкцію пристрою, яка матиме підвищену жорсткість несучої рами, збільшену можливість взаємозаміни елементів та деталей між різними виконаннями пристрою, впровадити процедуру автоматизації процесів розробки та описати процедуру сертифікації модифікованого (нового) пристрою.

Завдання проектування включають:

- проаналізувати переваги та недоліки елементів та в цілому старої конструкції пристрою;
- визначити шляхи підвищення жорсткості конструкції;
- розробити нову конструкцію несучої рами та провести порівняльний аналіз старої та нової конструкції;

- проаналізувати переваги та недоліки старої кінематичної системи пристрою;
- розробка нової кінематики з вирішенням недоліків нової конструкції;
- розробка додаткових пристосувань для вирішення логістичних та технологічних завдань;
- автоматизація процесів розробки конструкторської документації та допоміжних файлів для виробництва;
- опис процедури проходження сертифікації нового пристрою.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю забезпечення високої якості збору соняшника та зниженням втрат продукції, що є важливим чинником для аграрного сектору. Впровадження цього проекту дозволить аграрному підприємству, що замовило розробку, підвищити якість збирання врожаю та скоротити витрати, пов'язані з експлуатацією техніки. Результати дослідження можуть бути використані у виробництві сучасної аграрної техніки та сприятимуть підвищенню рентабельності збирання соняшника.

1 КОНСТРУЮВАННЯ

1.1 Обґрунтування необхідності розробки

Замовником є підприємство ПП “БілоцерківМАЗ”, технічне завдання від якого наведено в додатку В, яке займається виробництвом агротехніки, була поставлена задача провести глибоку модифікацію пристрою для збирання насіння соняшнику. Машина має 2 варіанти виконання на 9 та 7 метрів, ПЗН-9,4М та 7,4М відповідно. Тому при розробці значну увагу було приділено уніфікації компонентів, для взаємозамінності між варіантами виконання та в межах одного виконання.

При аналізі досліджуваної конструкції були виявлені недоліки, та аспекти, що потребують модифікації:

1. Недостатня жорсткість рами.
2. Надмірна вага.
3. Недостатня кількість взаємозамінних деталей.
4. Відсутність системи протяжного валу, що знижує конкурентоспроможність машини в порівнянні з конкурентами.

Завданням є усунути недоліки попередньої конструкції, зі збереженням технологічності машини, тобто використовуючи технологічні можливості виробництва які доступні на момент розробки, та зі збереженням основного технічного оснащення – 2 масивних стапелів для складання та зварювання рами. Виконання поставлених задач дозволить підняти конкурентоспроможність машини на ринку та зменшити витрати на її виробництво, що підвищить прибуток компанії.

1.2 Опис механізму

Пристрій представляє з себе навісне обладнання на комбайн, призначення якої – збір сільськогосподарських культур, в даному випадку

соняшнику. Провівши патентний пошук було знайдено конструкцію, яка відповідає загальним вимогам які ставляться до даного пристрою, патент на корисну модель № 108094 [1].

Серед основних складових пристрою можна виділити:

рама	–	призначена для розміщення на ній всіх елементів конструкції
механізм коси	–	призначений для зрізання головки соняшнику
кінематика	–	приводить в дію всі рухомі системи. Джерело потужності передається з комбайну
шнек	–	призначений для переміщення зрізаної маси до приймальної зони комбайну
бітер (мотовило)	–	призначений для переміщення зрізаної маси до шнеку
ліфтери	–	призначені для направлення соняшнику до механізму зрізання

1.3 Проектування рами

1.3.1 Вихідні данні

Вихідними даними до проектування є геометричні параметри та масові характеристики навісних елементів минулої конструкції:

довжина робочої частини	=	8152	мм
довжина центральної секції	=	2220	мм
габаритна довжина рами	≈	9400	мм
габаритна висота рами	≈	1100	мм
габаритна ширина рами	≤	1300	мм
маса шнека	=	360	кг
маса бітера	=	400	кг
маса захисного кожуха	=	250	кг

1.3.2 Принципова схема рами

Зображення принципової схеми рами показано на рис. 1.1.

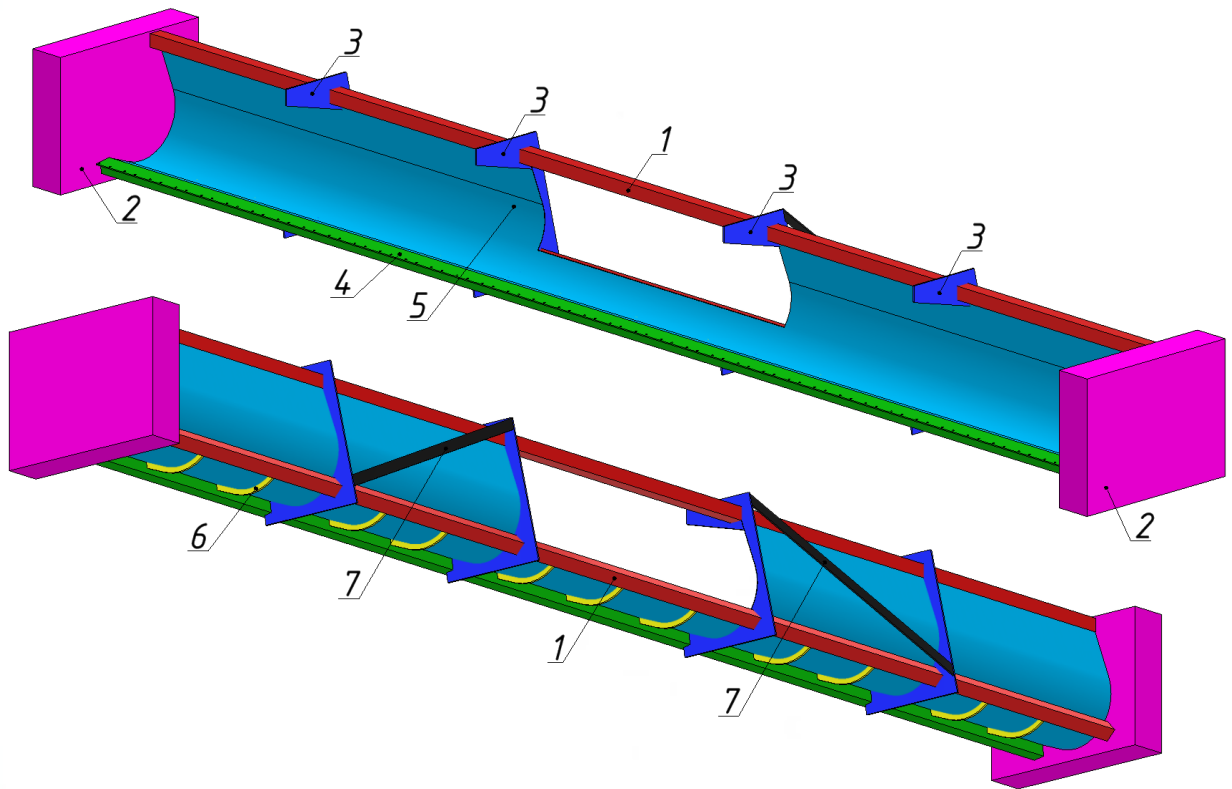


Рисунок 1.1 – Принципова схема рами

Охарактеризуємо основні елементи, з яких складається рама, номер в списку відповідає номеру на рис. 1.1:

1. Хребтові балки – рама складається з 2 хребтових балок, верхньої і нижньої, які призначені для сприйняття навантажень згину .
2. Боковини – призначена для розміщення кінематики машини.
3. Лонжерони – призначений для протидії крутним навантаженням, та з'єднують між собою основні елементи рами.
4. Пальцевий брус – призначений для встановлення на ньому ліфтерів та різальної системи. Також сприймає навантаження згину.
5. Зашивки – призначені для переміщення по ним продукту (насіння соняшника).

6. Жорсткості нижні – призначенні для сприйняття крутних навантажень.
7. Жорсткості задні – призначені для сприйняття навантажень згину.

1.3.3 Лонжерон

Конструктивно лонжерон представлений в двох виконаннях, не враховуючи дзеркальні відображення, центральний та крайній лонжерон. Для прикладу розглянемо будову крайнього лонжерону, оскільки конструкторські рішення які були вибрані для його проектування актуальні і центрального лонжерону. Розглянемо будову крайнього лонжерону старої конструкції на рис. 1.2.

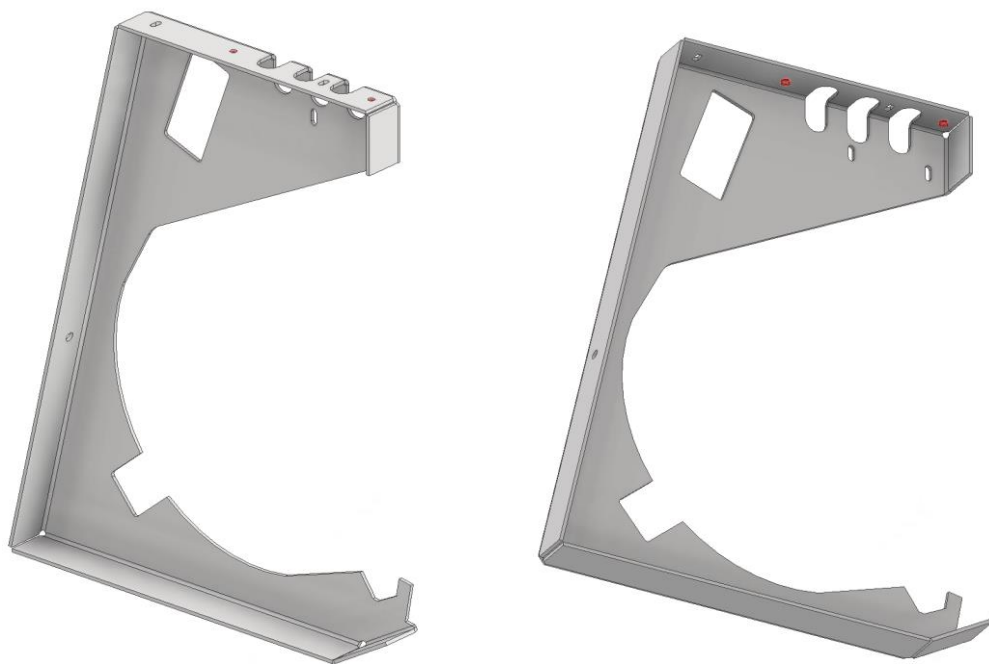


Рисунок 1.2 – Крайній лонжерон старої конструкції

На рис. 1.3 представлені 2 типи навантаження, які сприймає конструкція, зеленим кольором виділено місця фіксації:

1. В робочому положенні.

2. В транспортувальному положенні, при перевезенні машин одна на одній.

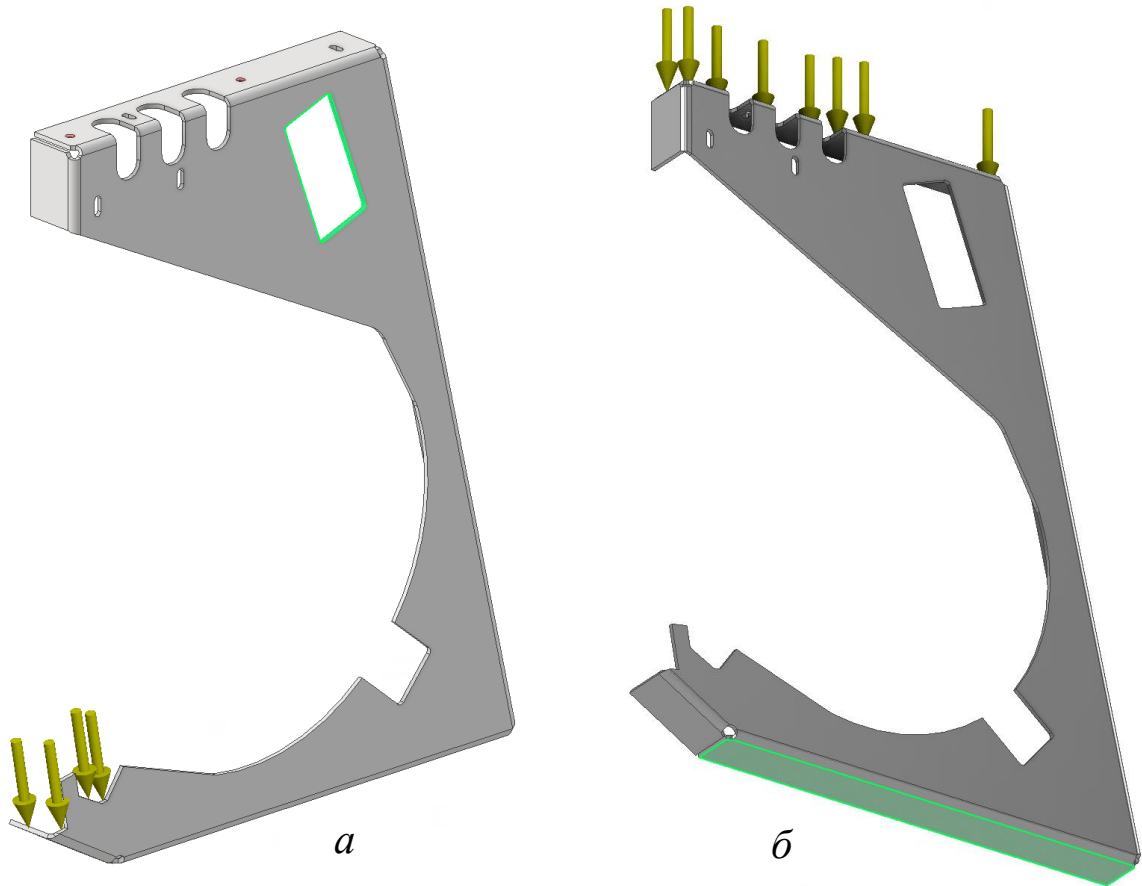


Рисунок 1.3 – Схема навантаження крайнього лонжерону,
а – робочі навантаження, б – транспортувальні навантаження

Проведемо аналіз та виявимо переваги та недоліки даної конструкції,
табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки старої конструкції лонжерону

Переваги		Недоліки	
Силовий елемент представлений однією деталлю		Не замкнений контур, що є не раціональним конструкцією для сприйняття навантажень	
Простота виготовлення		Велика вага	
Відсутні місця кріплень додаткових пристосувань			

Для усунення недоліків попередньої конструкції лонжерону було прийнято декілька рішень:

- створити коробчасту структуру;
- мінімізувати використання матеріалу, який не сприймає навантаження;
- додати місця кріплення додаткових пристосувань.

Результатом проектування став лонжерон нової конструкції, представлений на рис. 1.4.

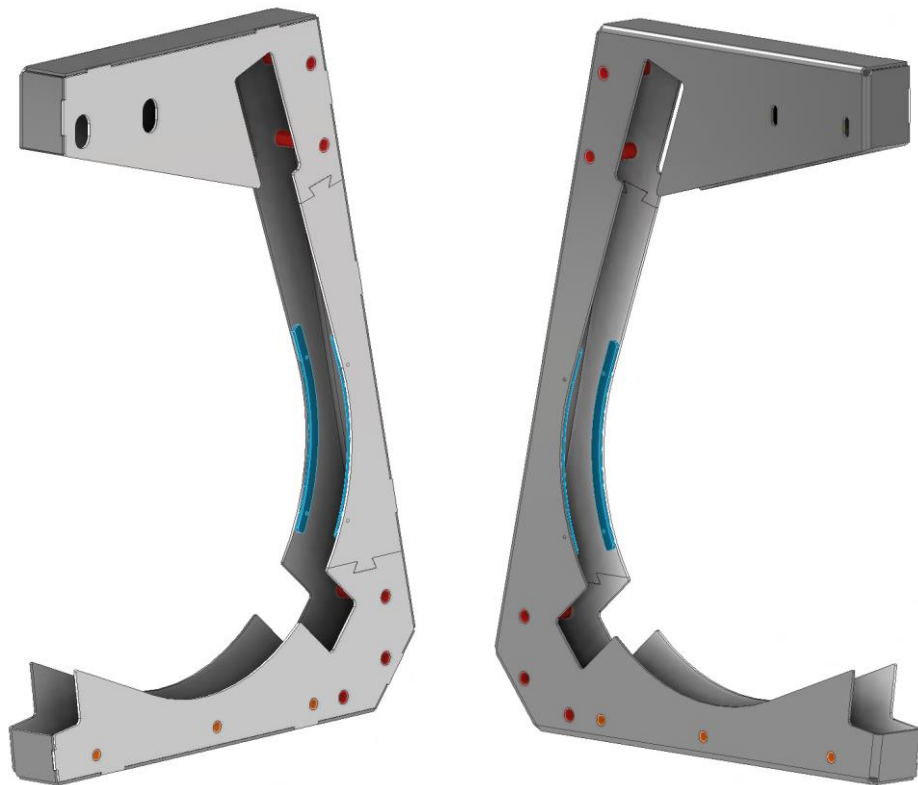


Рисунок 1.4 – Крайній лонжерон нової конструкції

Для попередньої та модифікованої конструкції був проведений статичний аналіз за допомогою середовища Autodesk Inventor 2024, для розрахунку напружень та переміщень. Результати аналізів приведені на рис. 1.5 та рис. 1.6, для кращої візуалізації всі переміщення мають масштабний коефіцієнт.

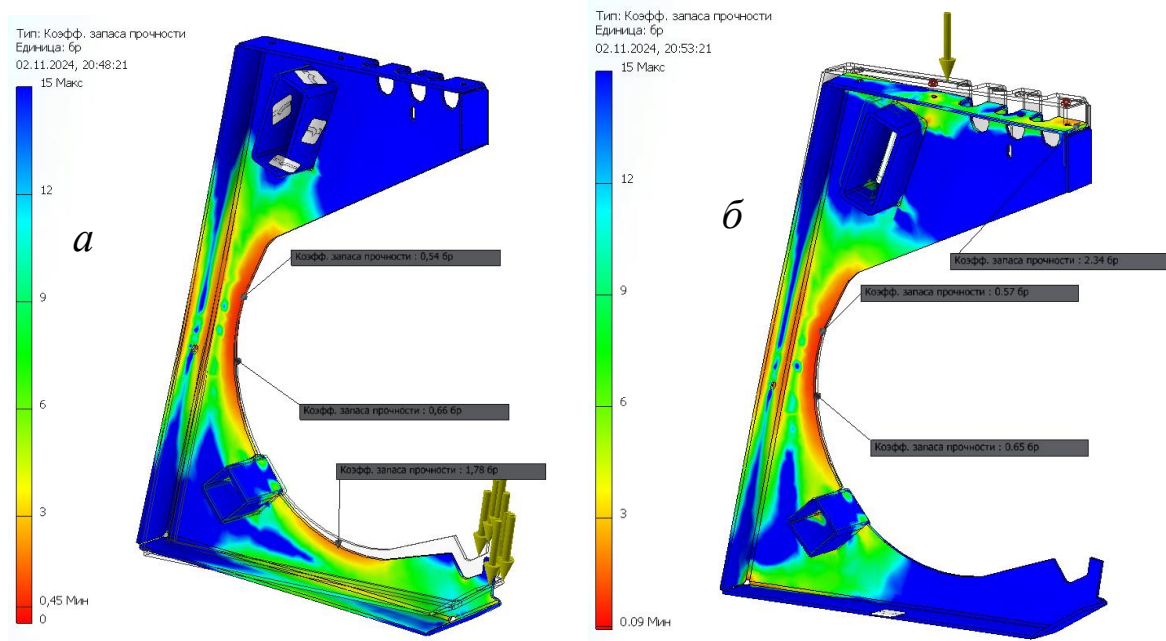


Рисунок 1.5 – Аналіз крайнього лонжерону старої конструкції,
а – робочі навантаження, б – транспортувальні навантаження

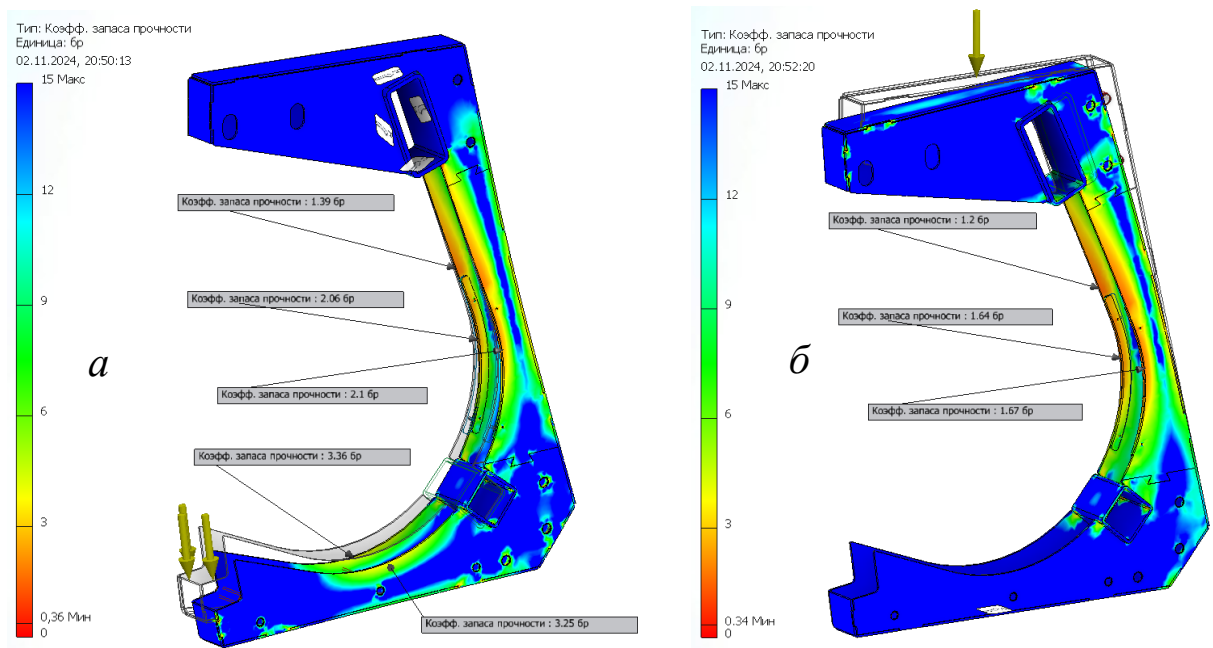


Рисунок 1.6 – Аналіз крайнього лонжерону нової конструкції,
а – робочі навантаження, б – транспортувальні навантаження

Основні результати аналізу старої та нової конструкції наведені в табл. 1.2.

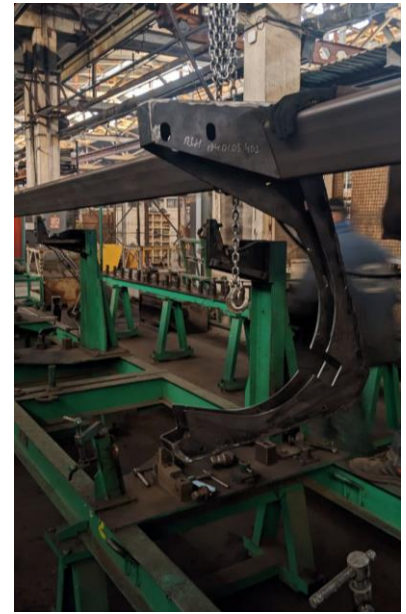
Таблиця 1.2 – Порівняння основних характеристик старої та нової конструкції крайнього лонжерону

		Стара конструкція		Нова конструкція	
Тип навантаження		а	б	а	б
Маса	кг	19,4		13,9	
Максимальне переміщення	мм	13,3	14,3	11,5	5,9
Максимальне напруження	МПа	417,0	362,0	149,0	172,0
Кількість деталей	шт	3,0		17,0	

Модифікована складальна одиниця лонжеронів містить значно більшу кількість деталей, що частково зумовлено появою нового функціоналу, а саме точок підвісу додаткових пристосувань. Збільшення кількості деталей є недоліком даної конструкції, в порівнянні з попередньою, однак оскільки процес виробництва нової конструкції, не є складним для даного виробництва, та головною задачею є збільшення жорсткості та зменшення маси конструкції, недолік можна прийняти. Фото реального процесу виготовлення елемента лонжерону та його місце встановлення на стапель показано на рис. 1.7, складальний кресленик показано на рис. 1.8. Центральний лонжерон відрізняється від крайнього, тим що має приєднувальні отвори для кріплення на комбайн, та більшу товщину центральної гнутої деталі.



а



б

Рисунок 1.7 – Фото реального лонжерону,
а – процес виготовлення, б – встановлений на стапель

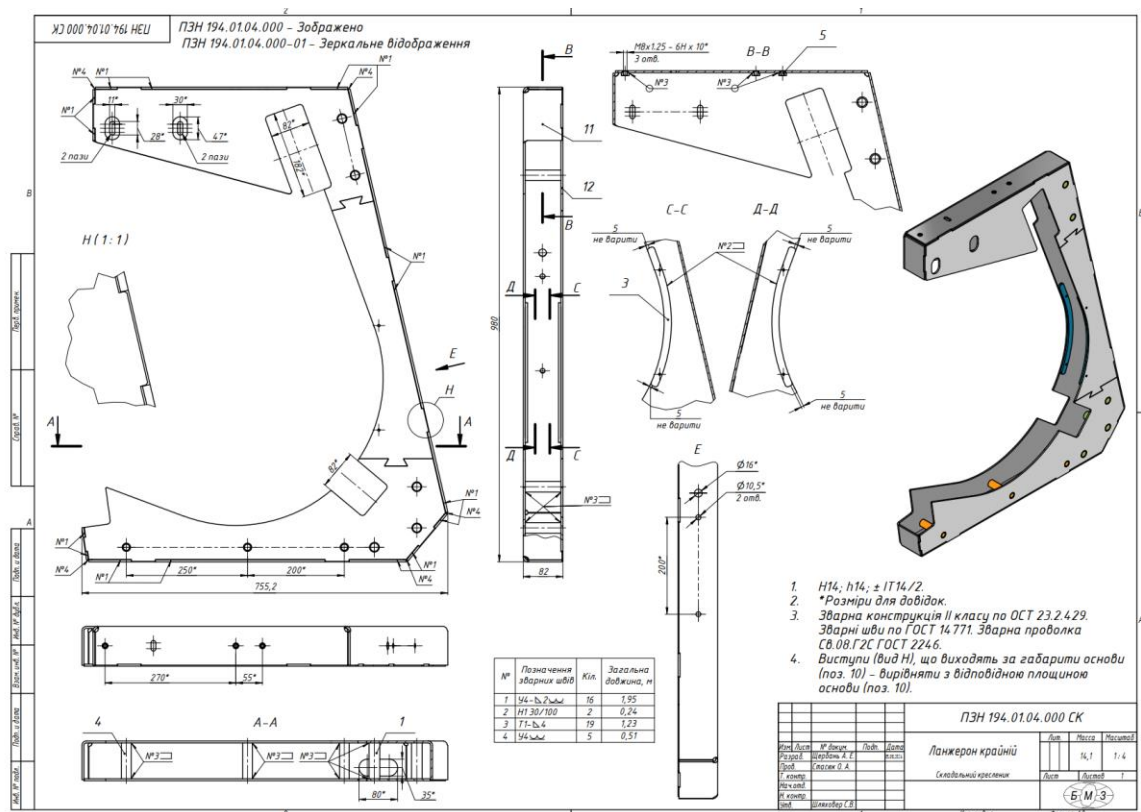


Рисунок 1.8 – Складальний креслення крайнього лонжерону

1.3.4 Пальцевий брус

Розглянемо стару конструкцію пальцевого бруса на рис. 1.9, та схему його навантаження на рис. 1.10.

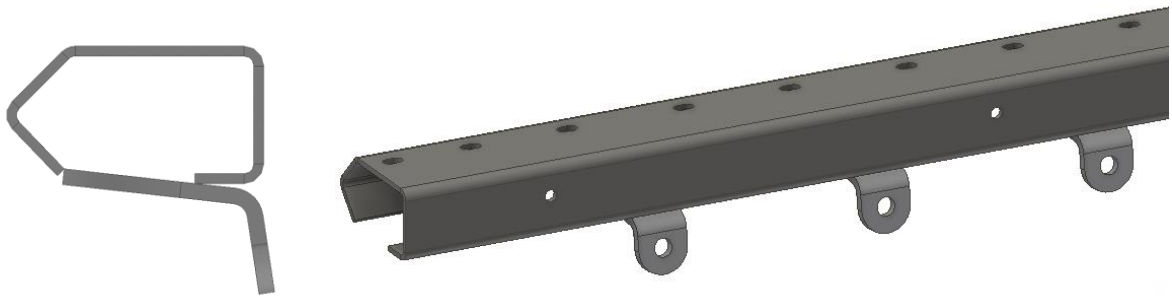


Рисунок 1.9 – Пальцевий брус старої конструкції

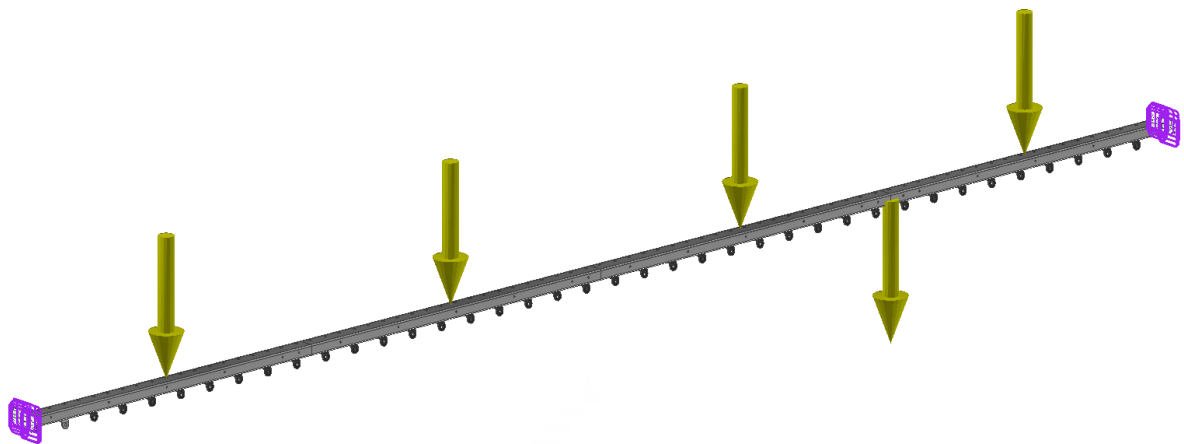


Рисунок 1.10 – Схема навантаження пальцевого бруса

Проаналізуємо переваги та недоліки старої конструкції пальцевого бруса в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Переваги та недоліки старої конструкції пальцевого бруса

Переваги	Недоліки
Відносно не велика вага	Не раціональна форма прерізу для сприйняття робочих навантажень
	Необхідність габаритного технологічного оснащення для виготовлення

Тому для даної конструкції рами було прийняте рішення повністю змінити даний вузол. В якості основного несучого елементу була обрана труба 80x60x5 ГОСТ 8645-82, та гнута листова деталь товщиною 5 мм. Нова конструкція пальцевого бруса показана на рис. 1.11.

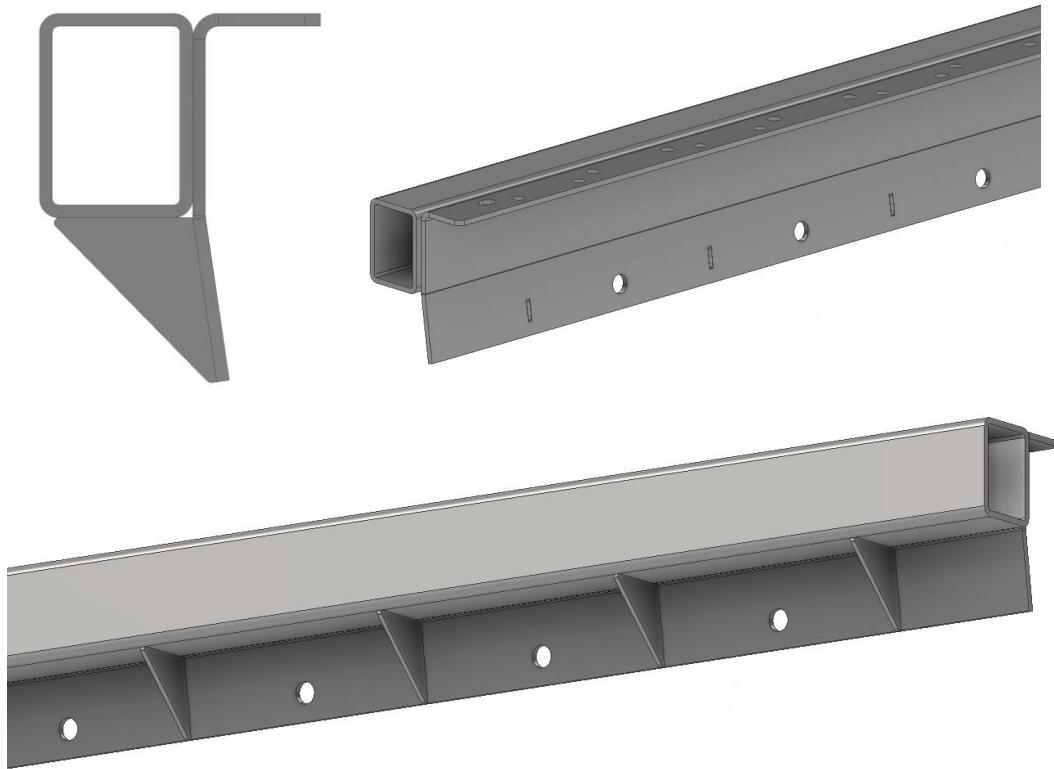


Рисунок 1.11 – Пальцевий брус нової конструкції

Для порівняння конструкцій достатньо порівняти момент опору критичних перерізів попередньої та модифікованої конструкції. Але також був проведений статичний аналіз двох конструкцій за допомогою середовища Autodesk Inventor 2024, рис. 1.12 та рис. 1.13, для кращої візуалізації всі переміщення мають масштабний коефіцієнт. Результати аналізу двох конструкцій наведені в табл. 1.4 . Для розрахунку прогину брус жорстко закріплено з двох кінців та прикладено розподілене навантаження в 250 кг на всю верхню поверхню, місця закріплення виділено квадратним символом.

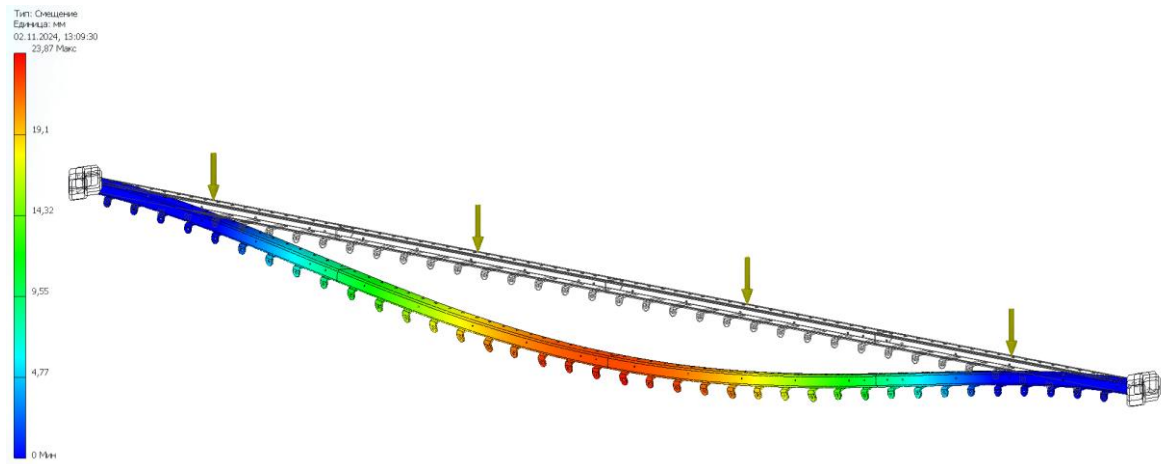


Рисунок 1.12 – Результати аналізу старої конструкції пальцевого бруса на прогин

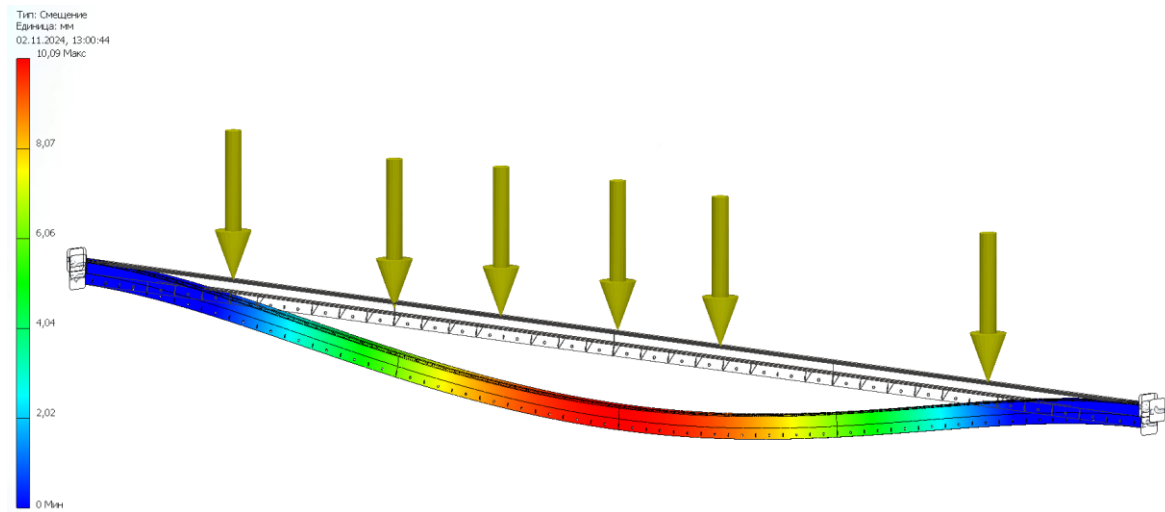


Рисунок 1.13 – Результати аналізу нової конструкції пальцевого бруса на проги

Таблиця 1.4 – Порівняння основних характеристик старої та нової конструкції пальцевого бруса

		Стара конструкція	Нова конструкція
Маса	кг	112,1	155,7
Максимальне переміщення	мм	23,9	10,9
Максимальне напруження	МПа	139,6	105,6
Кількість деталей	шт.	43,0	40,0

В результаті модифікована конструкція має значно кращі характеристики жорсткості та міцності, при незначному збільшенні маси. Значним плюсом даної конструкції, в порівнянні з попередньою, є те, що для її складання не потрібно додаткового оснащення, оскільки взаєморозміщення елементів забезпечує з'єднання шип-паз. Також нова конструкція модульна, її легко можна використовувати для 2 виконань машини. З конструктивних особливостей різниця довжини між двома виконаннями становить 1840 мм, беручи це до уваги 2 центральні секції є однаковими, та мають довжину 1840 мм. Це означає що для коротшого виконання, а саме ПЗН-7,4М, достатньо прибрати одну центральну секцію, щоб отримати необхідну нову складальну одиницю. Це скорочує номенклатуру деталей та полегшує процес виробництва. Складальний кресленик нової конструкції пальцевого бруса показаний на рис. 1.14.

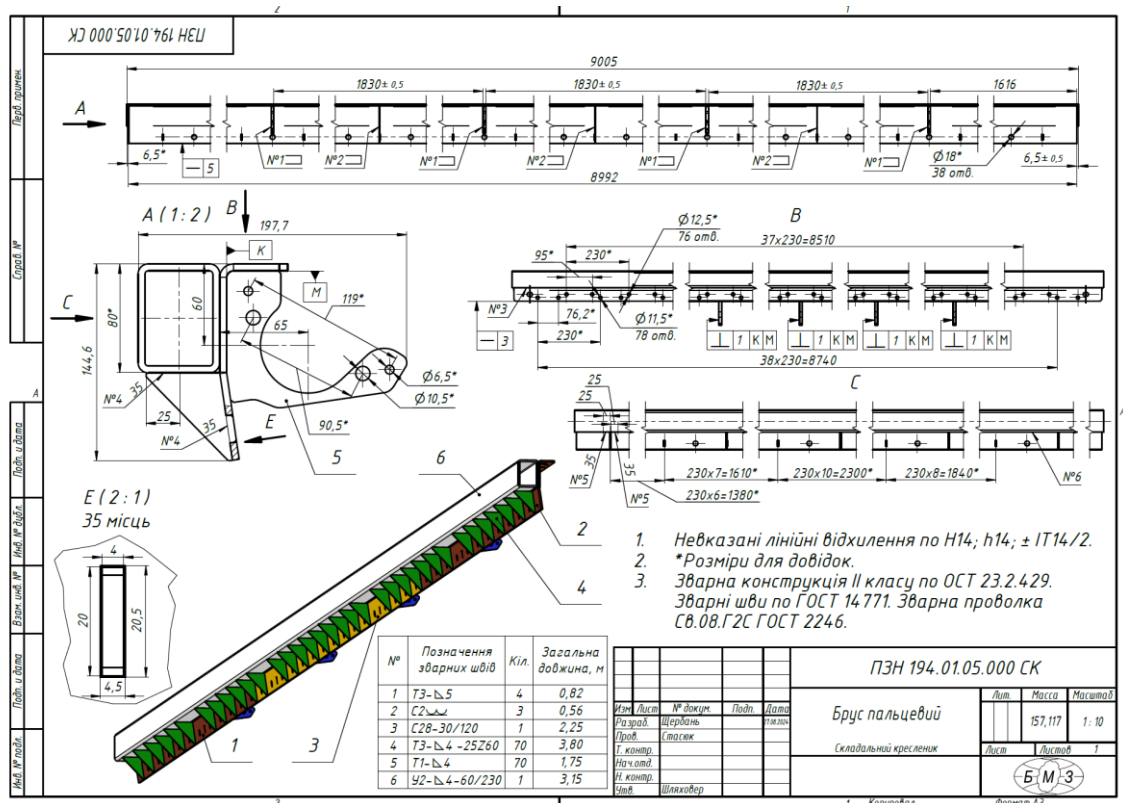


Рисунок 1.14 – Складальний кресленик пальцевого бруса

1.3.5 Жорсткості задні

Розглянемо конструкцію задніх жорсткостей на старій конструкції рами, рис. 1.15.



Рисунок 1.15 – Задня жорсткість старої конструкції, фронтальний вигляд

Проведемо аналіз та виявимо переваги та недоліки старої конструкції задніх жорсткостей в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Переваги та недоліки старої конструкції задньої жорсткості

Переваги	Недоліки
Мінімальна кількість деталей	Конструкція протидіє згиним навантаженням лише в одній площині
	Довга та відносно тонка деталь, під дією навантаження буде втрачати стійкість
	Надмірна вага

Для усунення недоліків попередньої конструкції, була розроблена принципово нова схема задніх жорсткостей. Варто зазначити що права та ліва задні жорсткості принципово відрізняються лише довжиною, а саме різниця складає 262 мм, всі конструкторські рішення для двох задніх жорсткостей ідентичні. Всі розрахунки будуть проводитись для довшої задньої жорсткості. Для початку було створено спрощену модель, яка показана на рис. 1.16.

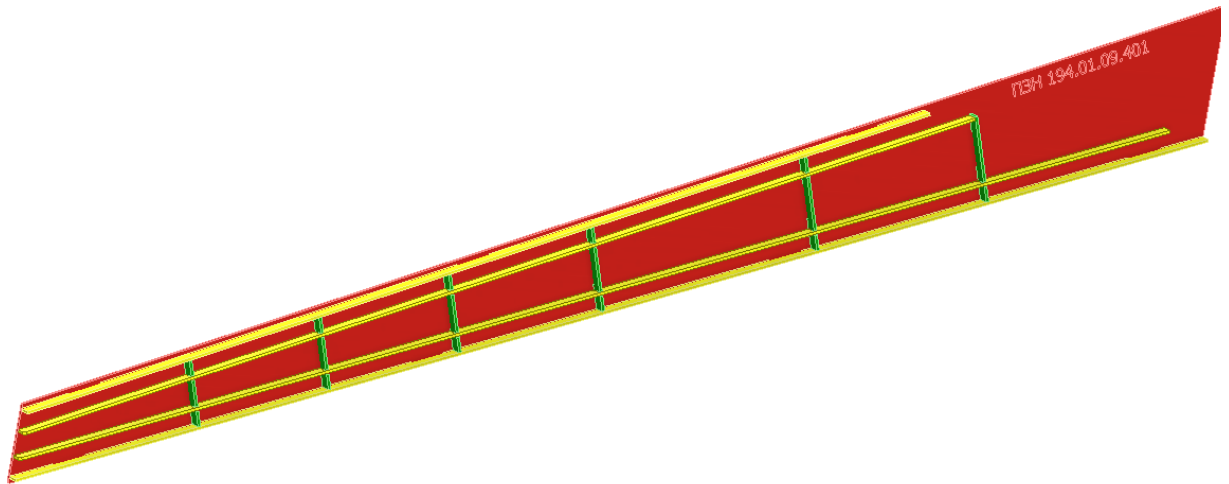


Рисунок 1.16 – Спрощена модель задньої жорсткості

Для досягнення найбільш ефективної форми та зменшення маси було застосовано функції генеративного дизайну в Autodesk Inventor. Результат показаний на рис. 1.17

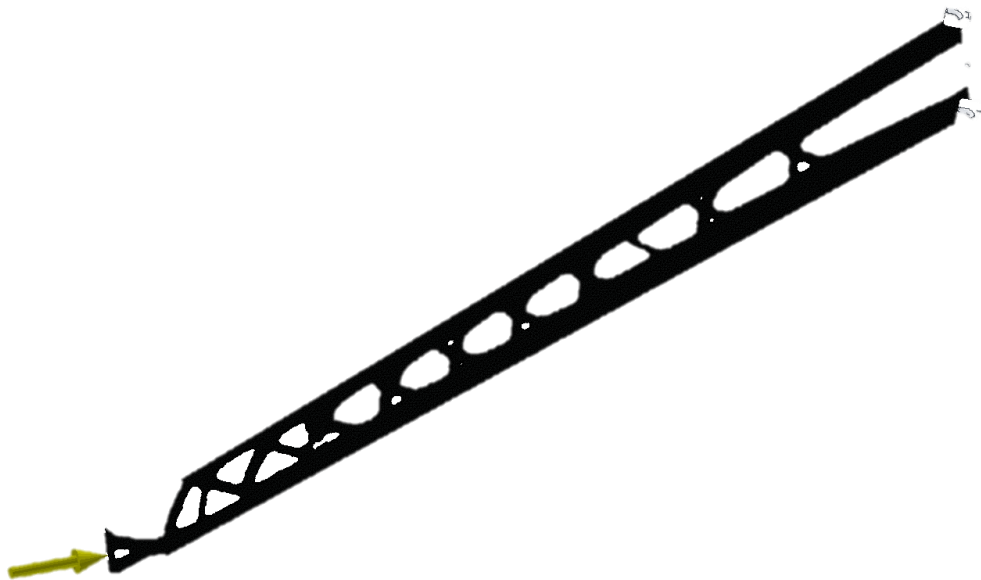


Рисунок 1.17 – Результат роботи модуля генеративного дизайну на прикладі задньої жорсткості

Аналізуючи результати генеративного дизайну рис. 1.17 та враховуючи конструкторські та технологічні вимоги, було розроблено фінальний варіант

конструкції задньої жорсткості показаний на рис. 1.18 та його місця встановлення показано на рис. 1.19.

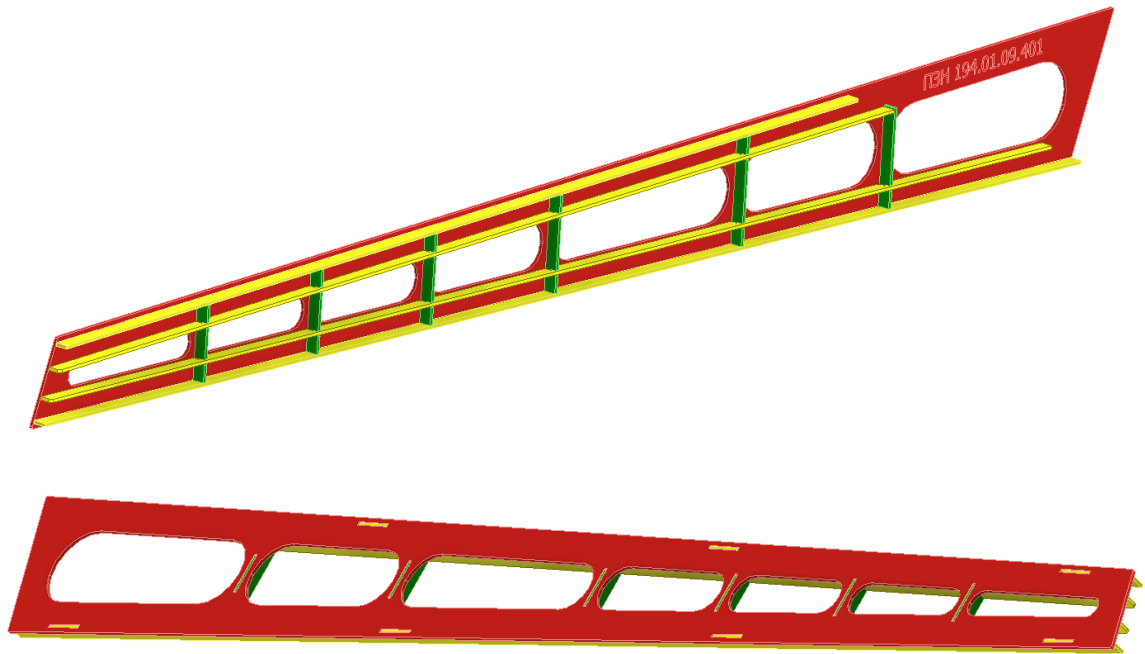


Рисунок 1.18 – Задня жорсткість нової конструкції

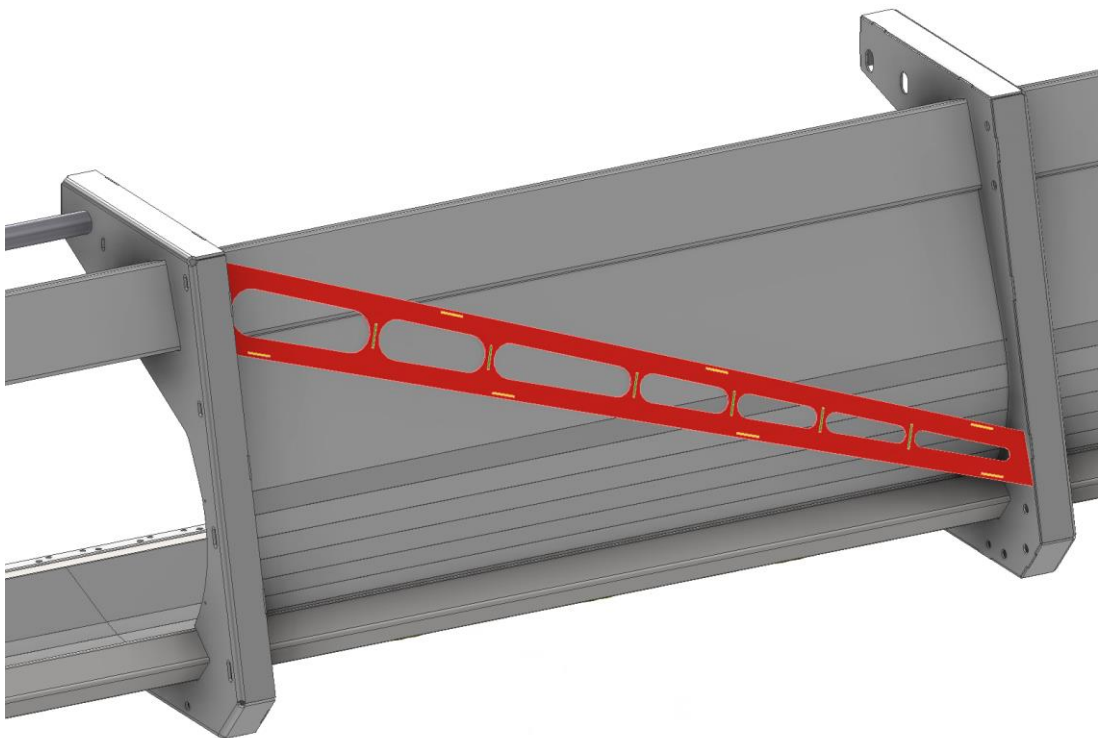


Рисунок 1.19 – Місце встановлення задньої жорсткості

Для порівняння двох конструкцій був проведений статичний аналіз за допомогою середовища Autodesk Inventor 2024. Результати аналізу показано на рис. 1.20 для нової конструкції та на рис. 1.21 для старої конструкції. До жорсткостей було прикладено силу в 100 кг, місця закріплення виділені квадратним символом.

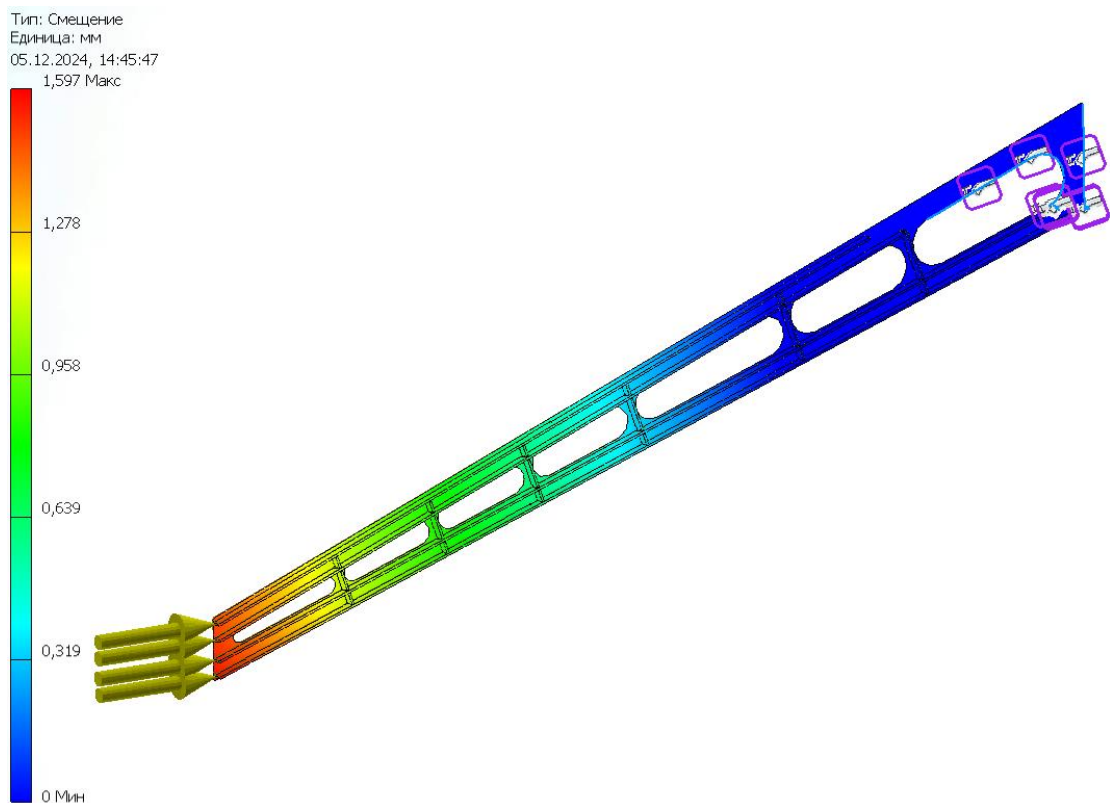


Рисунок 1.20 – Результати аналізу на переміщення для нової конструкції задньої жорсткості

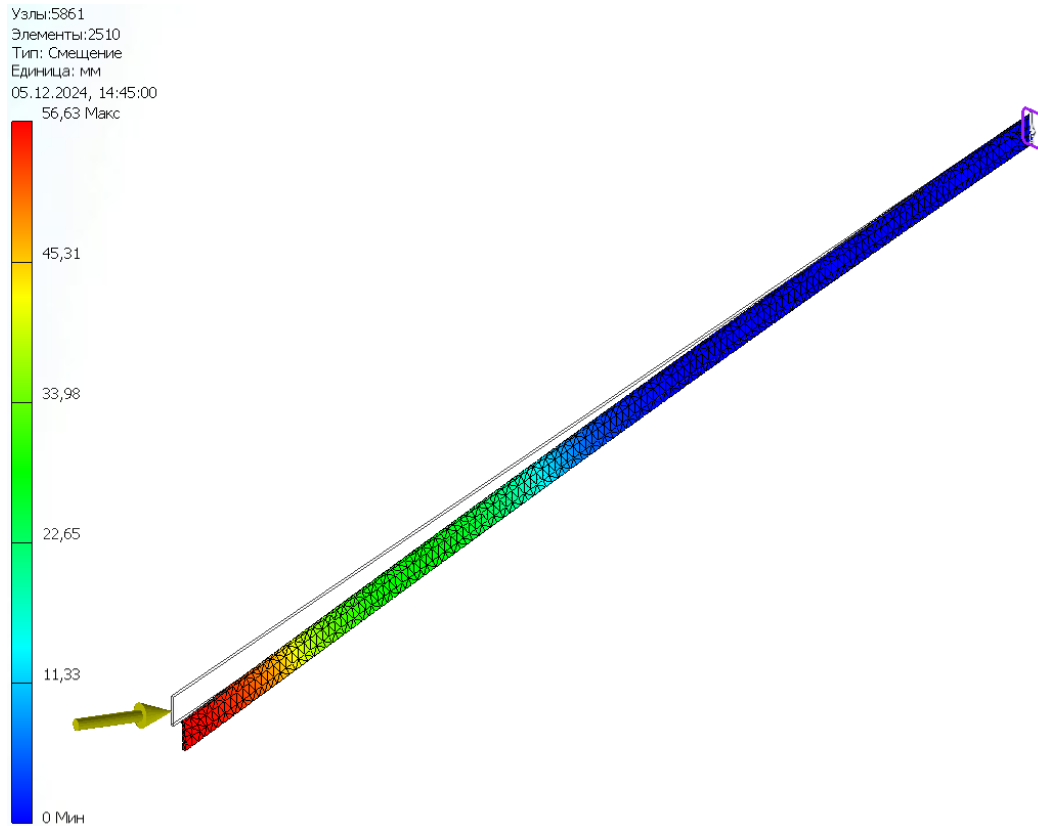


Рисунок 1.21 – Результати аналізу на переміщення для старої конструкції задньої жорсткості

Результати аналізу двох конструкцій наведені в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Порівняння основних характеристик старої та нової конструкції задніх жорсткостей

		Стара конструкція	Нова конструкція
Маса	кг	8,1	8,7
Максимальне переміщення	мм	56,6	1,6
Максимальне напруження	МПа	217,2	62,3
Кількість деталей	шт.	1	11

В результаті нова конструкція має на порядок кращі характеристики міцності та жорсткості в двох площинах, при практично однаковій масі. Однак з технологічної точки зору та простоти виготовлення нова конструкція значно

складніша. Для полегшення процесу збирання, перед зварюванням, було додане гравіювання, для візуального контролю деталей. До того ж, для покращення відсотку корисного використання матеріалу для лазерному розкрою, вирізи, для зменшення маси, основної деталі розроблялися не лише з урахуванням характеристик міцності, але й щоб в даних проміжках можна було б розмістити і інші деталі, рис. 1.22. Для забезпечення цієї можливості ці деталі були спроектовані з листового матеріалу однакової товщини.



Рисунок 1.22 – Приклад мінімізації відходів виробництва

Складальний кресленик задньої жорсткості показаний на рис. 1.23, та реальні фото конструкції показані на рис. 1.24

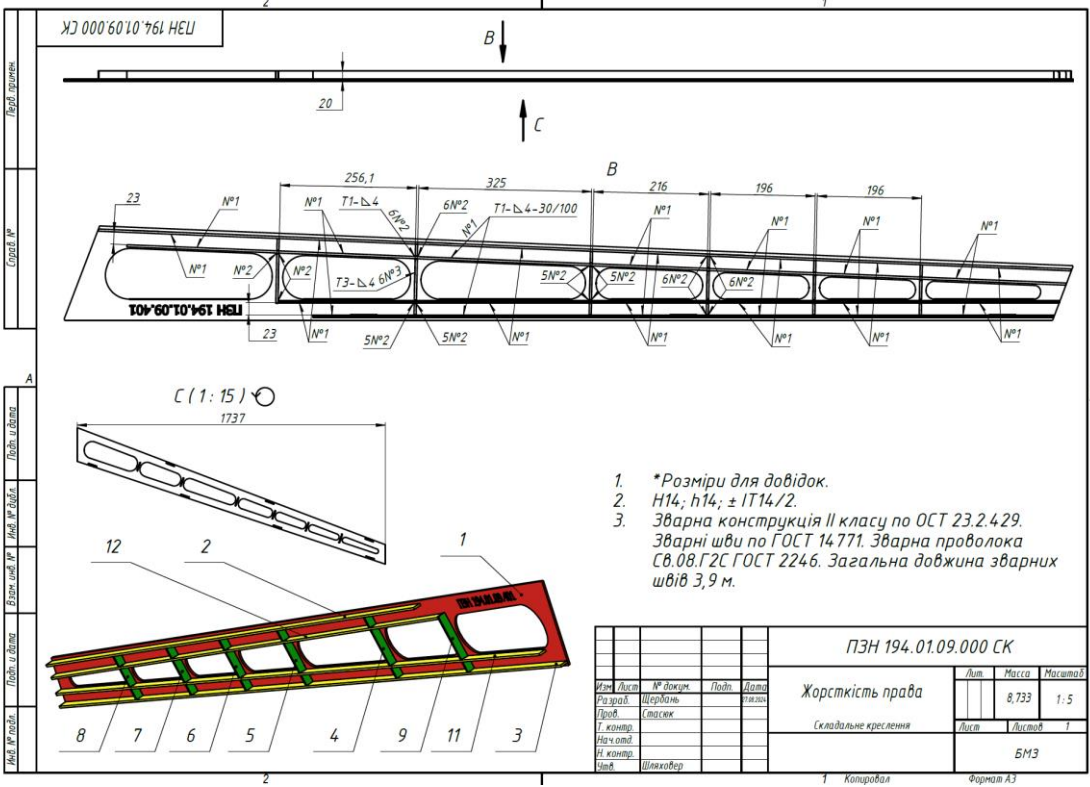


Рисунок 1.23 – Складальний кресленик задньої жорсткості



Рисунок 1.24 – Реальні фото нової задньої жорсткості

1.3.6 Спрощений розрахунок рами

При проведенні аналізу великих збірок, в даному випадку повної складальної одиниці рами, може виникнути проблема з нестачею обчислювальних потужностей комп'ютера. Є декілька варіантів вирішення даної проблеми.

Провести розрахунок на більш потужному комп'ютері, або за допомогою хмарних сервісів. Нажаль в даному випадку такої можливості не було. Для порівняння, характеристики комп'ютера, на якому проводились всі аналізи та розрахунки: процесор – Intel(R) Core(TM) i7-8550U 1.8GHz, оперативна пам'ять – 16 ГБ 2400 МГц, відеокарта – NVIDIA GeForce MX150.

Одним із варіантів є аналіз окремих частин складальної одиниці, в результаті спробувати зробити висновки про загальну конструкцію, за результатами аналізу окремих її частин. Даний метод чудово відходить для симетричних конструкцій, на які діють симетричні навантаження. В таких випадках достатньо провести аналіз лише однієї симетричної частини, та отримані результати практично точно будуть відображати результати аналізу для повної складальної одиниці, однак рама, яка розглядається не є симетричною, тому даний метод для даного випадку не є актуальним. Тому були проведені статичні аналізи окремо для всіх елементів рами, які було змінено. Однак даний метод не дає можливості оцінити всю систему одразу, та оцінити вплив кожного елемента на інші, та всю систему загалом.

Тому для проведення аналізу великої складальної одиниці, її потрібно підготувати, та спростити для полегшення розрахунку. Потрібно створити окрему, спрощену складальну одиницю для аналізу, з якої слід вилучити всі дрібні деталі, та елементи на деталях, які не будуть впливати на результати розрахунку. Наприклад отвори, на поверхнях які не сприймають навантаження. Подібні дії, дозволять сформувати більш просту сітку для аналізу методом скінченних елементів, а відсутність дрібних елементів та деталей, дозволить створити більш грубу, та просту сітку, що значно вплине на швидкість аналізу. Приклад спрощеної нової рами пристрою для проведення аналізу показано на рис. 1.25 та старої показано на рис. 1.26.

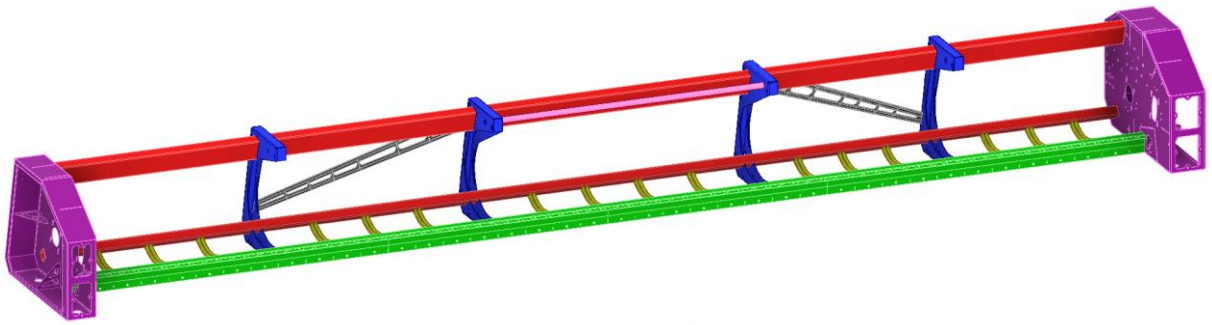


Рисунок 1.25 – Спрощена складальна одиниця нової рами пристрою

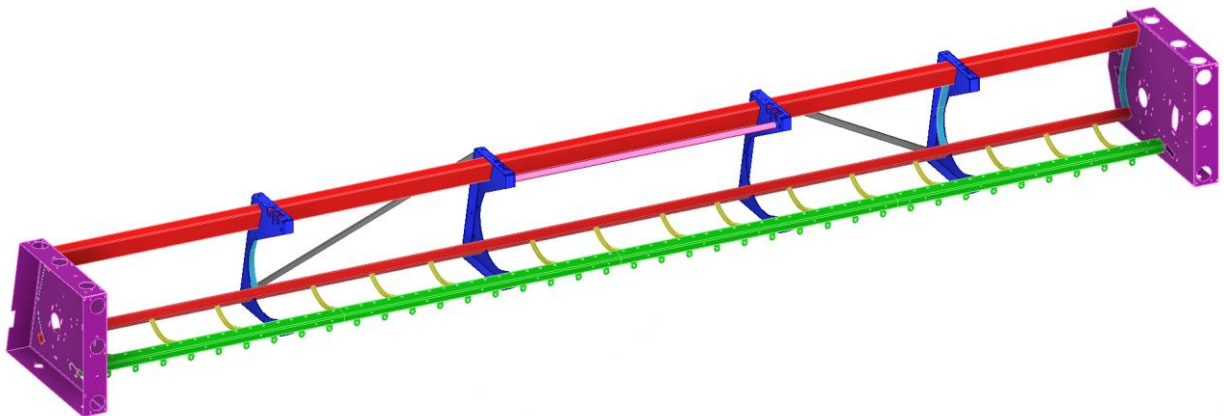


Рисунок 1.26 – Спрощена складальна одиниця старої рами пристрою

Якщо маса спрощених елементів та збірок сильно відрізняється від оригінально, масові характеристики потрібно прописати вручну, оскільки це важливо для загального аналізу. Загалом проблема з розрахунком може бути вирішена на даному етапі. Однак для даного випадку цього не достатньо. Якщо складальна одиниця відповідає певним вимогам, наприклад в більшості складається з листових деталей або є фермою, то сучасні CAD програми, що мають модуль аналізу, дозволяють значно спростити подібні складальні одиниці для розрахунку. Дана складальна одиниця рами на 95% складається з листових деталей, що дає можливість скористатися методом заміни твердотільних елементів на поверхні, який доступний в модулі аналізу напружень Autodesk Inventor. Приклад такої заміни листових елементів рами представлений на рис. 1.27.

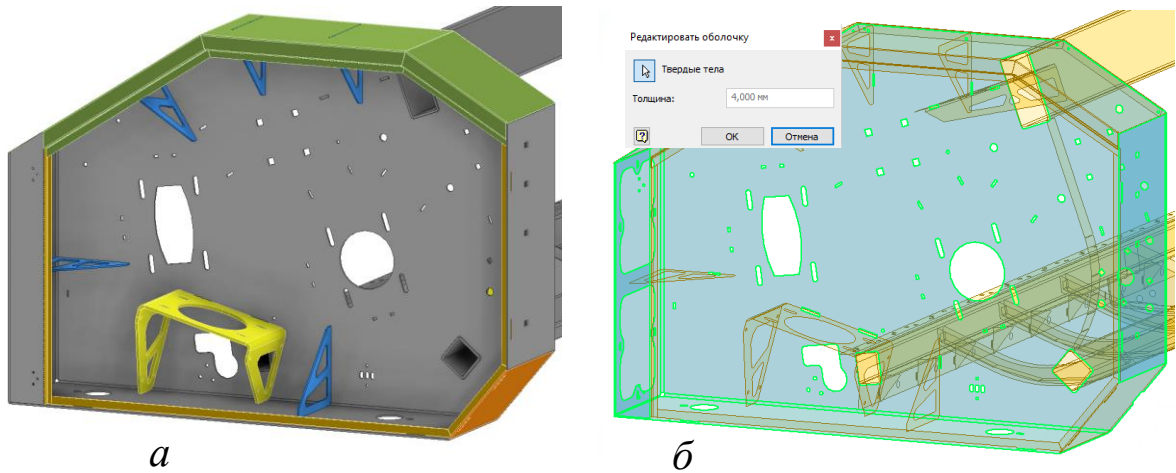


Рисунок 1.27 – Зображення фрагменту складальної одиниці до заміни а), після заміни б) твердотільних елементів на еквівалентні їм поверхні

Отримана поверхня зберігає в собі інформацію про товщину та масу деталі, з якої вона сформована. Тому для проведення аналізу всі листові деталі рами були замінені на поверхні, що дозволило провести аналіз всієї рами, а не окремих її частин. Даний метод дозволяє суттєво зменшити час на розрахунок, що значно знижує вимоги до потужностей комп'ютера для проведення розрахунку. В основному це пов'язано з тим, що метод прибирає з розрахунку одну з просторових координат для перерізу, що теоретично скорочує розрахунок на 30%. Також даний підхід дозволяє використовувати більш грубу сітку. Якщо деталь є тонкостінною, де товщини стінки відноситься до габаритів деталі як 1/100, або менше, то даний метод дає результати, які рівні результатам при стандартному аналізі твердотільних елементів, приклад такого порівняння показано на рис. 1.28.

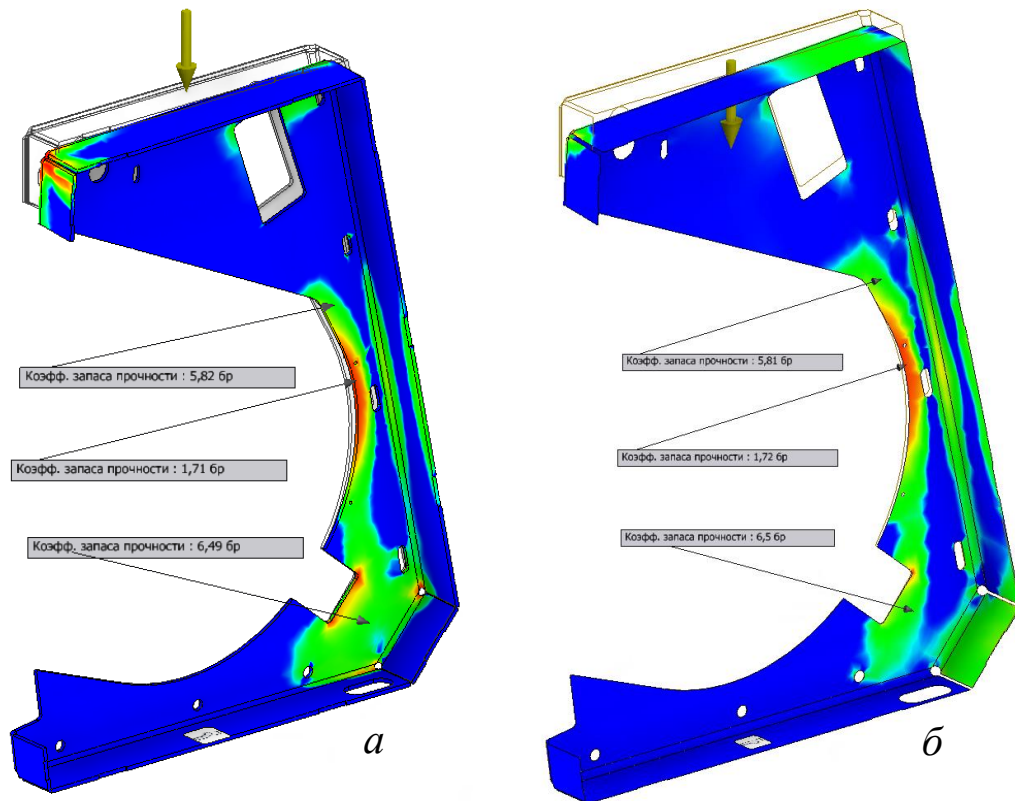


Рисунок 1.28 – Порівняння результатів аналізу до заміни твердого а) та еквівалентної йому поверхні б)

Є невеликі відмінності в результатах аналізу, які в основному пов'язані з концентраторами напружень на гранях листової деталі, але всі інші результати аналізу в межах основного матеріалу деталі, співвідносяться коректно. Оскільки максимальний розмір сітки залежить від мінімального розміру елемента деталі, а в випадку листових деталей це в основному є товщина листа, прибираючи її ми знімаємо обмеження на максимальний розмір елемента сітки. На рис. 1.29 показано складальну одиницю нової рами пристрою в середовищі аналізу напружень, після заміни твердотільних деталей на еквівалентні їм поверхні. До новостворених поверхонь прикладаються робочі зусилля та накладаються взаємозв'язки. Для проведення аналізу до рами, окрім власної ваги, було прикладено навантаження від ваги шнеку – 2400 Н (червоний колір сили), бітеру – 3400 Н (синій колір сили), захисного кожуху – 2500 Н (фіолетовий колір сили) та навантаження в 2000 Н (зелений колір сили) на верхню площину пальцевого

брусу, яке імітує робочі навантаження в процесі роботи. Даний аналіз проводився лише для першої, довшої, конфігурації машини ПЗН-9,4М, урахуванням того, що при меншій розмірах ПЗН-7,4М, навантаження та переміщення будуть меншими.

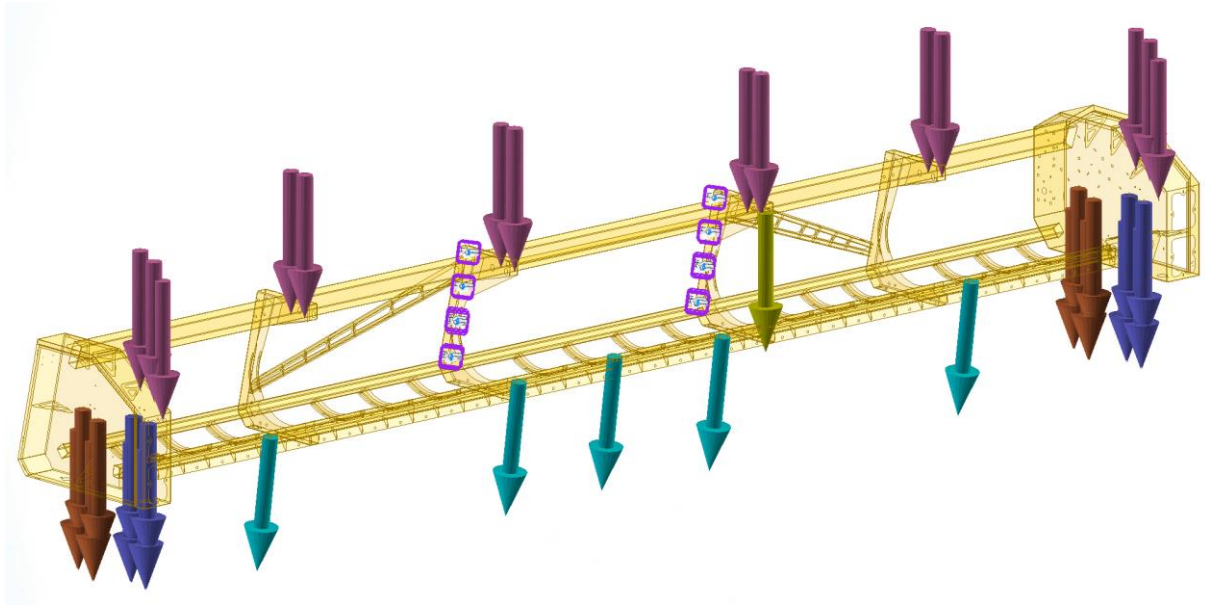


Рисунок 1.29 – Спрощена складальна одиниця нової рами пристрою після заміни тіл на еквівалентні поверхні та прикладеними навантаженнями

В результаті проведення аналізу розраховано напруження та деформації елементів складальної одиниці, в якості прикладу на рис. 1.30 та рис. 1.31 показано розподіл коефіцієнту запасу міцності відповідно в новій рамі пристрою та старій відповідно.

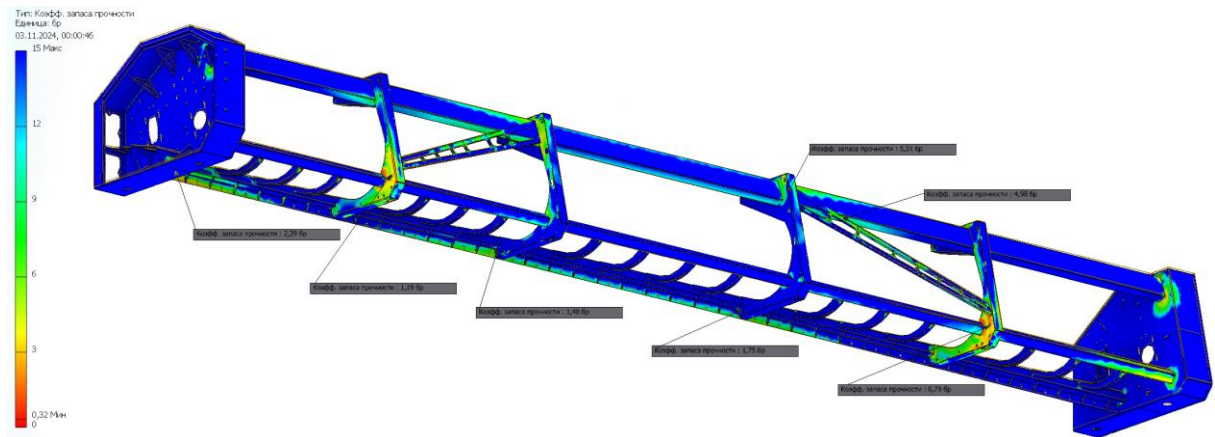


Рисунок 1.30 – Результати аналізу спрощеної нової рами пристрою

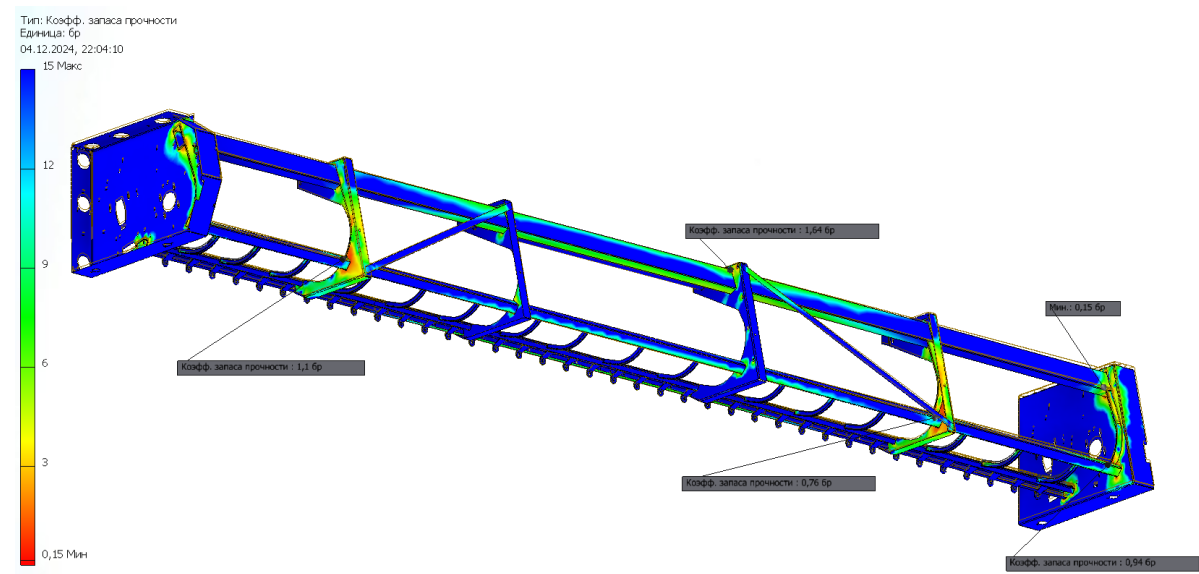


Рисунок 1.31 – Результати аналізу спрощеної старої рами пристрою

На рис. 1.30 та рис. 1.31 можемо помітити, що коефіцієнт запасу міцності в критичних зонах менше одиниці, це пов'язано з декількома факторами: в аналіз не було включено зашивки, через значне ускладнення процесу аналізу, також до рам були прикладені роботи навантаження, які сприймає вже цілісний пристрій, де такі елементи як шнек, кожух та бітер, з'єднують бокові стінки рами між собою що дозволяє витримувати більші навантаження, через складність розрахунку ці елементи не було включено в аналіз. Оскільки дані розрахунки виконувались для порівняння двох конструкцій між собою, даних результатів достатньо для того аби зробити висновок як одна конструкція відрізняється від іншої, оскільки всі виключені з аналізу елементи однаково

впливають на нову та стару конструкцію пристрою. Результати аналізів зведемо в табл. 1.7 для порівняння:

Таблиця 1.7 – Порівняння основних характеристик старої та нової конструкції рами пристрою

	Стара конструкція	Нова конструкція
Маса кг	1037,6	952,1
Максимальне переміщення мм	38,2	19,4
Максимальне напруження МПа	965,5	627,7
Кількість деталей шт.	213,0	248,0
Номенклатура деталей шт.	58,0	74,0

В результаті не зважаючи на збільшення кількості деталей, що в основному пов'язано з новою конструкцією пальцевого бруса, задніх жорсткостей та лонжеронів, модифікована рама має значно кращі характеристики жорсткості та міцності, при тому, що загальна вага нової конструкції на 85 кг менше. Тому отриманий результат можна вважати цілком успішним.

1.3.7 Результати проектування рами

Фінальним результатом є розробка складальних креслеників та специфікацій всіх елементів які входять до рами та самої рами безпосередньо. 3D модель нової рами пристрою показано на рис.1.32 та рис. 1.33, частину складального кресленик нової рами показаний на рис. 1.34 та рис 1.35, специфікація наведена в додатку А.

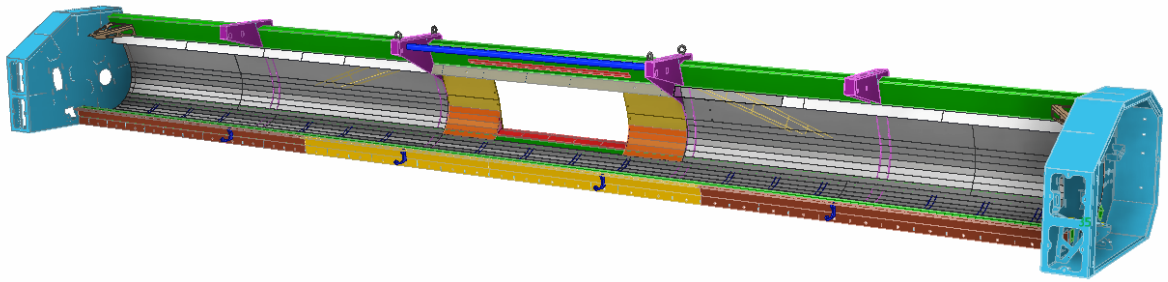


Рисунок 1.32 – 3D модель рами пристрою, вид спереду

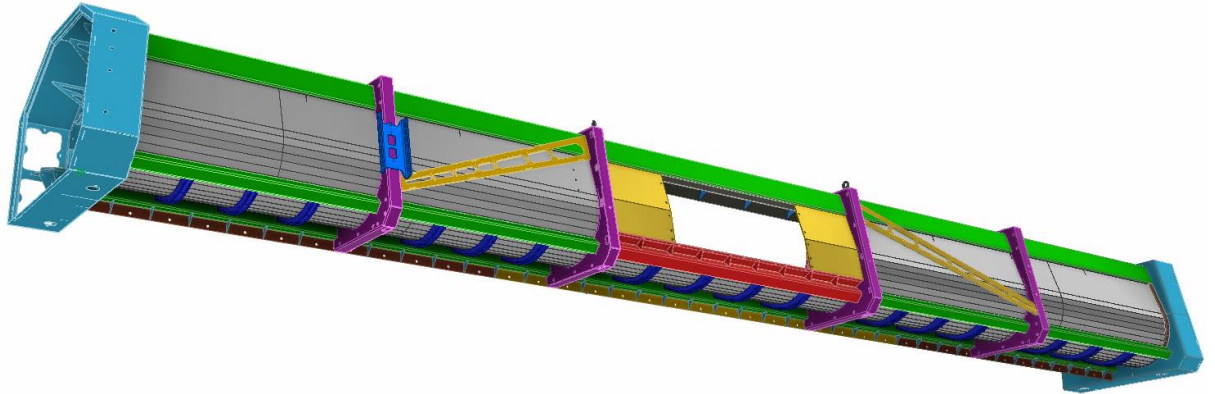


Рисунок 1.33 – 3D модель рами пристрою, вид ззаду

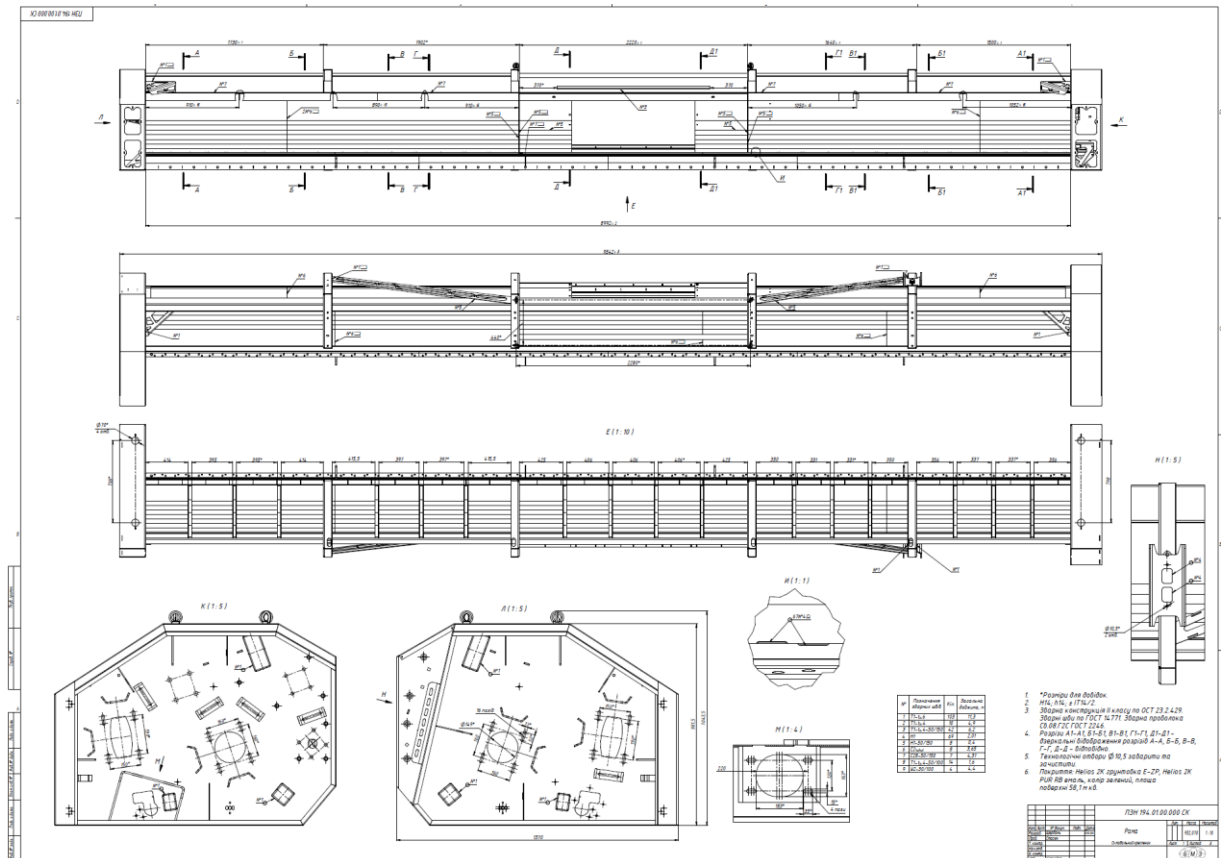


Рисунок 1.34 – Перший лист складального креслення нової рами пристрою

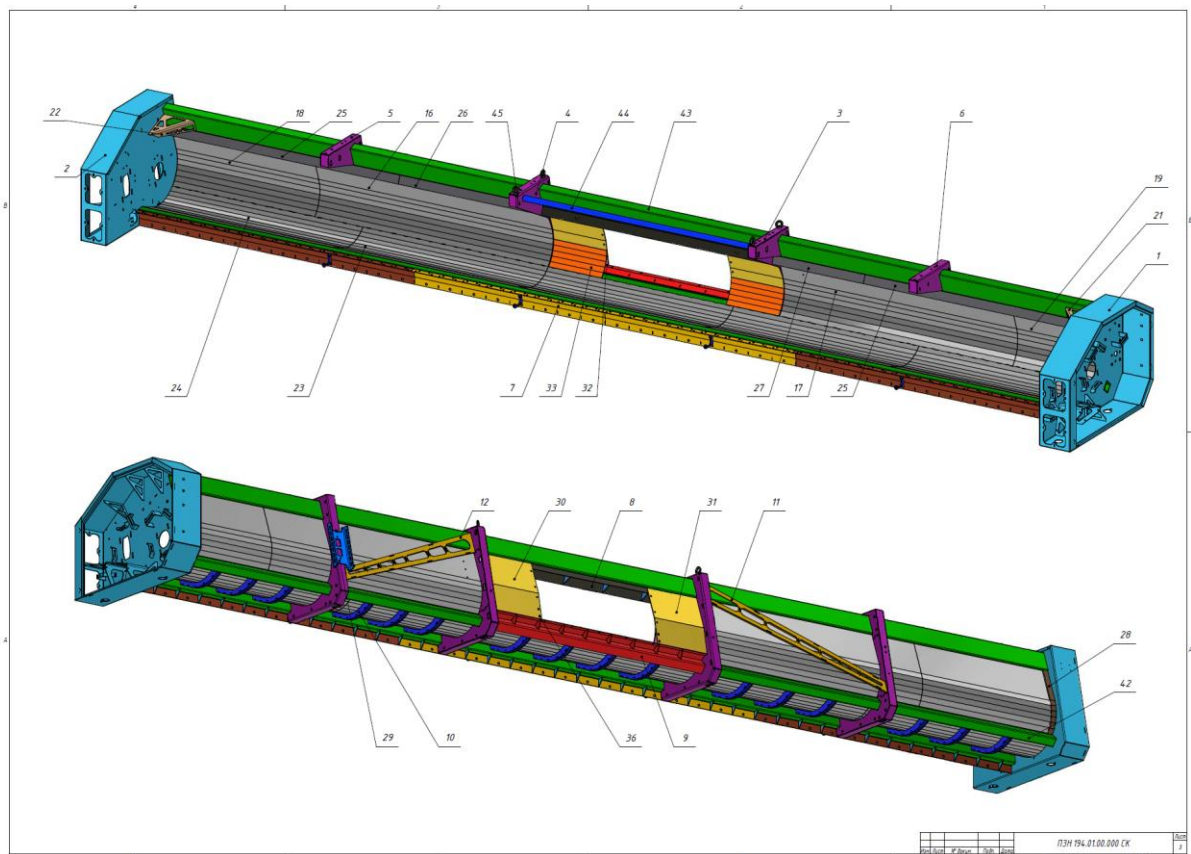


Рисунок 1.35 – Останній лист складального кресленника нової рами пристрою

В процесі роботи було розроблено повний пакет конструкторської документації для виготовлення нової рами, а сама 96 PDF файлів, це кресленики деталей, складальні кресленик збірок, та специфікації. Також було сформовано 89 DXF файлів, для лазерного розкрою листових деталей. Данні вказані для одної конфігурації машини. За проханням замовника, ПП “БІЛОЦУРКІВМАЗ”, в прикладах показані лише окремі елементи конструкції. Реальні фото нової конструкції рами наведено на рис. 1.36.



Рисунок 1.36 – Фото пристрою

1.4 Розрахунок кінематики

1.4.1 Обґрунтування необхідності розробки

Фото старої кінематичної схеми пристрою показано на рис. 1.37.

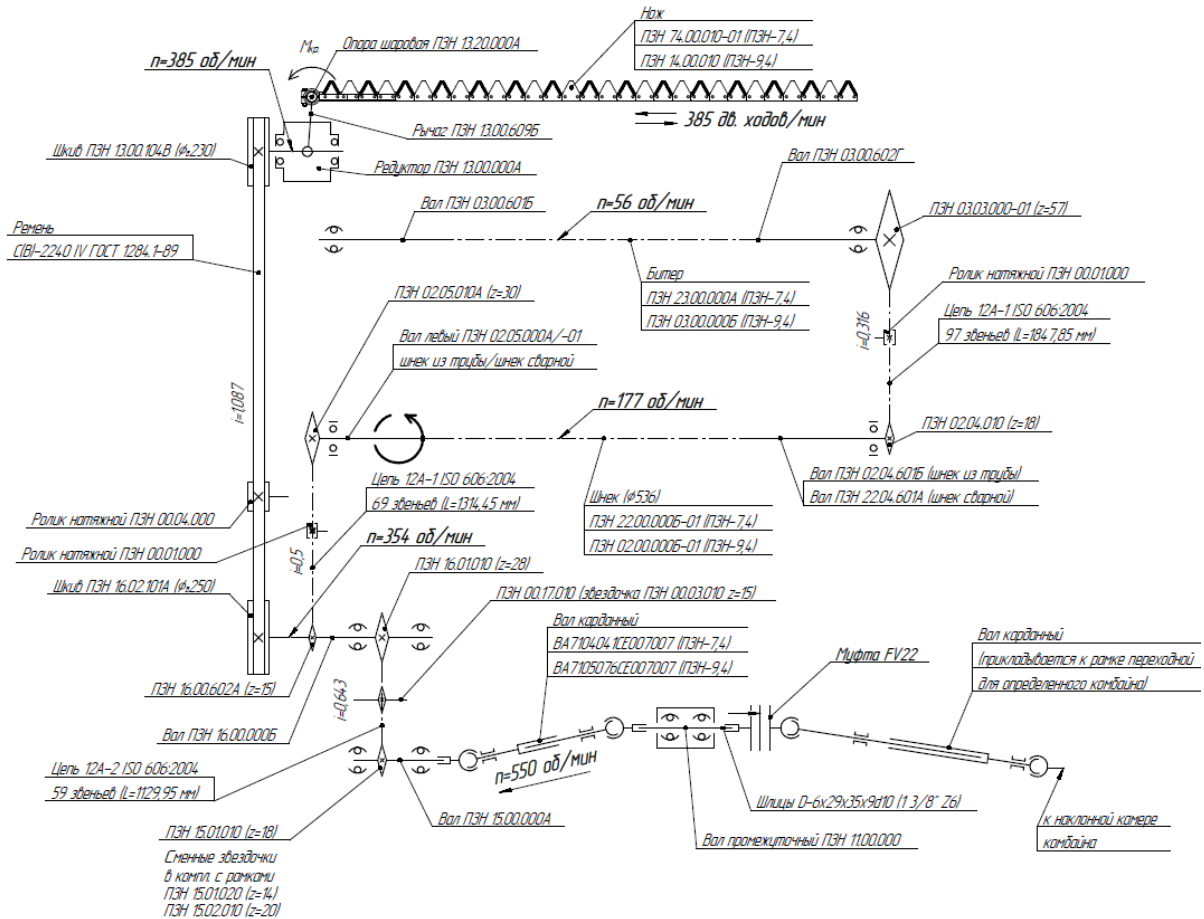


Рисунок 1.37 – Загальна кінематична схема машини старої конструкції

Кінематика строї конструкції мала два основні недоліки: перенавантажений проміжний вал, з консольним кріпленням шківа, та недостатню взаємозамінність елементів кінематики тобто зірочок, плит регулювання та роликів. Фото проміжного валу строї конструкції показано на рис. 1.38.

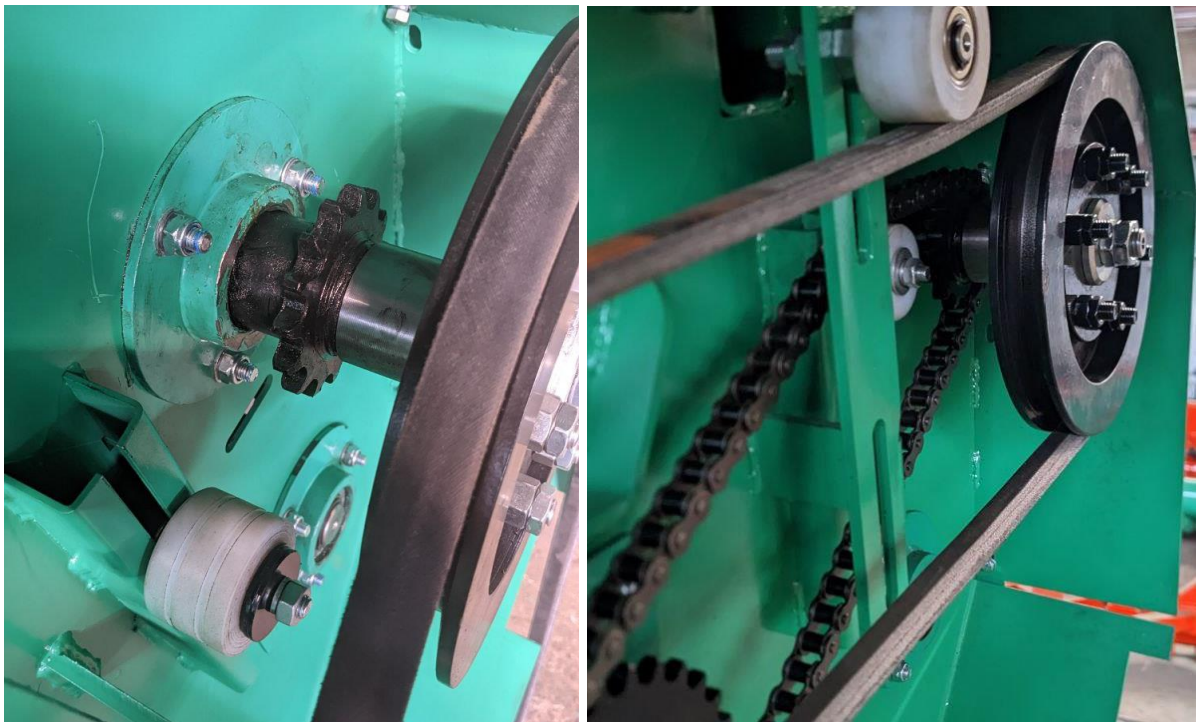


Рисунок 1.38 – Проміжний вал старої конструкції

Через велику консоль валу, 160 мм, на які закріплені зірочка та привідний шків, радіальні сили від роботи яких направлені приблизно в одному напрямку, надходили рекламації через поломку проміжного валу. Тому було прийняте рішення змінити розміщення підшипникових опор валу, аби уникнути консольного закріплення. Також в процесі проектування, вдалося позбутися додаткового виносного елемента кінематики, показаного на рис. 1.39, який був необхідний для заміни зірочок, з метою регулювання обертів системи. Виходячи з геометричних параметрів, є можливість повністю помістити цей модуль в боковину, що дозволить не лише зменшити номенклатуру деталей, але і помістити всі елементи кінематики в ізольований простір. В старій конструкції цей модуль не був повністю, лише прикритий кожухом задля безпеки, що означає що всі елементи працювали в запиленому середовищі.

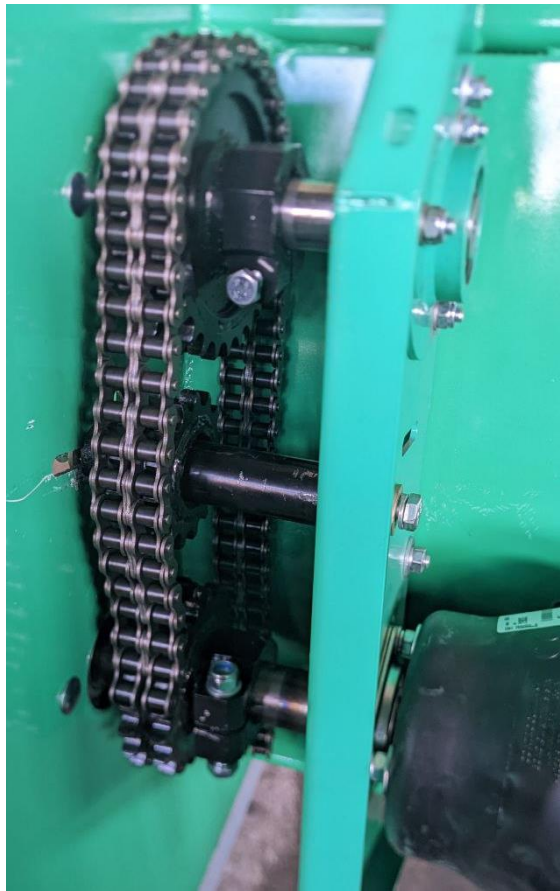


Рисунок 1.39 – Модуль для регулювання обертів системи старої конструкції

1.4.2 Кінематична схема

Вхідні данні:

T_m	=	350 Нм	момент спрацювання запобіжної фрикційної муфти;
P_{mn}	=	4,3 кВт	потужність механізму приводу ножів [2, (1.3.29)];
n_{K1}	=	550,0 об/хв	оберти вихідного валу комбайну;
n_{K2}	=	530,0 об/хв	оберти вихідного валу комбайну;
n_{K3}	=	580,0 об/хв	оберти вихідного валу комбайну;
n_{K4}	=	620,0 об/хв	оберти вихідного валу комбайну;
n_{K5}	=	680,0 об/хв	оберти вихідного валу комбайну;
n_{K6}	=	740,0 об/хв	оберти вихідного валу комбайну;
n_{K7}	=	400,0 об/хв	оберти вихідного валу комбайну;
n_{K8}	=	500,0 об/хв	оберти вихідного валу комбайну;

n_{mn}	= 398,0	под. ходів/хв	кількість подвійних ходів механізму приводу ножів;
i_{mk}	= 0,9		передаточне число механізму приводу ножів [2, (1.3.28)];
$n_{ш}$	= 177,0	об/хв	оберти шнеку, данні взяті зі старої конструкції;
n_b	= 56,0	об/хв	оберти бітеру, данні взяті зі старої конструкції;
$n_{пв}$	= 56,0	об/хв	оберти протяжного валу, визначено з досвіду експлуатації подібних пристроїв.

На рис. 1.40 показана початкова загальна кінематична схема всієї машини.

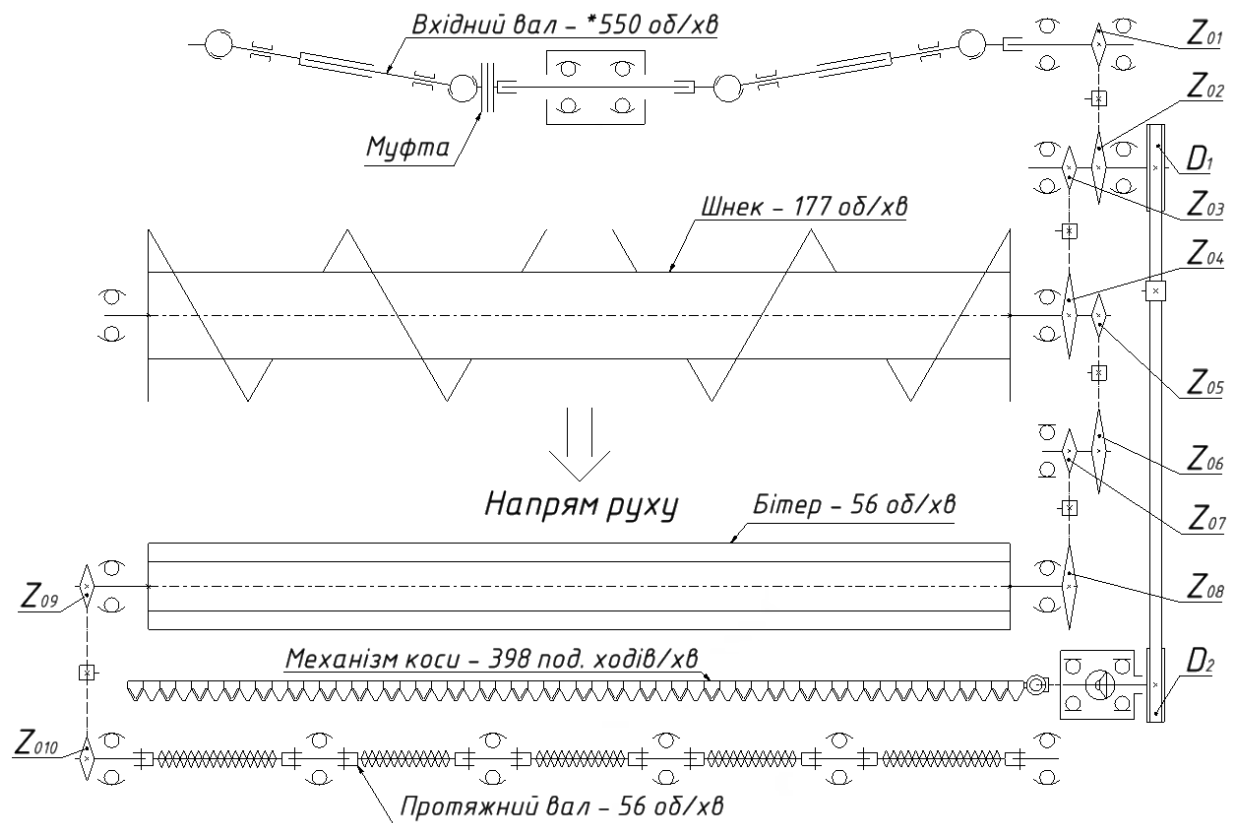


Рисунок 1.40 – Початкова загальна кінематична схема машини ПЗН-9,4М

На рис. 1.41 показана кінематична схема основного контуру, для спрощення схеми натяжні ролики не показані, пасова передача показана синім кольором, невидимі елементи показано сірим кольором.

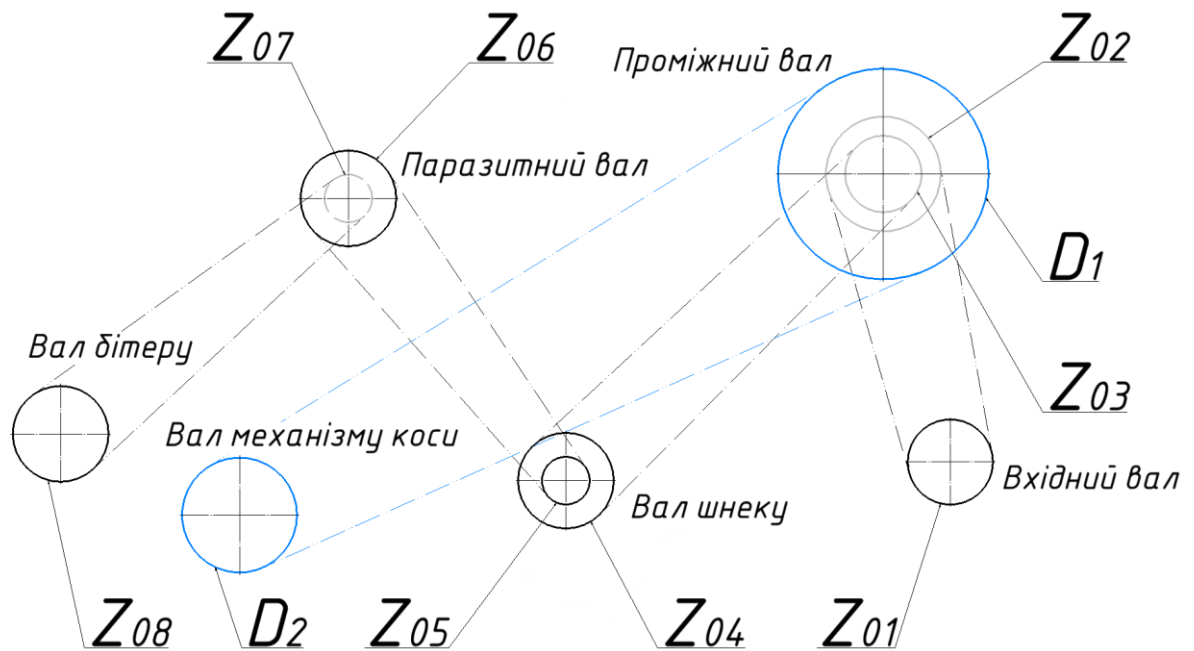


Рисунок 1.41 – Початкова кінематична схема основного контуру

Розрахуємо передаточні відношення для забезпечення необхідних обертів системи, та знайдемо яка номенклатура зірочок, за кількістю зубців необхідна для даної системи. Проведемо розрахунок передаточний відношень, для одного з найбільш популярних комбайнів John Deere в якого оберти вихідного валу 550 об/хв. Необхідно зменшити оберти з 550 об/хв на вході до 177 об/хв на шнекові. Тобто загальне передаточне відношення від вхідного валу до шнеку становить:

$$i_{в-ш} = \frac{177}{550} = 0,32 \quad (1.1)$$

Досягти даного передаточного відношення, згідно схеми показаної на рис. 1.40 необхідно за два перетворення, тобто:

$$i_{в-ш} = i_1 \cdot i_2 = 0,32 \quad (1.2)$$

$$i_1 = \frac{z_{01}}{z_{02}} \quad (1.3)$$

$$i_2 = \frac{z_{03}}{z_{04}} \quad (1.4)$$

де z_{01} — кількість зубців першої зірочки;
 z_{02} — кількість зубців другої зірочки;
 z_{03} — кількість зубців третьої зірочки;
 z_{04} — кількість зубців четвертої зірочки.

Наступним кроком необхідно знизити оберти від шнеку до бітеру від 177 об/хв до 56 об/хв. Тобто загальне передаточне відношення від шнеку до бітеру становить:

$$i_{ш-б} = \frac{56}{177} = 0,32 \quad (1.5)$$

Досягти даного передаточного відношення, згідно схеми показаної на рис. 1.40 необхідного передаточного числа необхідно досягти за два перетворення, тобто:

$$i_{ш-б} = i_3 \cdot i_4 = 0,32 \quad (1.6)$$

$$i_3 = \frac{z_{05}}{z_{06}} \quad (1.7)$$

$$i_4 = \frac{z_{07}}{z_{08}} \quad (1.8)$$

де z_{05} — кількість зубців п'ятої зірочки;
 z_{06} — кількість зубців шостої зірочки;
 z_{07} — кількість зубців сьомої зірочки;
 z_{08} — кількість зубців восьмої зірочки.

Оберти протяжного валу рівні обертам бітеру, отже:

$$i_{6-B} = \frac{56}{56} = i_5 = \frac{z_{09}}{z_{010}} = 1 \quad (1.9)$$

де z_{09} – кількість зубців дев'ятої зірочки;
 z_{010} – кількість зубців десятої зірочки.

Оскільки необхідно мінімізувати номенклатуру зірочок, потрібно мінімізувати кількість типів зірочок за кількістю зубців. Складемо систему, залежностей які необхідно дотриматися для забезпечення необхідний передаточних відношень, згідно формул (1.2), (1.6), (1.9).

$$\begin{cases} \frac{z_{01}}{z_{02}} \cdot \frac{z_{03}}{z_{04}} = 0,32 \\ \frac{z_{05}}{z_{06}} \cdot \frac{z_{07}}{z_{08}} = 0,32 \\ \frac{z_{09}}{z_{010}} = 1 \end{cases} \quad (1.10)$$

Методом підбору було визначено кількості зубців на кожній зірочці. Результати наведені в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Кількість зубців зірочок

Умовне позначення		Кількість зубців		Умовне позначення		Кількість зубців
z_{01}	–	18		z_{06}	–	28
z_{02}	–	28		z_{07}	–	18
z_{03}	–	14		z_{08}	–	28
z_{04}	–	28		z_{09}	–	18
z_{05}	–	14		z_{010}	–	18

де $z_{03} = z_{05}$ – однакові зірочки;
 $z_{09} = z_{010}$ – однакові зірочки;
 $z_{04} = z_{06} = z_{08}$ – однакові зірочки.

З досвіду експлуатації на першому контурі необхідно використовувати дворядний ланцюг, відповідно перша та друга зірочки є дворядними. Використовуючи данні з табл. 1.8, розрахуємо оберти всіх елементів показаних на рис. 1.40, та перевіримо чи задовольняють вони вимоги по швидкості обертання основних робочих елементів. Перевіримо чи задовольняють підібрані зірочки вимоги наведені в формулі (1.10):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{z_{01}}{z_{02}} \cdot \frac{z_{03}}{z_{04}} = \frac{18}{28} \cdot \frac{14}{28} = 3,12 \\ \frac{z_{05}}{z_{06}} \cdot \frac{z_{07}}{z_{08}} = \frac{14}{28} \cdot \frac{18}{28} = 3,16 \\ \frac{z_{09}}{z_{010}} = \frac{18}{18} = 1 \end{array} \right. \quad (1.11)$$

Отже підібрані кількості зубців для зірочок задовольняють вимоги передаточних відношень для системи та забезпечують необхідні швидкості обертання елементів системи.

Розрахуємо яке передаточне відношення має забезпечити пасова передача:

$$n_{\text{м. кос.}} = n_{\text{к1}} \cdot \frac{z_{01}}{z_{02}} \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot u_{\text{ш}} = 398 \text{ под. ходів/хв} \quad (1.12)$$

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{n_{\text{м. кос.}}}{n_{\text{к1}} \cdot \frac{z_{01}}{z_{02}} \cdot u_{\text{ш}}} = \frac{398}{550 \cdot \frac{18}{28} \cdot 0,9} = 1,25 \quad (1.13)$$

Базуючись на минулих розрахунках [2, с. 71] пасової передачі приймемо наступні параметри пасової передачі:

$$D_1 = 250 \text{ мм}; \quad D_2 = 200 \text{ мм}; \quad \frac{D_1}{D_2} = \frac{250}{200} = 1,25 \quad (1.14)$$

Оскільки пристрій має бути сумісний з різними типами комбайнів, які мають різні оберти вихідного валу, необхідно передбачити механізм регулювання обертів системи, в залежності від вхідних обертів системи. Регулювання обертів відбувається шляхом заміни першої та другої зірочки. Для розрахунку необхідної пари зірочок, в залежності від типу комбайну була складена

табл. 1.9, яка показує яку комбінацію зірочок необхідно використовувати для забезпечення необхідних обертів системи, оберти вихідного валу різних комбайнів були надані підприємством замовником. Оскільки регулювання здійснюється лише заміною двох перших зірочок Z_1 та Z_2 . Згідно рис. 1.40 та рис. 1.41. Оскільки при збиранні кінематики вже виробництву вже відомо в парі з яким комбайном буде працювати пристрій, це дає можливість встановити необхідну пару зірочок, для забезпечення необхідних обертів системи.

Таблиця 1.9 – Таблиця необхідної пари зірочок в залежності від комбайну

Марка комбайну	Оберти вихідного валу комбайну, хв^{-1}	Кількість зубців зірочок		Оберти проміжного валу, хв^{-1}	Похибка, %
		Z_1	Z_2		
John Deere	500	18	28	353,57	0,0
Case-2388	530	18	28	340,71	-3,8
Case -5088	530	18	28	340,71	-3,8
New Holland	580	18	28	372,86	5,3
Fendt	580	18	28	372,86	5,3
КЗС-9-1 "Славутич" і "Скіф-230"	580	18	28	372,86	5,3
Massey Ferguson MF-9795	620	18	28	398,57	12,6
Massey Ferguson MF-7274	680	14	28	340,00	-4,0
Клаас Мега, Домінатор	740	14	28	370,00	4,5
Claas Lexion Tucano	740	14	28	370,00	4,5
Massey Ferguson MF-40	400	18	20	360,00	1,7
Deuth Fahr C7206	400	18	20	360,00	1,7
Akros	503	20	28	359,29	1,5
КЗС-1218 "Полісся"	530	14	20	371,00	4,8

Аналізуючи результати підбору пари зірочок для регулювання обертів, наведені в табл. , можна зробити висновок, що більшість для більшості комбайнів відхилення від нормальних швидкостей обертання не перевищує 5,5%, за виключенням одного Massey Ferguson MF-9795. Оскільки виробництві замовлення під дану модель комбайну дуже рідкі, було прийнято рішення, за для скорочення номенклатури зірочок, зберегти параметри вказані в табл. . Тобто пристрій при роботі з моделлю комбайну Massey Ferguson MF-9795 буде працювати на підвищених на 12,6% обертах системи, що з досвіду експлуатації не є критичним, та про що буде окремо повідомлено клієнта.

За результатами табл. 1.9, до табл. 1.8 необхідно додати зірочки з кількістю зубців 14 та 20, для забезпечення регулювання обертів. Зведемо всю номенклатуру зірочок в одну табл. 1.10, для зручності дворядні зірочки матимуть індекс 2, з порядковим номером зірочки через нижнє підкреслювання, однорядні матимуть в індексі лише порядковий номер.

Таблиця 1.10 – Номенклатура зірочок за кількістю зубців

Умовне позначення		Кількість зубців	Умовне позначення		Кількість зубців
z_{2_1}	—	18	z_5	—	18
z_{2_2}	—	28	z_{2_6}	—	20
z_3	—	14	z_{2_7}	—	14
z_4	—	28			

Отже загальна номенклатура зірочок, враховуючи необхідні для регулювання обертів, становить 7 одиниць що на 1 менше ніж в старій конструкції. За результатами розрахунків наведеними в табл. 1.8, табл. 1.9, табл. 1.8. Можемо зобразити більш точну кінематичну схему, яка показана на рис. 1.42 та рис. 1.43.

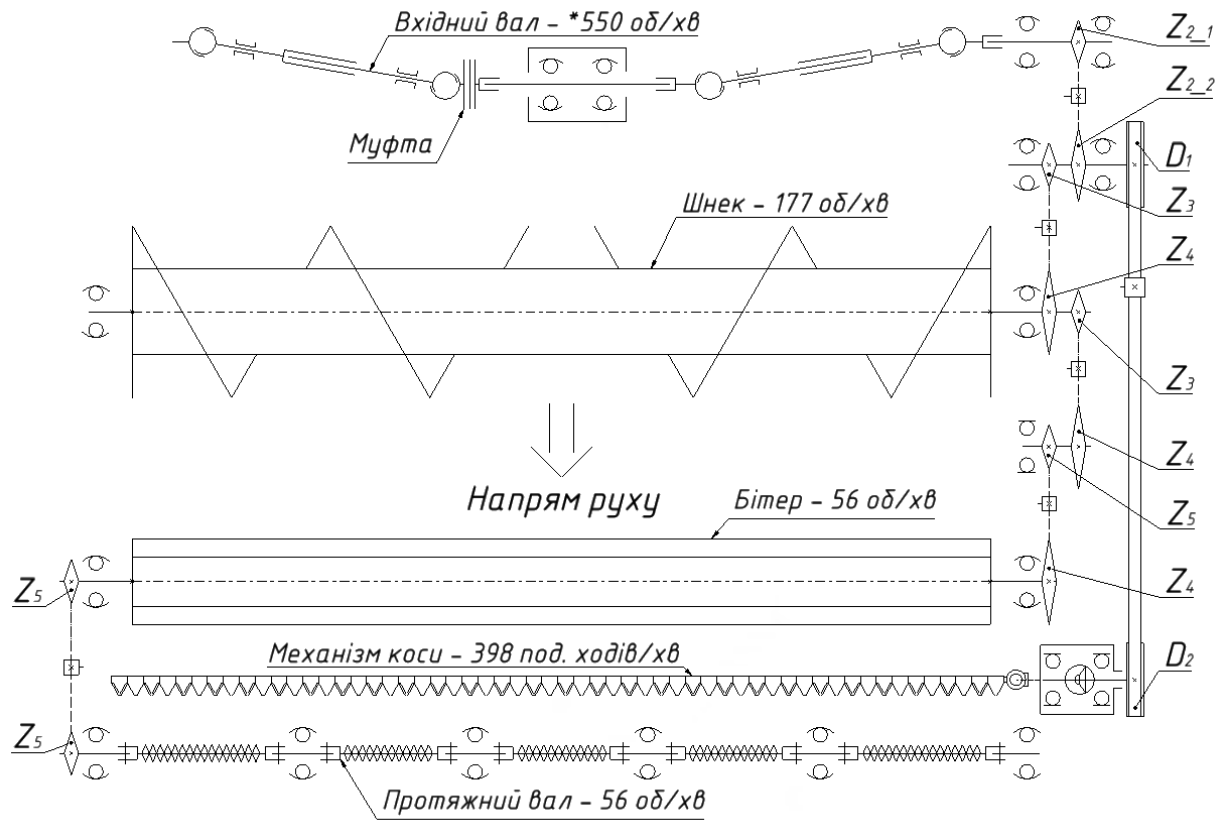


Рисунок 1.42 – Загальна кінематична схема машини ПЗН-9,4М

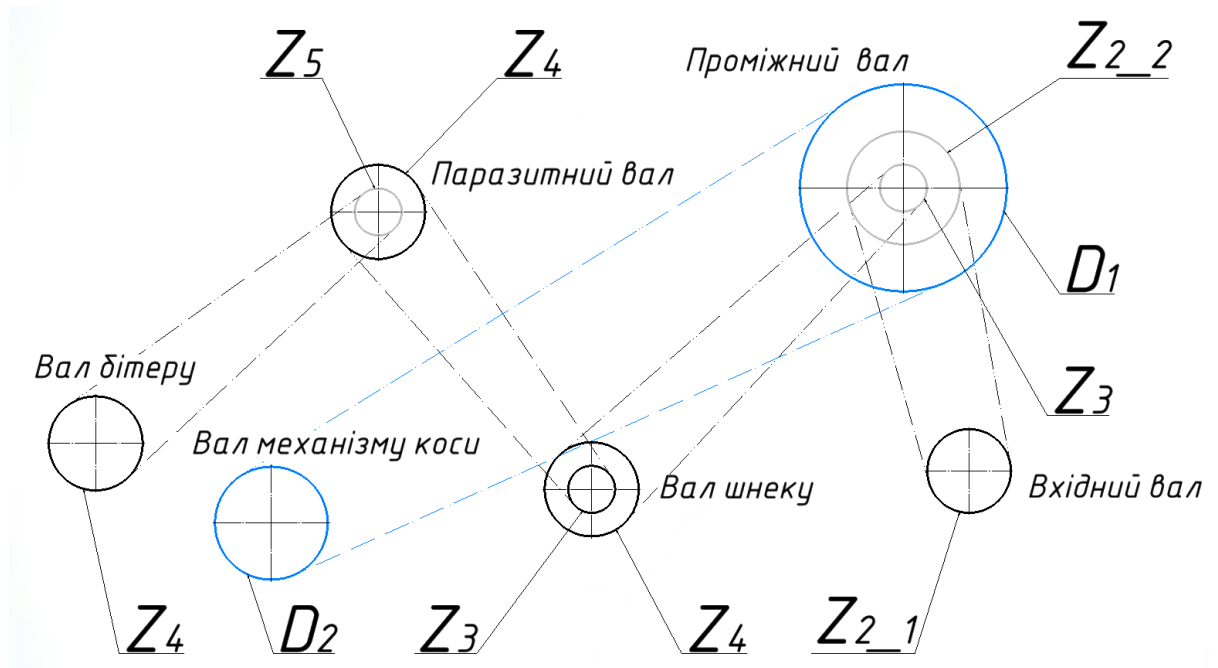


Рисунок 1.43 – Кінематична схема основного контуру

Розрахуємо швидкість обертання та крутний момент на вхідному валу:

$$n_{\text{в. вх.}} = n_{K1} = 550 \text{ об/хв} \quad (1.15)$$

$$T_{\text{в. вх.}} = T_{\text{м}} \cdot \mu_1^2 \cdot \mu_2 = 250 \cdot 0,99^2 \cdot 0,98 = 240,1 \text{ Нм} \quad (1.16)$$

Розрахуємо швидкість обертання та крутний момент на проміжному валу:

$$n_{\text{в. пром.}} = n_{\text{в. вх.}} \cdot \frac{z_1}{z_2} = 550 \cdot \frac{18}{28} = 353,6 \text{ об/хв} \quad (1.17)$$

$$\begin{aligned} T_{\text{в. пром.}} &= T_{\text{в. вх.}} \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \mu_1 \cdot \mu_3 = 240,1 \cdot \frac{28}{18} \cdot 0,99 \cdot 0,95 = \\ &= 351,3 \text{ Нм} \end{aligned} \quad (1.18)$$

З кінематичної схеми рис. 1.42 та рис. 1.43, показано, що з проміжного валу відходять два потоки. Перший через ланцюгову передачу до валу шнеку, другий через пасову передачу на механізм коси. Необхідно визначити в якій пропорції розподіляється потужність та крутний момент. З розрахунків, проведених в попередній роботі [2, (1.3.29)] відомо, що пасова передача здатна передати 4,25 кВт, потужності. Знаючи це можемо знайти як саме розподіляється потужність. Спочатку знайдемо потужність на проміжному валу:

$$P_{\text{в. пром.}} = \frac{n_{\text{в. пром.}} \cdot T_{\text{в. пром.}}}{9549} = \frac{353,6 \cdot 351,3}{9549} = 13,0 \text{ кВт} \quad (1.19)$$

Далі, знаючи яку потужність необхідно передати на механізм коси через пасову передачу, знайдемо яка потужність лишається для роботи шнеку:

$$P_{\text{в. пром.}} = P_{\text{в. пром. 1}} + P_{\text{в. пром. 2}} = 13,0 \text{ кВт} \quad (1.20)$$

$$P_{\text{в. пром. 1}} = P_{\text{в. пром.}} - P_{\text{в. пром. 2}} = 13 - 4,25 = 8,75 \text{ кВт} \quad (1.21)$$

де $P_{\text{в. пром. 1}}$ – потужність, що передається шнекові;

$P_{\text{в. пром. 2}}$ – потужність що передається механізму коси;

Відповідно можемо розподіл моментів які буде передавати проміжний вал:

$$T_{\text{в. пром. 1}} = \frac{P_{\text{в. пром. 1}} \cdot 9549}{n_{\text{в. пром.}}} = \frac{8,75 \cdot 9549}{353,6} = 236,4 \text{ Нм} \quad (1.22)$$

$$T_{\text{в. пром. 2}} = \frac{P_{\text{в. пром. 2}} \cdot 9549}{n_{\text{в. пром.}}} = \frac{4,25 \cdot 9549}{353,6} = 114,9 \text{ Нм} \quad (1.23)$$

$$T_{\text{в. пром.}} = T_{\text{в. пром. 1}} + T_{\text{в. пром. 2}} = 351,3 \text{ Нм} \quad (1.24)$$

Розрахуємо швидкість обертання та крутний момент на валу шнеку:

$$n_{\text{в. шнек.}} = n_{\text{в. пром.}} \cdot \frac{z_3}{z_4} = 353,6 \cdot \frac{14}{28} = 176,8 \text{ об/хв} \quad (1.25)$$

$$\begin{aligned} T_{\text{в. шнек.}} &= T_{\text{в. пром. 1}} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \mu_1 \cdot \mu_3 = 236,4 \cdot \frac{28}{14} \cdot 0,99 \cdot 0,95 = \\ &= 444,7 \text{ Нм} \end{aligned} \quad (1.26)$$

Розрахуємо швидкість обертання та крутний момент на валу механізму коси:

$$n_{\text{м. кос.}} = n_{\text{в. пром.}} \cdot \frac{D_1}{D_2} = 353,6 \cdot \frac{250}{200} = 441,9 \text{ об/хв} \quad (1.27)$$

$$T_{\text{м. кос.}} = T_{\text{в. пром. 2}} \cdot \frac{D_2}{D_1} = 114,9 \cdot \frac{200}{250} = 91,9 \text{ Нм} \quad (1.28)$$

Розрахуємо швидкість обертання та крутний момент на паразитному валу:

$$n_{\text{в. пар.}} = n_{\text{в. шнек.}} \cdot \frac{z_3}{z_4} = 176,8 \cdot \frac{14}{28} = 88,4 \text{ об/хв} \quad (1.29)$$

$$\begin{aligned} T_{\text{в. пар.}} &= T_{\text{в. шнек.}} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \mu_1 \cdot \mu_3 = 444,7 \cdot \frac{28}{14} \cdot 0,99 \cdot 0,95 = \\ &= 836,4 \text{ Нм} \end{aligned} \quad (1.30)$$

Розрахуємо швидкість обертання та крутний момент на валу бітеру:

$$n_{\text{в. біт.}} = n_{\text{в. пар.}} \cdot \frac{z_5}{z_4} = 88,4 \cdot \frac{18}{28} = 56,8 \text{ об/хв} \quad (1.31)$$

$$\begin{aligned} T_{\text{в. біт.}} &= T_{\text{в. пар.}} \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \mu_1 \cdot \mu_3 = 836,4 \cdot \frac{28}{14} \cdot 0,99 \cdot 0,95 = \\ &= 1223,7 \text{ Нм} \end{aligned} \quad (1.32)$$

Розрахуємо швидкість обертання та крутний момент на протяжному валу:

$$n_{\text{в. прот.}} = n_{\text{в. біт.}} \cdot \frac{z_5}{z_5} = 56,8 \cdot \frac{18}{18} = 56,8 \text{ об/хв} \quad (1.33)$$

$$\begin{aligned} T_{\text{в. прот.}} &= T_{\text{в. біт.}} \cdot \frac{z_5}{z_5} \cdot \mu_1^3 \cdot \mu_3 = 1223,7 \cdot \frac{18}{18} \cdot 0,99^3 \cdot 0,95 = \\ &= 1127,98 \text{ Нм} \end{aligned} \quad (1.34)$$

Слід зазначити, що хоч і номінально на шнек, бітер та протяжний вал може подаватися момент, розрахований в формулах (1.26), (1.32) та (1.34), з

досвіду експлуатації для їх стабільної роботи достатньо крутного моменту в 150 Нм.

1.4.3 Конструювання зірочок

Вхідні данні:

$D_{зір}$	=	35,0 мм	посадковий діаметр, данні взяті зі старої конструкції;
$T_{в. \text{ пром.}}$	=	351,3 Нм	момент на проміжному валу, за результатами (1.18);
$T_{в. \text{ пром. } 1}$	=	236,4 Нм	момент який передає проміжний вал до валу шнеку, розраховано (1.22);
Л	—		ланцюг 12А ISO 606:2004, данні взяті зі старої конструкції.

З конструкторських та технологічних міркувань зірочка буде складатися з двох, зварених між собою частин: маточини та диску. Оскільки у всій кінематиці застосовується два типи ланцюгів одного стандарту, 12А-1 ISO 606:2004 – однорядний ланцюг, 12А-2 ISO 606:2004 – дворядний ланцюг, де геометрична різниця між ланцюгами лише в кількості рядів, профіль зубців та крок на дисках однорядної та дворядної зірочки буде однаковим, відповідно до ГОСТ 591-69. Для зменшення номенклатури деталей кінематики, зірочки будуть складатися лише з 2 типів маточин, один тип для однорядних другий для дворядних зірочок, та 4 типів дисків, відповідно до номенклатури кількості зубців наведених в таблиці 1.10. Враховуючи що в старій конструкції кожна зірочка мала відмінну від інших кількість зубців та маточину, загальна номенклатура деталей з яких складаються зірочки буде суттєво зменшено. Порівняльні результати наведені в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Порівняльна таблиця номенклатури елементів кінематики

	Стара кінематика	Нова кінематика
Номенклатура зірочок, шт.	8	7
Номенклатура дисків зірочок, шт.	8	4
Номенклатура маточин зірочок, шт.	8	2

Базуючись на досвіді експлуатації, не має необхідності додатково розраховувати ланцюгову передачу. Аби мати можливість використовувати уніфіковані маточини необхідно знайти їх мінімальну довжину, для передачі крутного моменту через шпонкове з'єднання, шпонка відповідно до стандарту ГОСТ 23360-78 виконання 2. Знаючи діаметр посадкового отвору, та максимальні крутні моменти які має передавати однорядна та дворядна зірочка розрахуємо якою має бути довжина шпонки, і відповідна довжина двох типів маточин. Параметри шпонкового пазу [3, табл.13.Д3]:

$$\begin{aligned}
 D_{зп} &= 35 \text{ мм} && \text{посадковий діаметр;} \\
 b &= 10 \text{ мм} && \text{ширина шпонкового пазу;} \\
 h &= 8 \text{ мм} && \text{висота шпонки;} \\
 t_1 &= 5 \text{ мм} && \text{глибина шпонкового пазу на валу.}
 \end{aligned}$$

Основним розрахунком для шпонкових з'єднань є розрахунок на зминання від крутного моменту. Запишемо умову міцності на зминання шпонки для двох типів маточин [3, 2.32]:

$$\sigma_{зм1} = \frac{2 \cdot T_{в. \text{ пром.1}} \cdot K_n}{D_{зп} \cdot (h - t_1) \cdot l_{p01}} < [\sigma_{зм}] \quad (1.35)$$

$$\sigma_{зм2} = \frac{2 \cdot T_{в. \text{ пром.}} \cdot K_n}{D_{зп} \cdot (h - t_1) \cdot l_{p02}} < [\sigma_{зм}] \quad (1.36)$$

$$\begin{aligned}
 \text{де } [\sigma_{зм}] &= 110,0 \text{ МПа} && \text{допустиме напруження на зминання [3, с.54];} \\
 K_n &= 1,2 && \text{коефіцієнт перенавантаження;} \\
 l_{p1 \text{ min}} &- && \text{мінімальна довжина шпонки для однорядної зірочки;} \\
 l_{p2 \text{ min}} &- && \text{мінімальна довжина шпонки для дворядної зірочки.}
 \end{aligned}$$

З формул (1.35) та (1.36), знайдемо необхідні довжини шпонок, для правильності розрахунку всі величини необхідно перевести згідно міжнародної системи фізичних величин (SI):

$$l_{p1 \min} = \frac{2 \cdot T_{\text{в. пром. 1}} \cdot K_n}{[\sigma_{\text{зм}}] \cdot d_{\text{зир}} \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 236,4 \cdot 1,2}{2110 \cdot 10^6 \cdot 0,035 \cdot (0,008 - 0,003)} \quad (1.37)$$

$$= 0,03 \text{ м} = 30 \text{ мм}$$

$$l_{p2 \min} = \frac{2 \cdot T_{\text{в. пром. 2}} \cdot K_n}{[\sigma_{\text{зм}}] \cdot d_{\text{зир}} \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 351,3 \cdot 1,2}{110 \cdot 10^6 \cdot 0,035 \cdot (0,008 - 0,003)} \quad (1.38)$$

$$= 0,044 \text{ м} = 44 \text{ мм}$$

За результатами розрахунків (1.37) та (1.38), мінімальна довжина маточини для дворядних зірочок 44 мм, буде прийнято 45 мм, а для однорядних 30 мм, буде прийнято 36 мм. Матеріал маточини Сталь 35 ГОСТ 1050, матеріал диску Сталь 45 ГОСТ 1050. Кресленики уніфікованих маточин для дворядних та однорядних зірочок відповідно представлені на рис. 1.45 загальний кресленик дисків представлено на рис. 1.44.

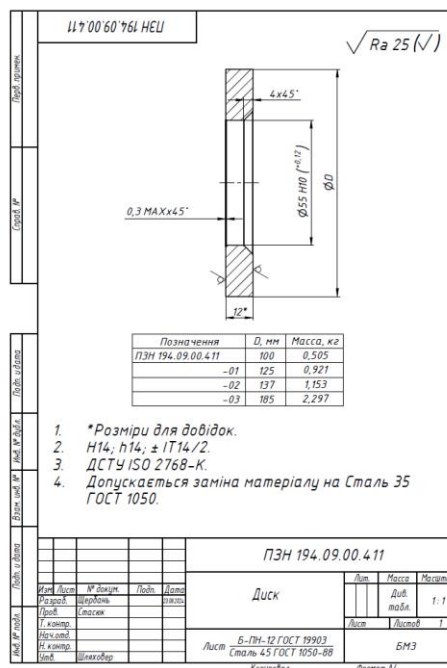
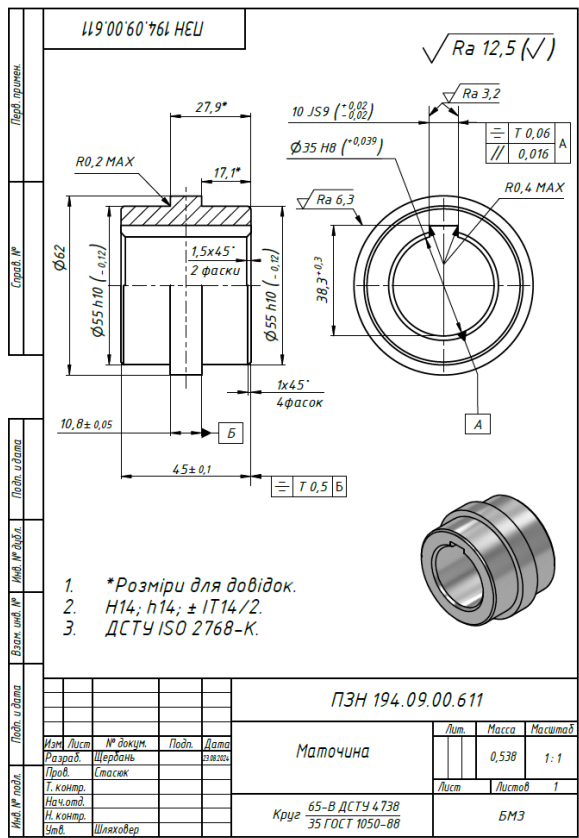
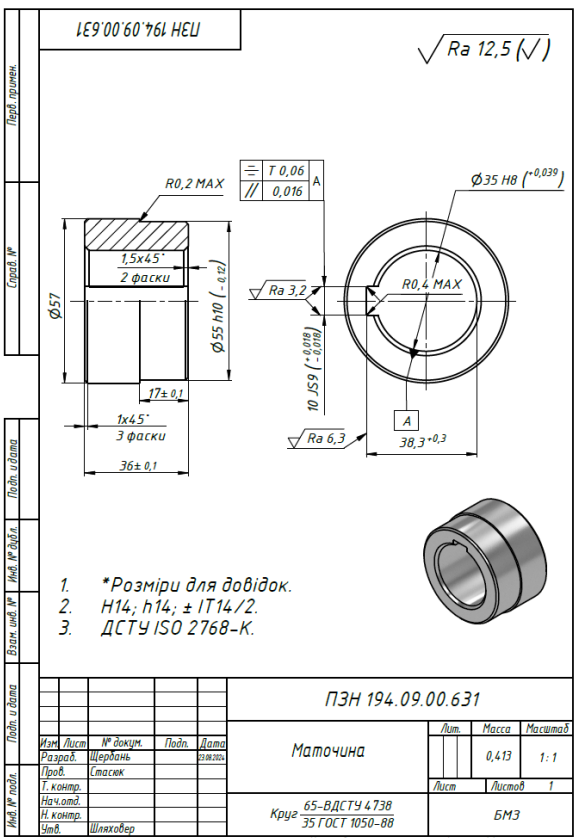


Рисунок 1.44 – Загальний кресленик диску зірочок



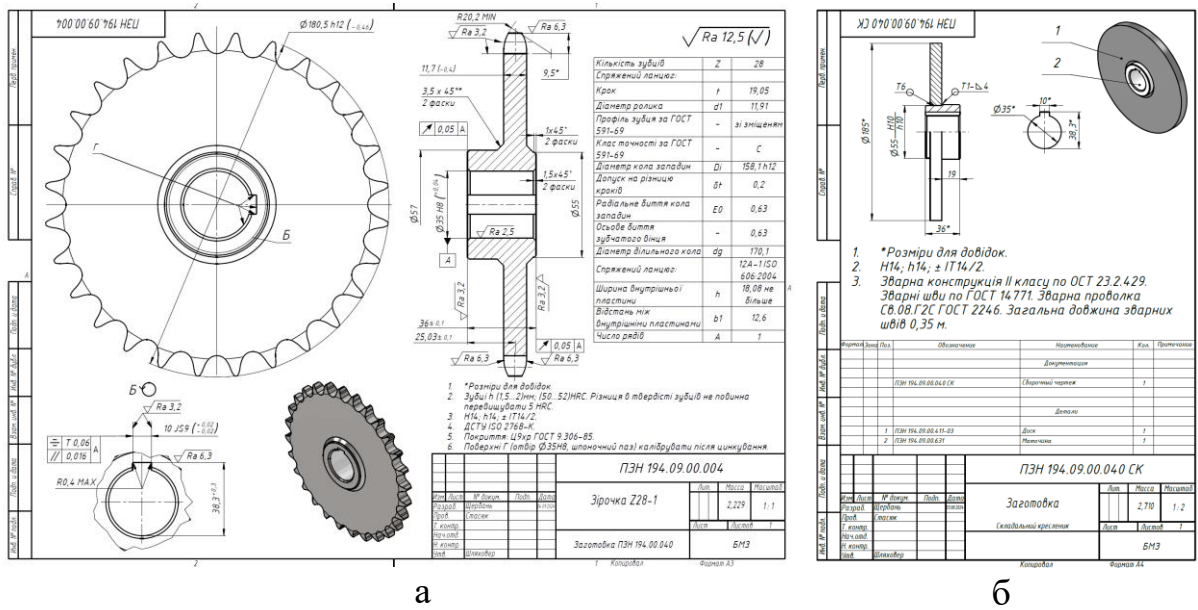
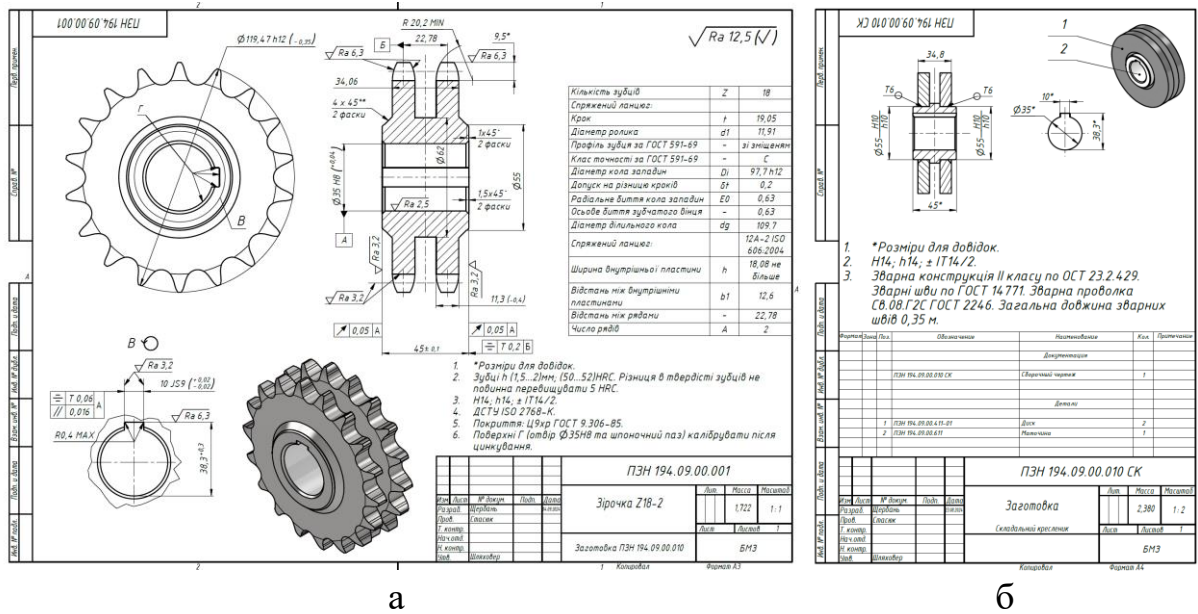
а



б

Рисунок 1.45 – Кресленики маточин для дворядных а) та однорядных зірочок б)

З урахуванням проведених розрахунків (1.37), (1.38) було спроектовано 7 типів зірочок. Для прикладу кресленики дворядної та однорядної зірочки, та складальні кресленик зварних заготовок для їх виготовлення, представлені на рис. 1.46 та рис. 1.47 відповідно.



1.4.4 Проектування валу

Вхідні данні:

$$T_{\text{в. пром.}} = 351,3 \text{ Нм}$$

момент що передається на проміжний вал (1.18);

$T_{в. \text{ пром. } 1}$	=	236,4 Нм	момент, що передається від проміжного валу до валу шнеку (1.22);
$T_{в. \text{ пром. } 2}$	=	114,9 Нм	момент, що передається від проміжного валу до механізму коси (1.23);
$D_{з\dot{и}р}$	=	35,0 мм	посадковий діаметр зірочок, взято зі старої конструкції;
$n_{в. \text{ пром.}}$	=	353,6 об/хв	оберти проміжного валу (1.17)
$P_{в. \text{ пром.}}$	=	13,0 кВт	потужність, що надходить до проміжного валу (1.19)
$P_{в. \text{ пром. } 1}$	=	8,75 кВт	потужність, що передається від проміжного валу до валу шнеку (1.21);
$P_{в. \text{ пром. } 2}$	=	4,25 кВт	потужність, що передається від проміжного валу до механізму коси [2, (1.3.29)];
K_n	=	2	коефіцієнт перенавантаження.

Згідно кінематичної схеми показаної на рис. 1.42 та рис. 1.43 на проміжному валу розміщено дворядну зірочку, яка передає потужність від вхідного валу; однорядну зірочку, яка передає потужність від проміжного валу до валу шнеку; та шків, який передає потужність від проміжного валу до механізму коси. Зобразимо на схемі геометричне розміщення елементів відносно проміжного валу на рис. 1.48:

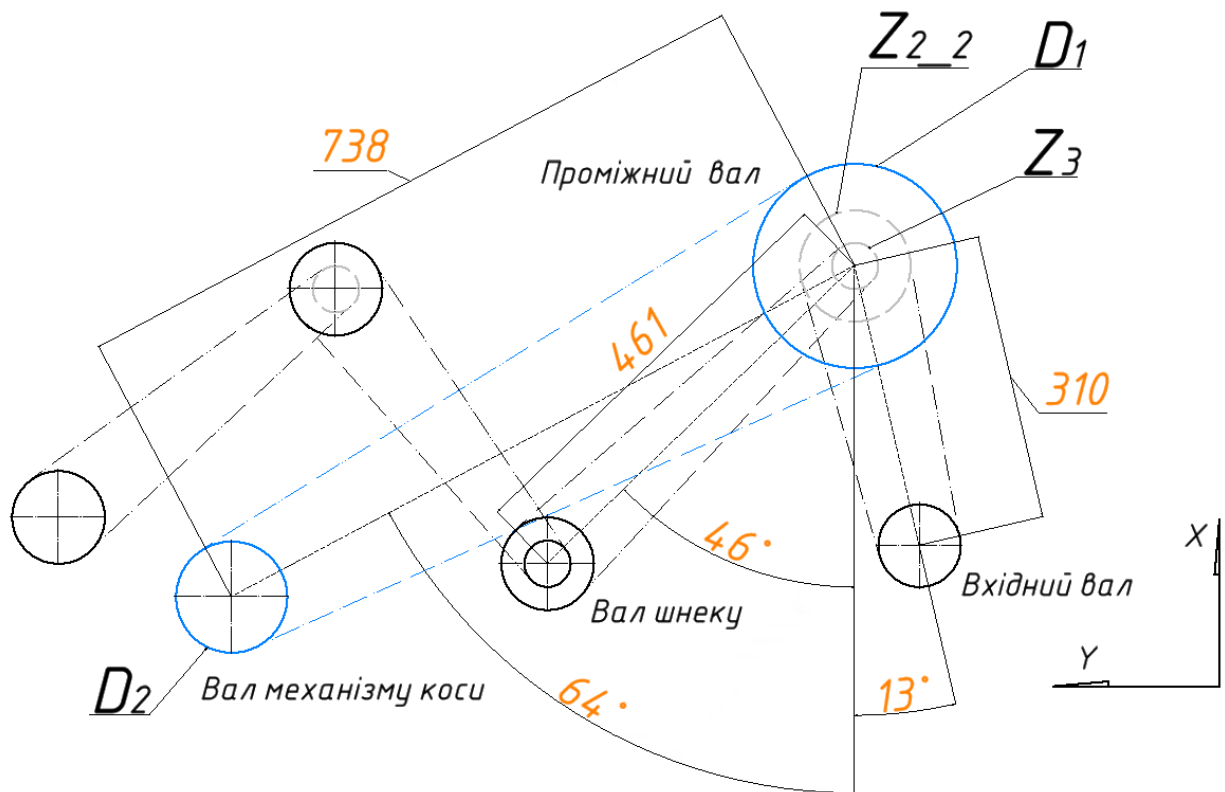


Рисунок 1.48 – Спрощено схема зав'язку проміжного валу з елементами кінематики

Спочатку знайдемо сили які діють на вал від кожного з цих компонентів [3, (5,13)]. Розрахуємо силу, що діє на вал від дворядної зірочки Z_{2_2} , параметри ланцюга взяті з модуля проектування та розрахунку роликів ланцюгів в Autodesk Inventor:

$$F_2 = K_{B2} \cdot F_{t2} + 2 \cdot F_{02} = 1,15 \cdot 4137,96 + 2 \cdot 26,46 = 4808,75 \text{ Н} \quad (1.39)$$

$$F_{t2} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{в. пром.}}}{V_2} = \frac{10^3 \cdot 13}{3,14} = 4135,51 \text{ Н} \quad (1.40)$$

$$F_{02} = K_{f2} \cdot q_2 \cdot a_2 \cdot g = 3 \cdot 2,9 \cdot 0,31 \cdot 9,81 = 26,46 \text{ Н} \quad (1.41)$$

$$V_2 = \frac{z_{2_2} \cdot p \cdot n_{\text{в. пром.}}}{60 \cdot 1000} = \frac{28 \cdot 19,05 \cdot 353,6}{60 \cdot 1000} = 3,14 \text{ м/с} \quad (1.42)$$

де F_2 — сила що діє на проміжний вал від зірочки Z_{2_2} ;
 F_{t2} — колова сила;
 F_{02} — початковий натяг ланцюга;

V_2	–	колова швидкість ланцюга;
K_{B2}	= 1,15	коефіцієнт навантаження валу [3, с.39];
K_{f2}	= 3,00	коефіцієнт провисання [3, с.39];
q_2	= 2,90 кг/м	питома вага 1 м ланцюга;
a_2	= 310,00 мм	міжосьова відстань, між проміжним валом та вхідним валом, рис. 1.48;
p	= 19,05 мм	крок ланцюга;
g	= 9,81 м/с ²	прискорення вільного падіння.

Розрахуємо силу, що діє на вал від однорядної зірочки Z_3 , [3, (5,13)].
Параметри ланцюга взяті з модуля проектування та розрахунку роликів ланцюгів в Autodesk Inventor:

$$F_1 = K_{B1} \cdot F_{t1} + 2 \cdot F_{01} = 1,15 \cdot 5248,92 + 2 \cdot 20,35 = 6076,96 \text{ Н} \quad (1.43)$$

$$F_{t1} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{в. пром. 1}}}{V_1} = \frac{10^3 \cdot 8,25}{1,57} = 5248,92 \text{ Н} \quad (1.44)$$

$$F_{01} = K_{f1} \cdot q_1 \cdot a_1 \cdot g = 3 \cdot 1,5 \cdot 0,461 \cdot 9,81 = 20,35 \text{ Н} \quad (1.45)$$

$$V_2 = \frac{z_3 \cdot p \cdot n_{\text{в. пром.}}}{60 \cdot 1000} = \frac{14 \cdot 19,05 \cdot 353,6}{60 \cdot 1000} = 1,57 \text{ м/с} \quad (1.46)$$

де F_1	–	сила що діє на проміжний вал від зірочки Z_3 ;
F_{t1}	–	колова сила;
F_{01}	–	початковий натяг ланцюга;
V_1	–	колова швидкість ланцюга;
K_{B1}	= 1,15	коефіцієнт навантаження валу [3, с.39];
K_{f1}	= 3,00	коефіцієнт провисання [3, с.39];
q_1	= 1,50 кг/м	питома вага 1 м ланцюга;
a_1	= 461,00 мм	міжосьова відстань, між проміжним валом та валом шнеку, рис. 1.48

Розрахуємо силу, що діє на вал від ведучого шківа пасової передачі [4, (4,16)]. Для зручності аналізу схему пасової передачі наведено на рис. 1.49.
Дана пасова передача вже розраховувалась в попередній роботі [2], тому

можемо прийняти результати попередніх розрахунків, а саме, що потужність передається одним пасом за допомогою ремня перерізу B .

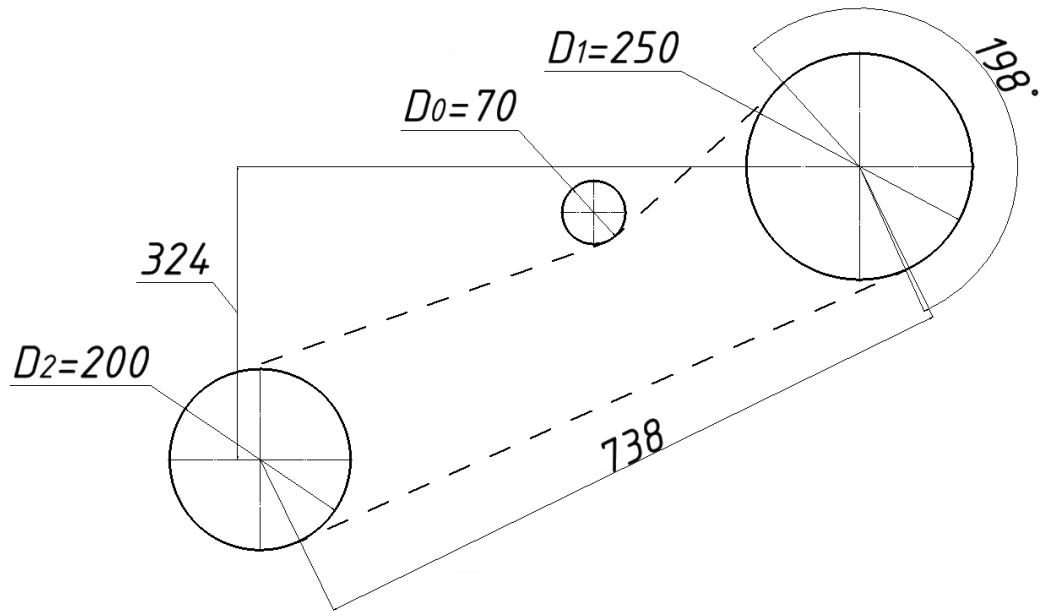


Рисунок 1.49 – Схематичне зображення пасової передачі

$$F_3 = 2 \cdot F_{03} \cdot z_{\Pi} \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\text{ш}}}{2}\right) = 2 \cdot 793,85 \cdot 0,987 = 1567,06 \text{ Н} \quad (1.47)$$

$$F_{03} = \frac{780 \cdot P_{\text{в. пром. 2}}}{V_3 \cdot C_p \cdot C_{\alpha} \cdot z_{\Pi}} + q_3 \cdot V^2 = \frac{780 \cdot 4,25}{4,63 \cdot 0,91 \cdot 0,98 \cdot 1} + 0,3 \cdot 4,63^2 = 793,85 \text{ Н} \quad (1.48)$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_{\text{в. пром.}}}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 353,6}{60 \cdot 1000} = 4,63 \text{ м/с} \quad (1.49)$$

де F_3	—	сила що діє на проміжний вал від ведучого шківa пасової передачі;
F_{03}	—	сила початкового натягу одного пасу;
V_3	—	колова швидкість пасу;
C_p	= 0,91	коефіцієнт динамічності та режиму роботи [4, табл.4.5];
C_{α}	= 1,00	коефіцієнт кута обхвату [4, табл.4.6];
q_3	= 0,30	питома вага 1 м пасу;
z_{Π}	= 1,00	кількість пасів [2, (1.6.4)];

$\alpha_{ш} = 198,00^\circ$ кут обхвату ведучого шківa.

Також, для визначення наступних геометричних параметрів валу, на рис. 1.50 наведений кресленик ведучого шківa.

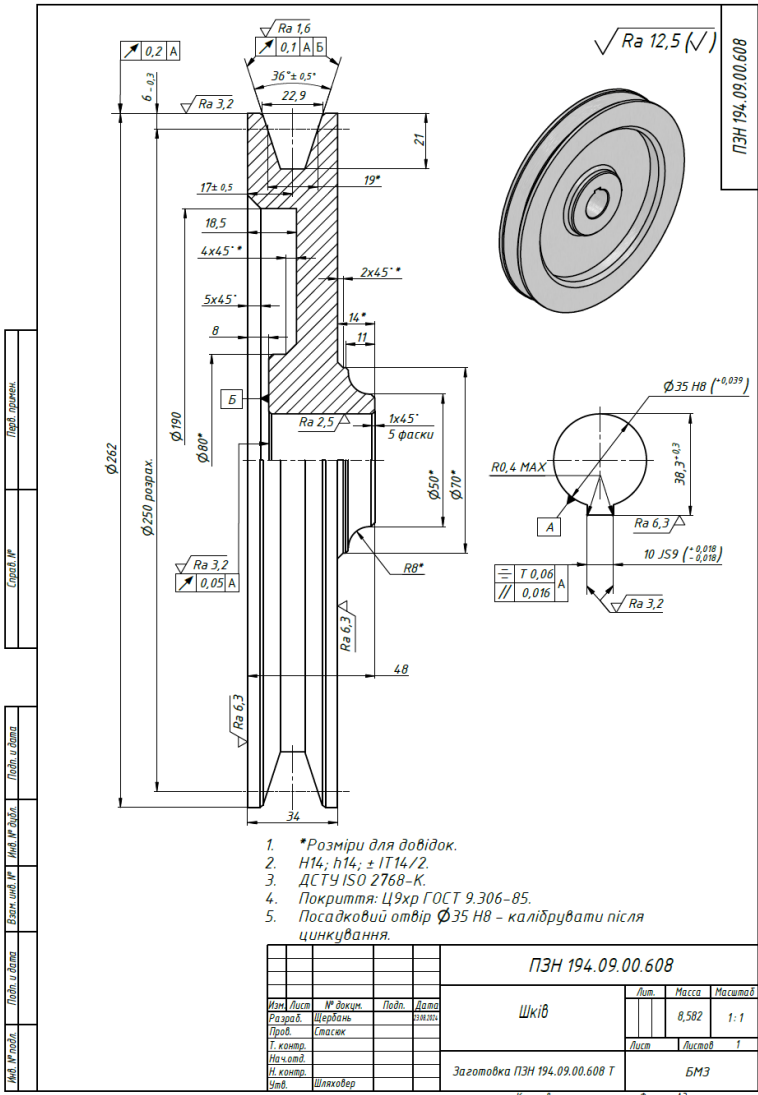


Рисунок 1.50 – Кресленик ведучого шківa

Для виготовлення проміжного валу обираю сталь 40Х за ГОСТ 4543-71 після поліпшення, твердістю не менше 45 HRC [3, табл.1.Д3] з механічними характеристиками [3, табл.1.Д3]:

$\sigma_M = 950,00 \text{ МПа}$ границя міцності;
 $\sigma_{II} = 700,00 \text{ МПа}$ границя плинності;
 $\sigma_{-1} = 420,00 \text{ МПа}$ границя витривалості при згині;

τ_{-1}	=	210,00 МПа	границя витривалості при крученні;
Ψ_{σ}	=	0,15	коефіцієнт, що характеризує чутливість матеріалів до асиметрії циклу, при згині;
Ψ_{-1}	=	0,1	коефіцієнт, що характеризує чутливість матеріалів до асиметрії циклу, при крученні;
E	=	$2 \cdot 10^5$ МПа	модуль пружності;
$[n_M]$	=	2,00	коефіцієнт запасу міцності.

Беручи до уваги досвід експлуатації було прийнято рішення використовувати радіальні самоцентрівні корпусні підшипники. Для проміжного валу обрано підшипник UCF207 з відповідними характеристиками [5], фото підшипника показано на рис. 1.51:

d	=	35,0 мм	діаметр отвору;
B	=	42,9 мм	ширина внутрішнього кільця;
C_1	=	25,5 кН	базове динамічне навантаження;
C_0	=	15,3 кН	базове статичне навантаження;
s_1	=	25,4 мм	відстань від торцю до центру доріжки кочення;

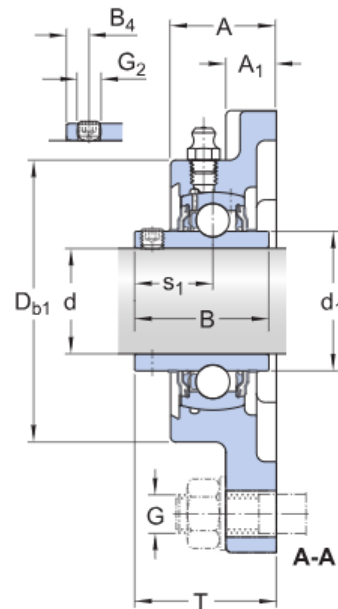


Рисунок 1.51 – Зображення корпусного самоцентрівного підшипника UCF207 [5]

Знаючи параметри підшипників рис. 1.51; зірочок, рис. 1.46, рис. 1.47; ведучого шківa, рис. 1.50 та враховуючи взаємо розміщення

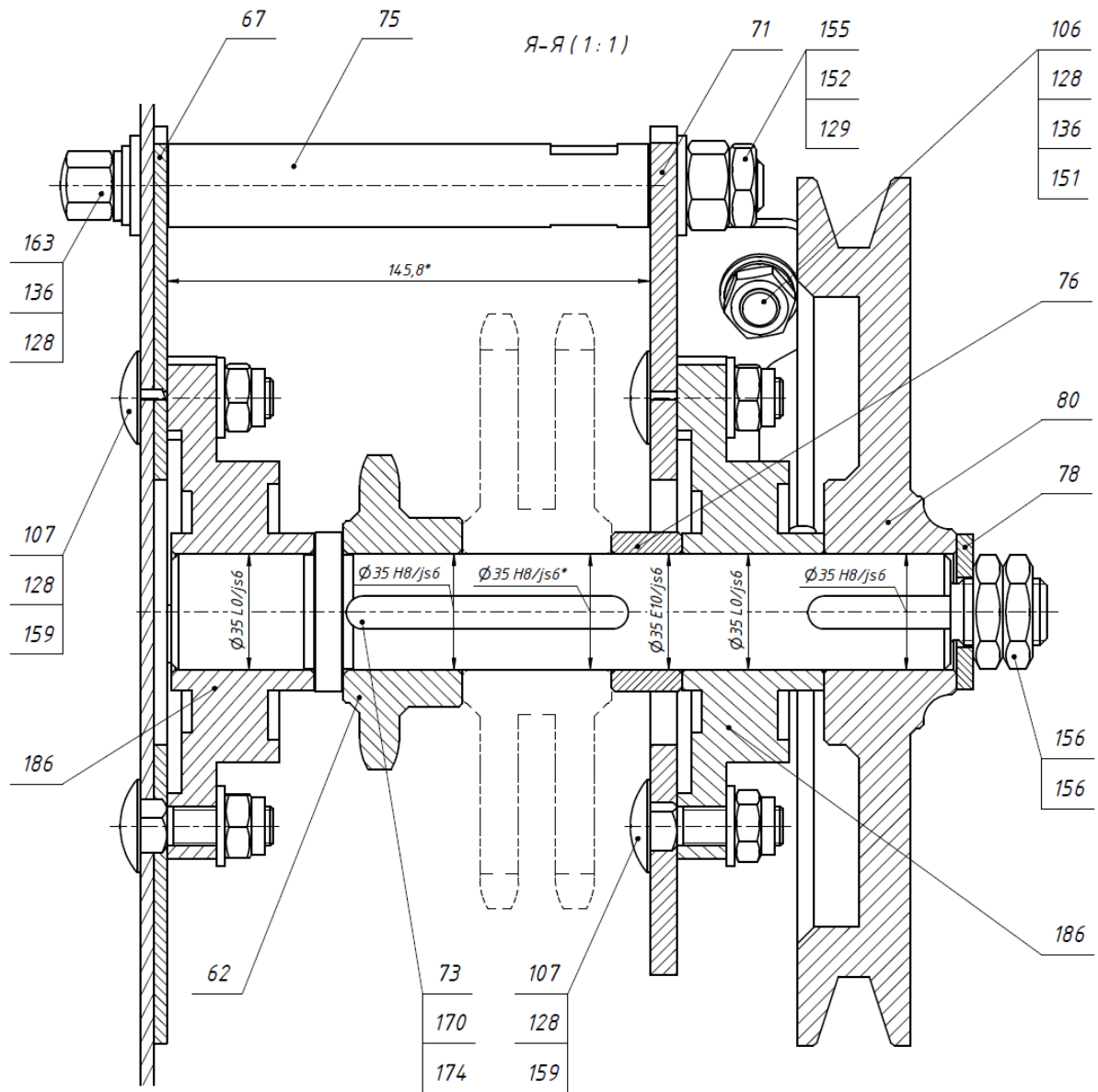


Рисунок 1.53 – Сегмент складального кресленника з зображенням проміжного валу

Для розрахунків на міцність буде використовуватись спрощена схематична модель валу, представлена на рис. 1.54.

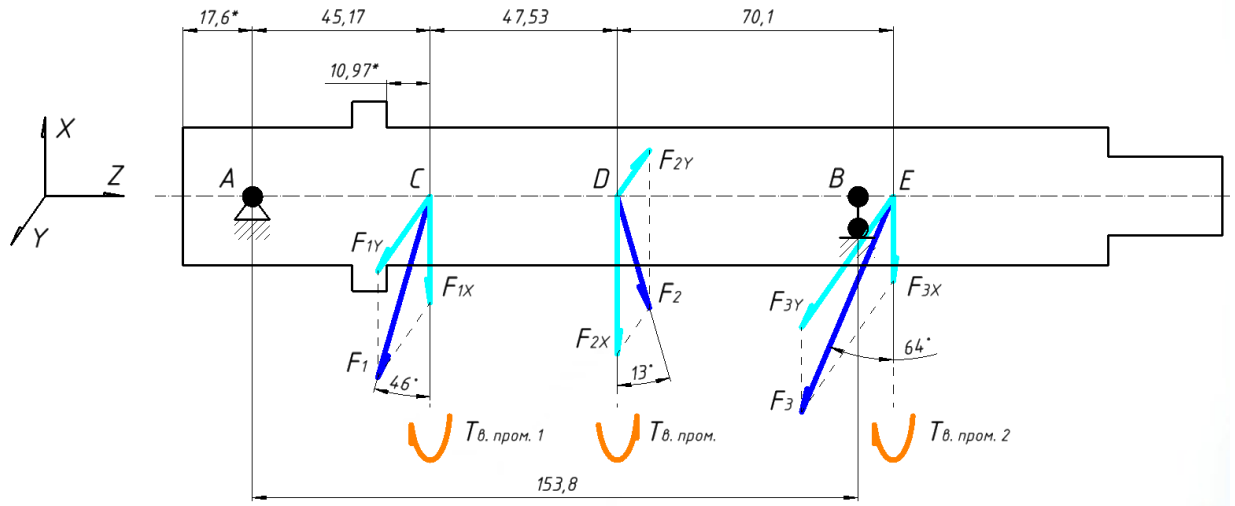


Рисунок 1.54 – Схематична модель вал

де F_{1X} — Проекція сили F_1 на вісь X ;
 F_{1Y} — Проекція сили F_1 на вісь Y ;
 F_{2X} — Проекція сили F_2 на вісь X ;
 F_{2Y} — Проекція сили F_2 на вісь Y ;
 F_{3X} — Проекція сили F_3 на вісь X ;
 F_{3Y} — Проекція сили F_3 на вісь Y .

Знайдемо проекції сил на координатні осі, користуючись результатами розрахунків (1.39), (1.43), (1.47) та рис. 1.54, напрям сили, тобто її знак буде враховано при подальших розрахунках:

$$F_{1X} = F_1 \cdot \cos(46^\circ) = 6076,96 \cdot 0,695 = 4221,41 \text{ Н} \quad (1.50)$$

$$F_{1Y} = F_1 \cdot \sin(46^\circ) = 6076,96 \cdot 0,719 = 4371,40 \text{ Н} \quad (1.51)$$

$$F_{2X} = F_2 \cdot \cos(13^\circ) = 4808,75 \cdot 0,974 = 4685,51 \text{ Н} \quad (1.52)$$

$$F_{2Y} = F_2 \cdot \sin(13^\circ) = 4808,75 \cdot 0,225 = 1081,73 \text{ Н} \quad (1.53)$$

$$F_{3X} = F_3 \cdot \cos(63^\circ) = 1567,06 \cdot 0,438 = 686,95 \text{ Н} \quad (1.54)$$

$$F_{3Y} = F_3 \cdot \sin(64^\circ) = 1567,06 \cdot 0,899 = 1408,46 \text{ Н} \quad (1.55)$$

Оскільки подібні розрахунки валів вже проводились в минулій роботі [], для знаходження реакцій та побудови епюр буде застосовано модуль генерації валу в середовищі Autodesk Inventor, який практично не має розбіжностей з аналітичним методом, що можна помітити в порівнянні результатів аналізу в минулій роботі [2, табл. 1.7.4]. Діалогове вікно модуля генерації валу, де відображені розраховані реакції в опорах, показано на рис. 1.55.

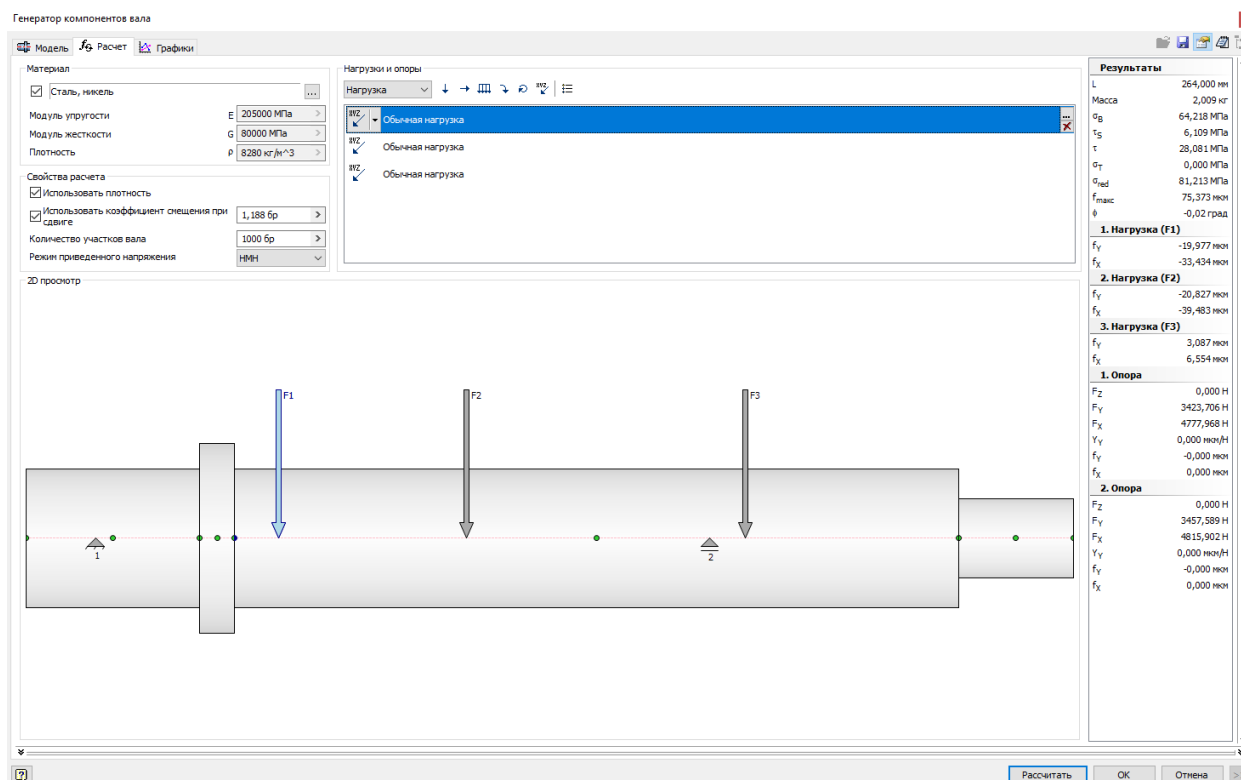


Рисунок 1.55 – Діалогове вікно модуля генерації валу Autodesk Inventor

Епюри сил зрізу в двох площинах, моментів згину в двох площинах та епюри зведеного напруження від дії всіх сил та моментів, показані на рис. 1.56, рис. 1.57, рис. 1.58, рис. 1.59 та рис. 1.60 відповідно.

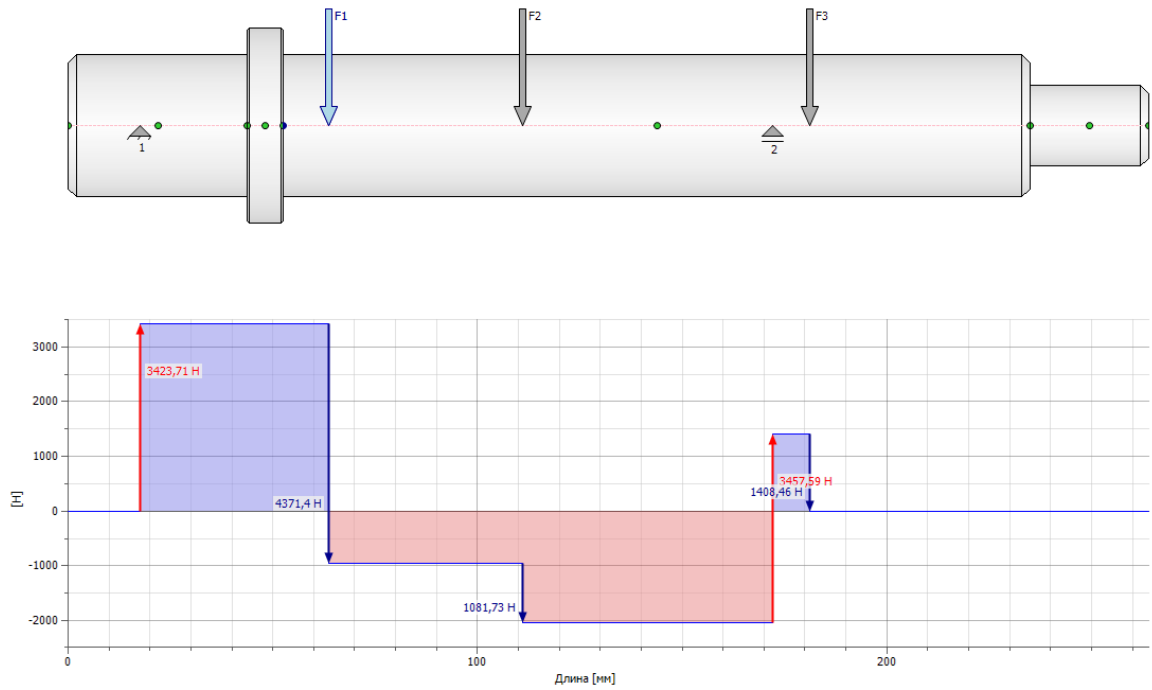


Рисунок 1.56 – Епюра сил зрізу в площині YZ

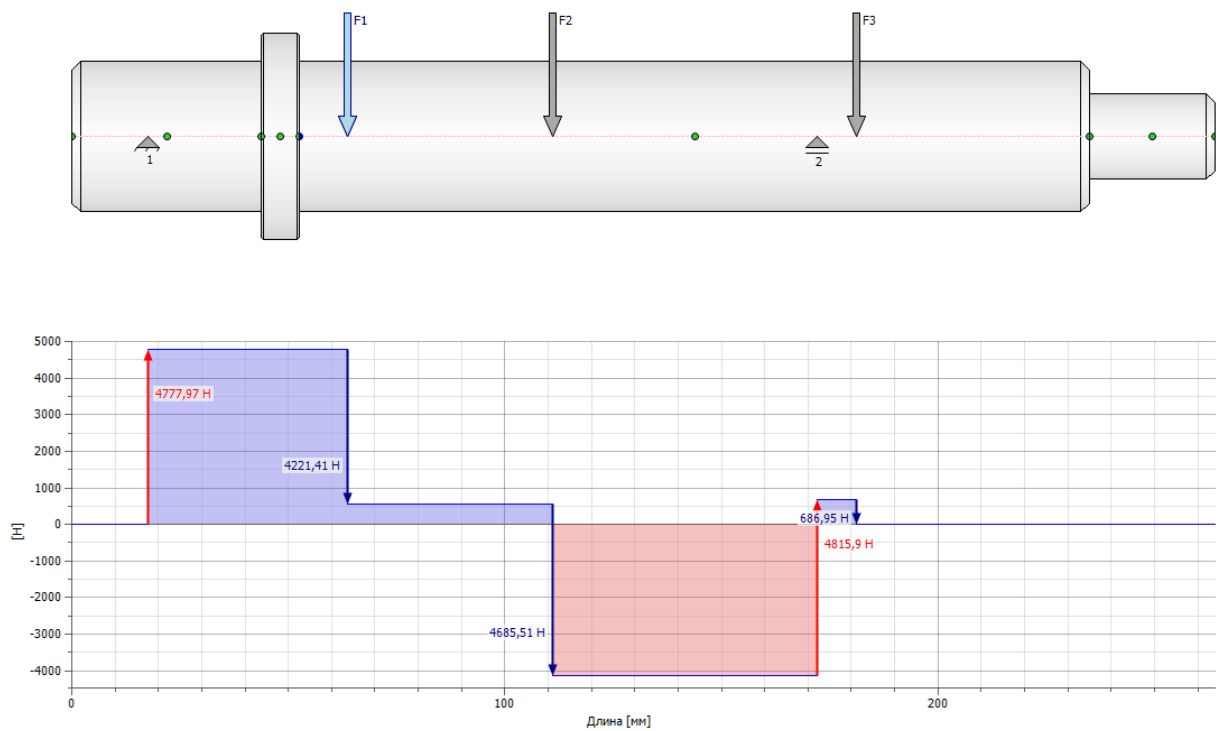


Рисунок 1.57 – Епюра сил зрізу в площині YX

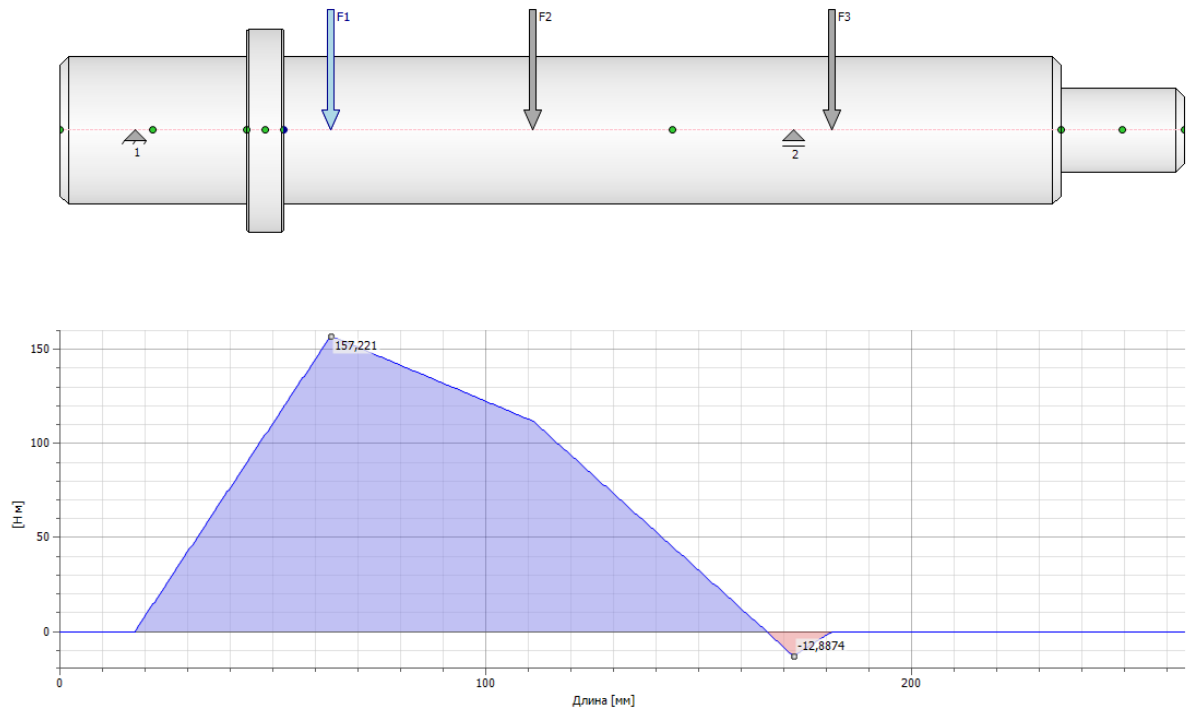


Рисунок 1.58 – Епюра моментів згину в площині YZ

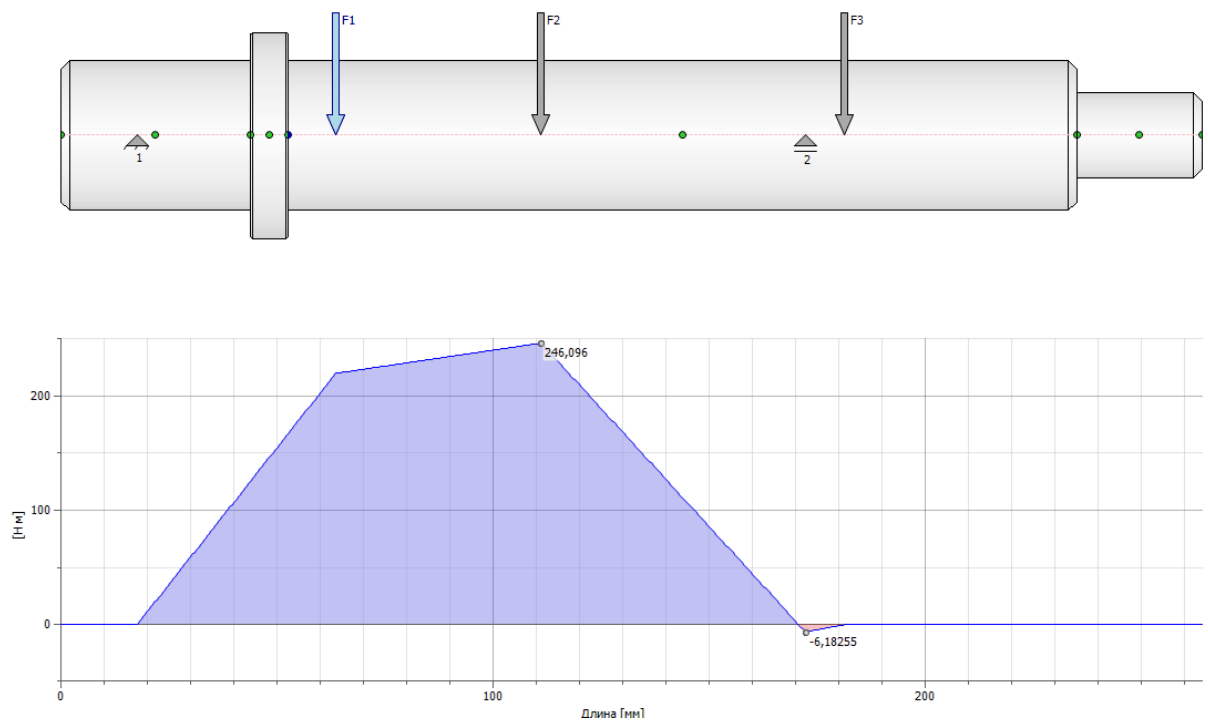


Рисунок 1.59 – Епюра моментів згину в площині XZ

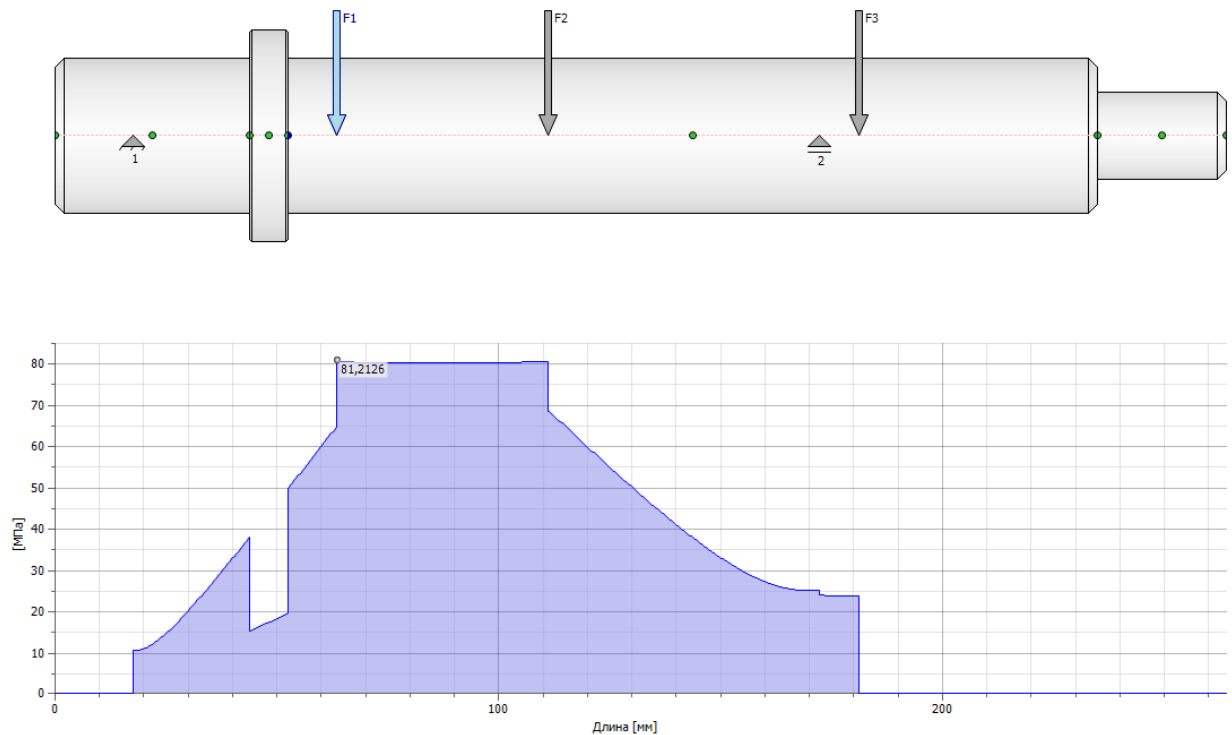


Рисунок 1.60 – Епюра зведеного напруження

За результатами розрахунків, на рис. 1.60 показано найбільше зведене напруження, яке виникає в перерізі прикладання сили F_1 . Тобто максимальне еквівалентне напруження:

$$\sigma_e = 81,21 \text{ МПа} \quad (1.56)$$

Порівняємо розрахункове напруження в перерізі з допустимим:

$$\sigma_{max} \cdot K_n < [\sigma_{-1}] = \frac{\sigma_{-1}}{[n_M]} \quad (1.57)$$

$$81,21 \cdot 2 = 162,42 \text{ МПа} < \frac{420}{2} = 210 \text{ МПа} \quad (1.58)$$

За результатами розрахунку (1.58), умову статичної міцності забезпечено. Перевіримо вал на втому. Якщо в усіх перерізах валу

задовольняється наступна вимога, то вал відповідає вимогам втомної міцності та не потребує уточнювального розрахунку [3, (2,29)]:

$$\sigma_e \leq \frac{\varepsilon_\sigma \cdot \sigma_{-1}}{k_\sigma \cdot [n]} = \frac{0,75 \cdot 420}{1,9 \cdot 2} = 82,89 \text{ МПа} \quad (1.59)$$

$$\sigma_e = 81,21 \text{ МПа} \leq 82,89 \text{ МПа}$$

де $k_\sigma = 1,90$ ефективний коефіцієнт концентрації напружень для полірованого зразка [3, табл.5.Д3];

$\varepsilon_\sigma = 0,75$ коефіцієнт впливу абсолютних розмірів деталі [3, табл.12.Д3].

$[n] = 2$ коефіцієнт запасу міцності на втому.

За результатами розрахунку (1.59), умову втомної міцності забезпечено.

1.4.5 Результати проектування кінематики

В результаті було повністю розроблено нову систему кінематики машини. Фрагмент зі складального креслення де зображено кінематику показано на рис. 1.61 , реальні фото основного кінематичного контуру показано на рис. 1.62.

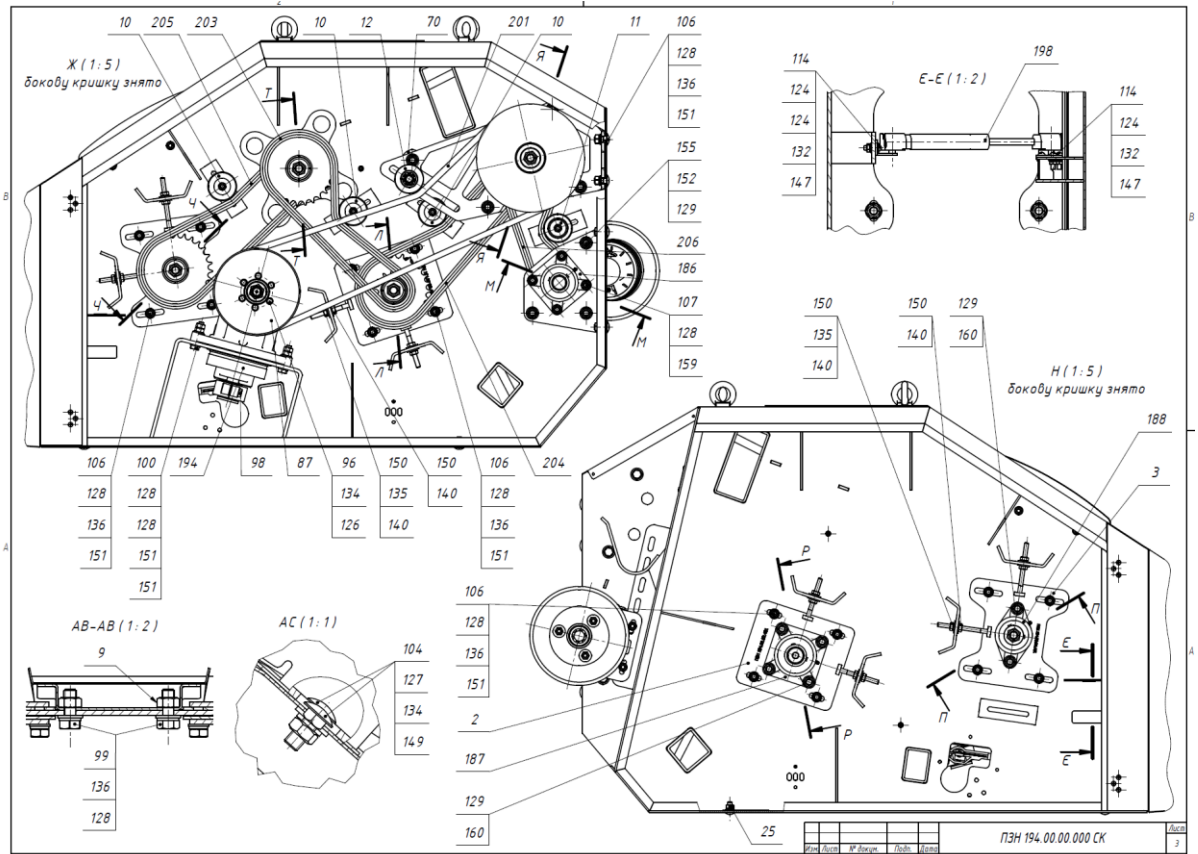


Рисунок 1.61 – Один з листів загального складального кресленника пристрою з зображенням кінематики

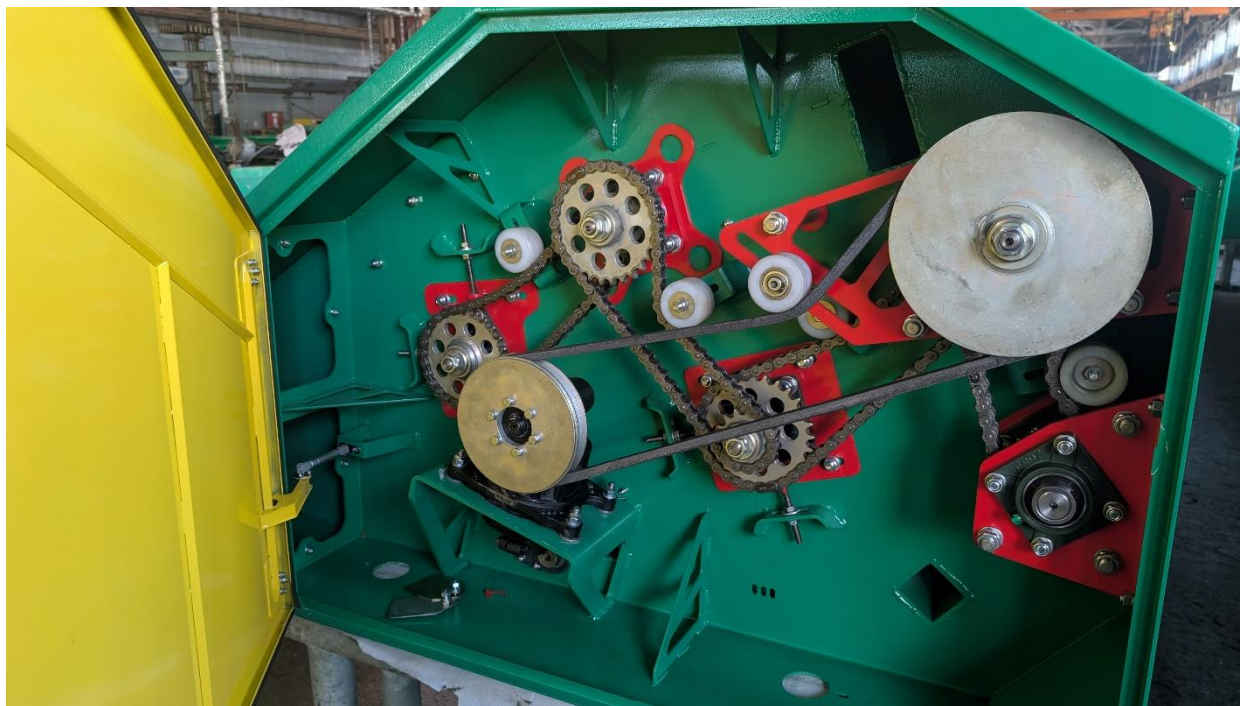


Рисунок 1.62 – Фото основного кінематичного контуру пристрою

1.5 Допоміжні пристосування

1.5.1 Візок для переміщення та збирання

В процесі виконання проекту також вирішувались технологічні та логістичні питання. Одне з яких транспортування рами по території підприємства та зручність при складанні машини. Була поставлена задача розробити пристосування, яке б дозволяло переміщувати раму, зусиллям не більше двох людей, по території виробництва, та пристосування для спрощення робіт зі складання машини. В результаті розробки необхідні параметри було об'єднано в одне пристосування, показане на рис. 1.63.

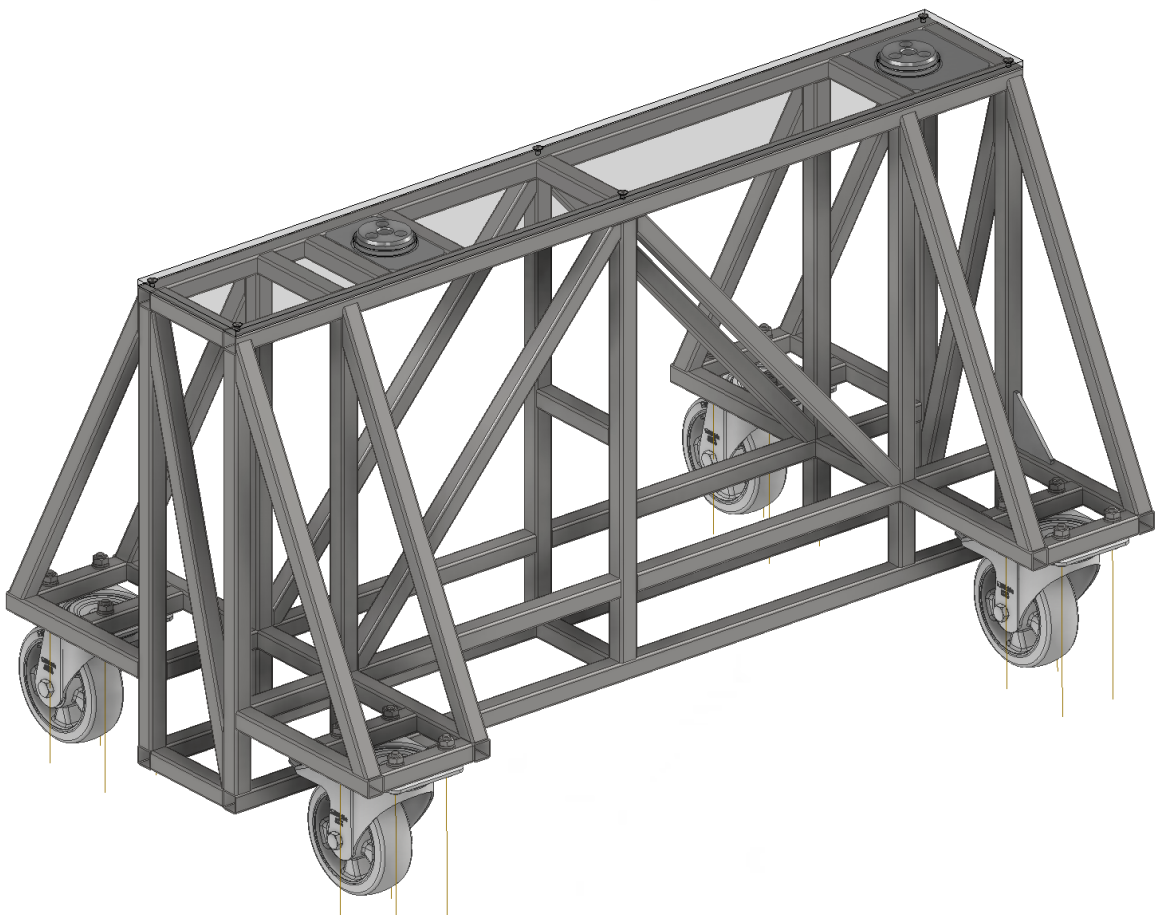


Рисунок 1.63 – Візок для переміщення та складання

Пристосування розраховане на переміщення рами по території підприємства, для чого достатньо 2 людини. Також на ньому відбувається

основний процес складання. Дане пристосування не розраховане для переміщення повністю зібраної машини,. Приклад розрахунку даного пристосування показаний на рис. 1.64. Оскільки пристосування представляє з себе раму створену з профільний труб, був застосований окремий модуль аналізу рамних конструкцій Autodesk Inventor, що значно спростило, та скоротило час на розрахунок, при підборі необхідної геометрії пристосування.

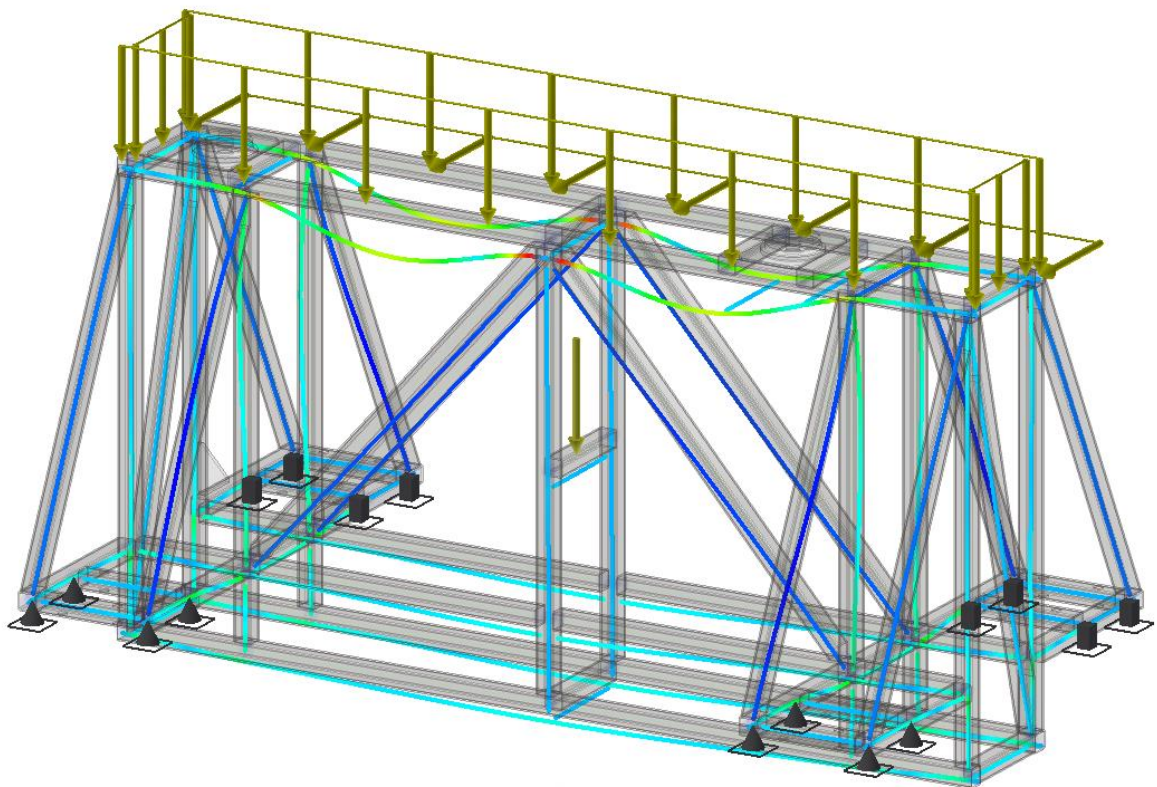


Рисунок 1.64 – Аналіз візка для переміщення та складання

Приклад застосування пристосування показаний на рис. 1.65.



Рисунок 1.65 – Фото використання візка

1.5.2 Опори для зберігання та транспортування

Ще на етапі розрахунку лонжеронів, рис. 1.6, розглядалась можливість розміщення машин одна на одній. Дана особливість значно спрощує процес транспортування двох і більше машин, що скорочує логістичні витрати та дає можливість більш раціонально використовувати складський простір, особливо це актуально при відносно великих розмірах машини. Було розроблено комплект опор, які дозволяють розміщувати машини одна на одній, 3D опори представлено на рис. 1.66.

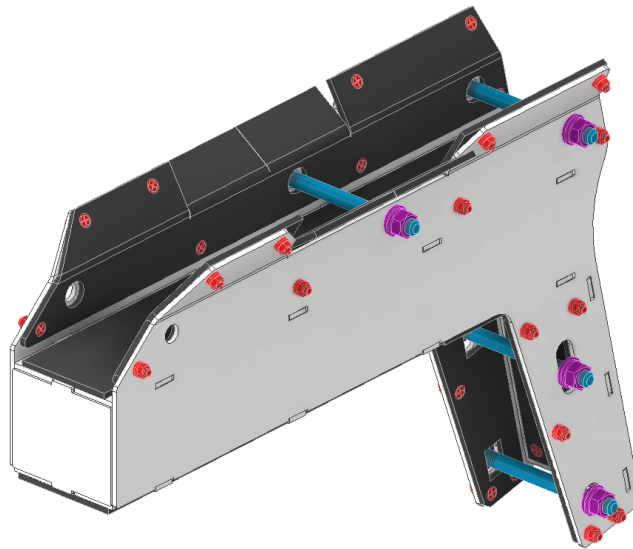


Рисунок 1.66 – 3D модель додаткової опора для встановлення пристроїв один на одного

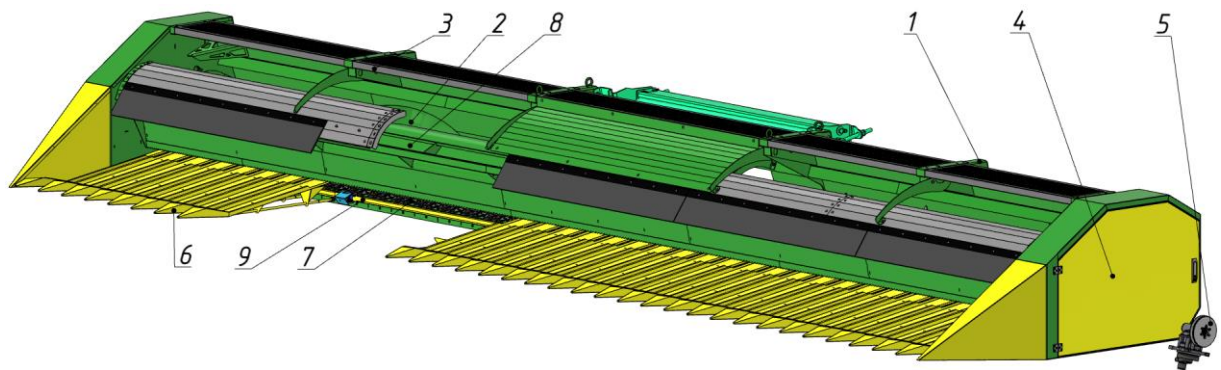
Допускається розміщення одна на одній до 2 готових машин, та до трьох рам, приклад використання показний на рис. 1.67.



Рисунок 1.67 – Фото використання опори

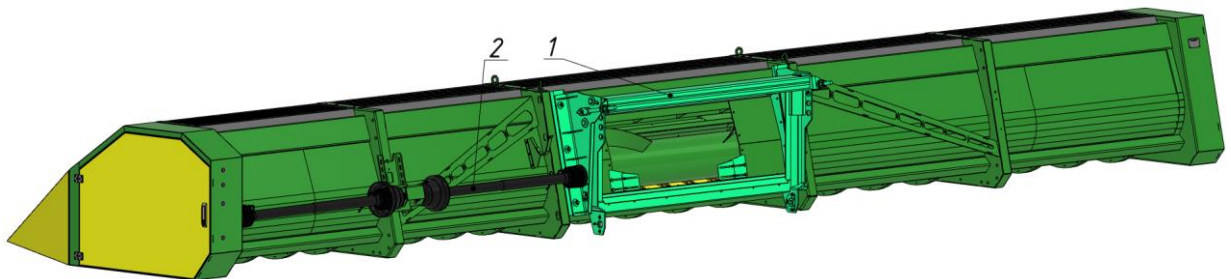
1.6 Результати

В результаті проектування було розроблено машину в двох виконаннях ПЗН-9,4М та ПЗН-7,4М, 3D модель машини показано на рис. 1.68, та рис. 1.69.



1 – рама; 2 – шнек; 3 – сітки; 4 – кришки бокові; 5 – редуктор приводу ножа;
6 – ліфтер; 7 – ніж із протиризальними пальцями; 8 - бітер; 9 – протяжний вал

Рисунок 1.68 – 3D модель пристрою, вигляд спереду



1 – рамка перехідна у комплекті (боковини, стійки, днище, ущільнювач, зашивка); 2 –
карданний вал

Рисунок 1.69 – 3D модель пристрою, вигляд спереду

На рис. 1.69 перехідна рамка 1 є стандартною складальною одиницею. Розроблено повний пакет конструкторської документації на 2 виконання машини, за яким запущено в виробництво першу дослідну партію з 25 пристроїв (ПЗН-9,4М – 15 шт., ПЗН-7,4М – 10 шт.). На даний момент виготовлено в загальному 10 пристроїв, серед яких 4 продано та які знаходяться на піднаглядовій експлуатації. Порівняльну характеристик основних параметрів старої та нової конструкції пристрою наведено в табл. 1.12.

Таблиця 1.12 – Порівняння основних характеристик загальної старої та нової конструкції пристрою

		Стара конструкція		Нова конструкція	
Конфігурація		ПЗН-9,4	ПЗН-7,4	ПЗН-9,4М	ПЗН-7,4М
Маса	кг	2600,6	2310,4	2253,6	1951,2
Розрахункове максимальне переміщення в моделі рами	мм	36,2	27,8	19,4	15,3
Реальне максимальне переміщення готового пристрою	мм	32,5	22,3	15,5	9,7
Максимальне розрахункове напруження в моделі рами	МПа	965,5	714,2	627,7	457,6
Кількість деталей	шт.	4351,0	3815,0	4162,0	3840,0
Номенклатура деталей	шт.	187,0	17*	168,0	17*

де * – номенклатура деталей яка унікальна для даного виконання пристрою

Аналізуючи результати наведені в табл. можемо дійти висновку, що поставлених цілей було досягнуто, значно зменшено прогин пристрою, при значному зменшенні загальної ваги пристрою. Також вдалося значно зменшити номенклатуру деталей, при тому що конструкція технологічно стала більш складною та отримала нові технологічні можливості. Кількість унікальних деталей для другого виконання лишилось без змін, що в основному пов'язано з конструкцією задніх жорсткостей, які з конструктивних особливостей для кожного виконання є унікальними та призводять до появи 10 нових деталей. Складальний кресленик машини показано на рис. 1.70, рис. 1.71, рис. 1.72, рис. 1.73, рис. 1.74, допуски проставлено базуючись на матеріалах з джерел [9], [10]. Специфікацію наведено в додатку Б. Реальні

фото пристрою показані на рис. 1.75. Всі результати роботи були передані ПП “БІЛОЦЕРКІВМАЗ” що підтверджується відповідним актом, додаток Г.

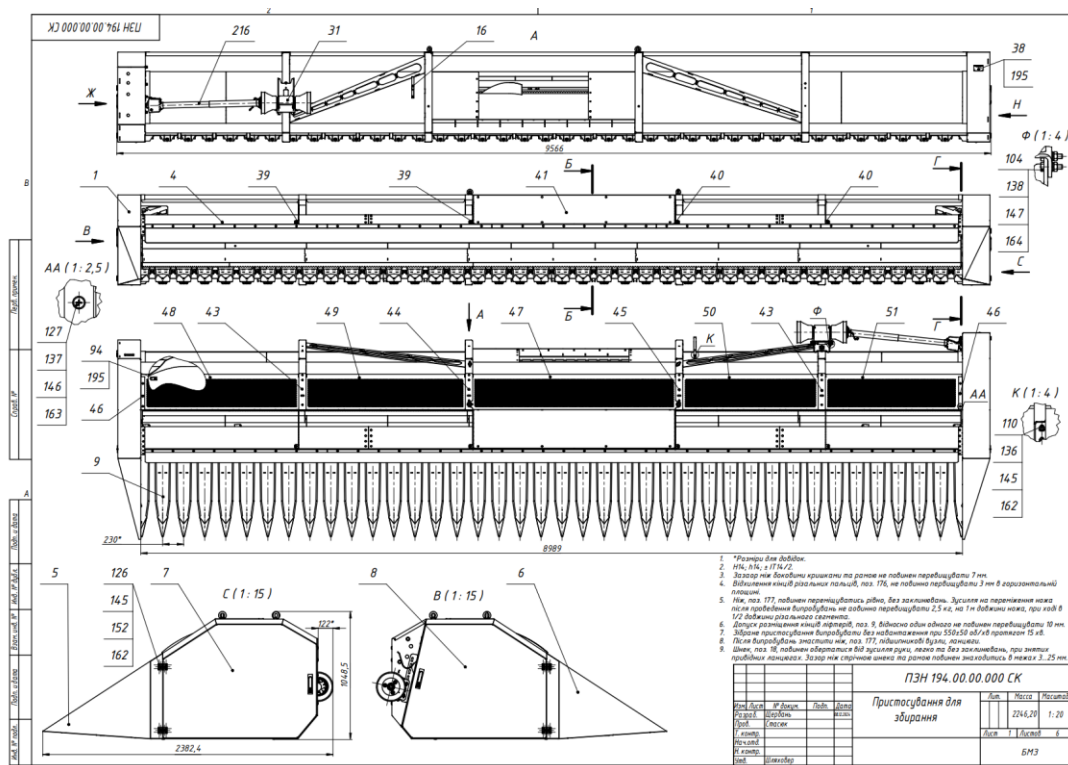


Рисунок 1.70 – Перший аркуш загального складального креслення ПЗН-9,4М

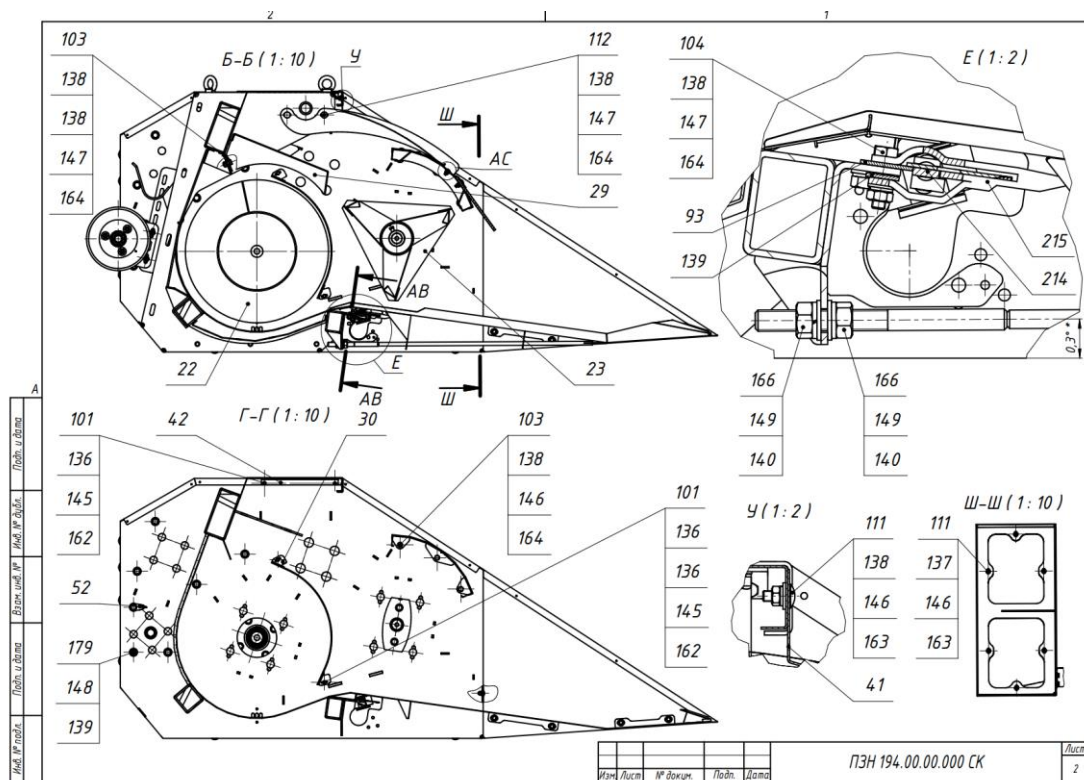


Рисунок 1.71 – Другий аркуш загального складального креслення ПЗН-9,4М

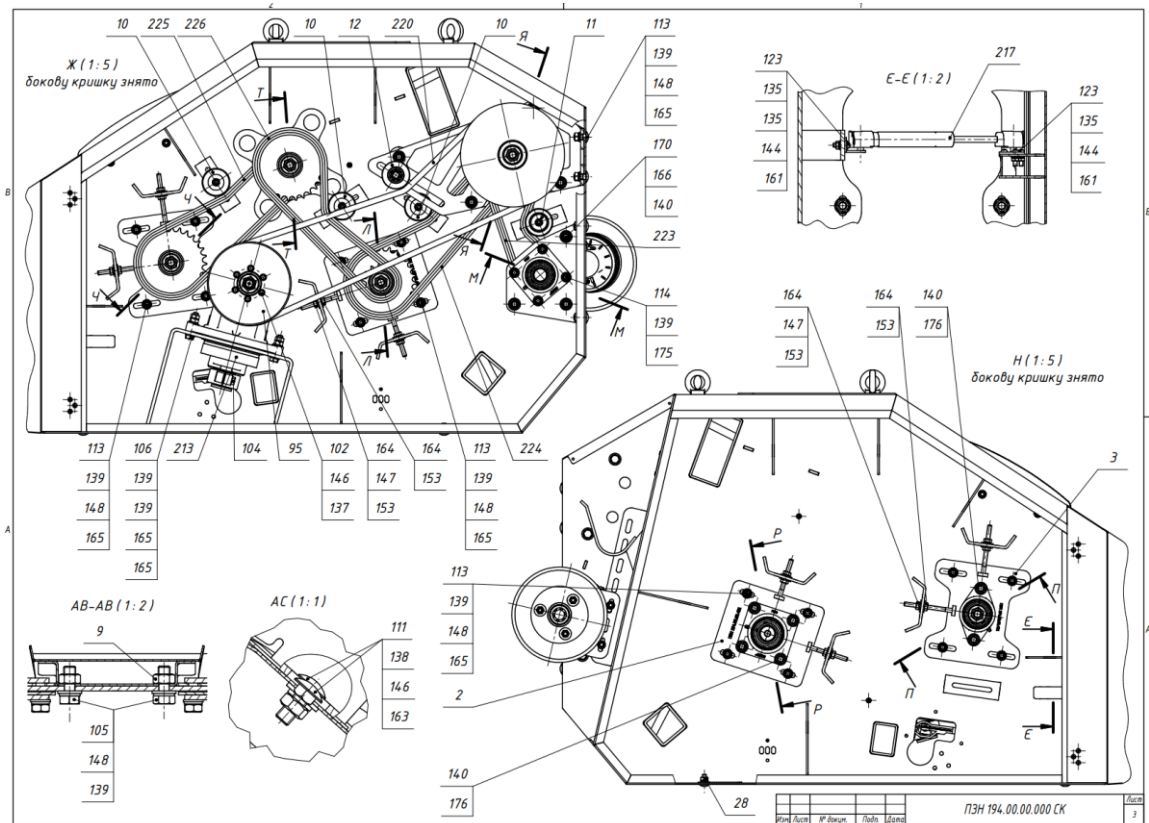


Рисунок 1.72 – Третій аркуш загального складального кресленка ПЗН-9,4М

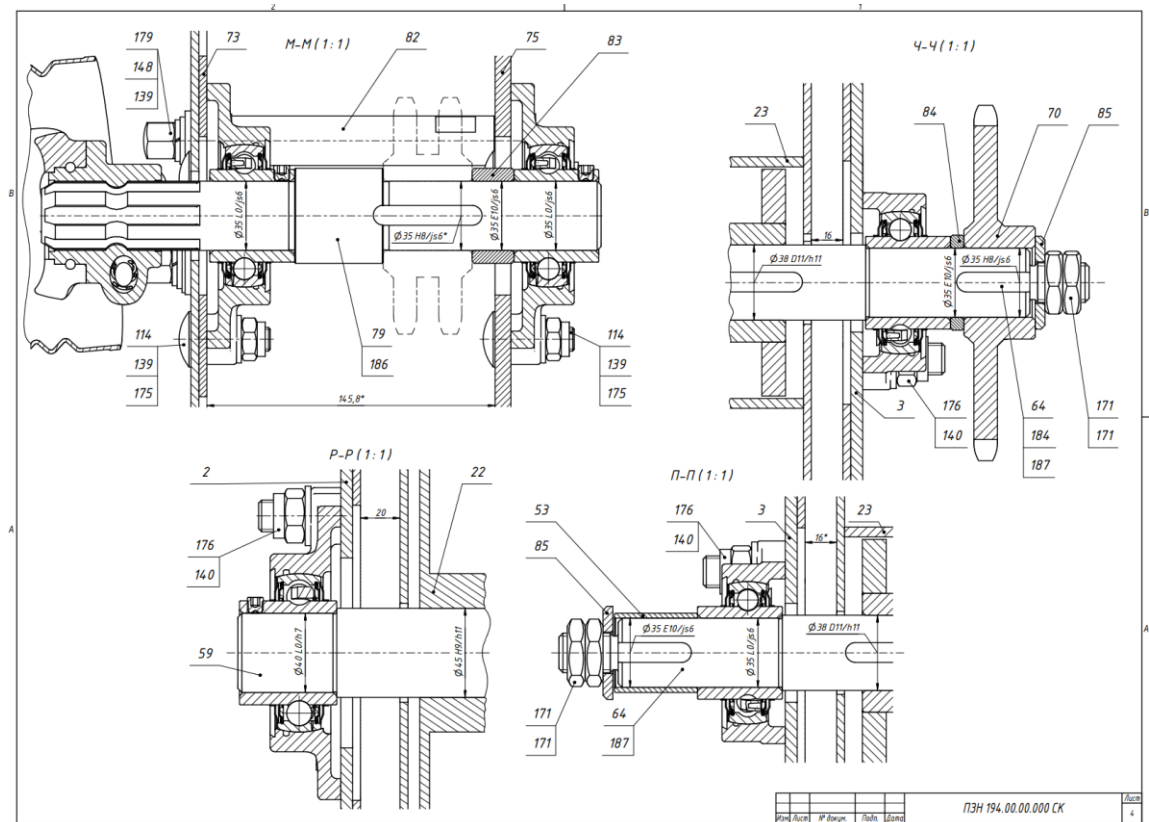


Рисунок 1.73 – Четвертий аркуш загального складального кресленка ПЗН-9,4М

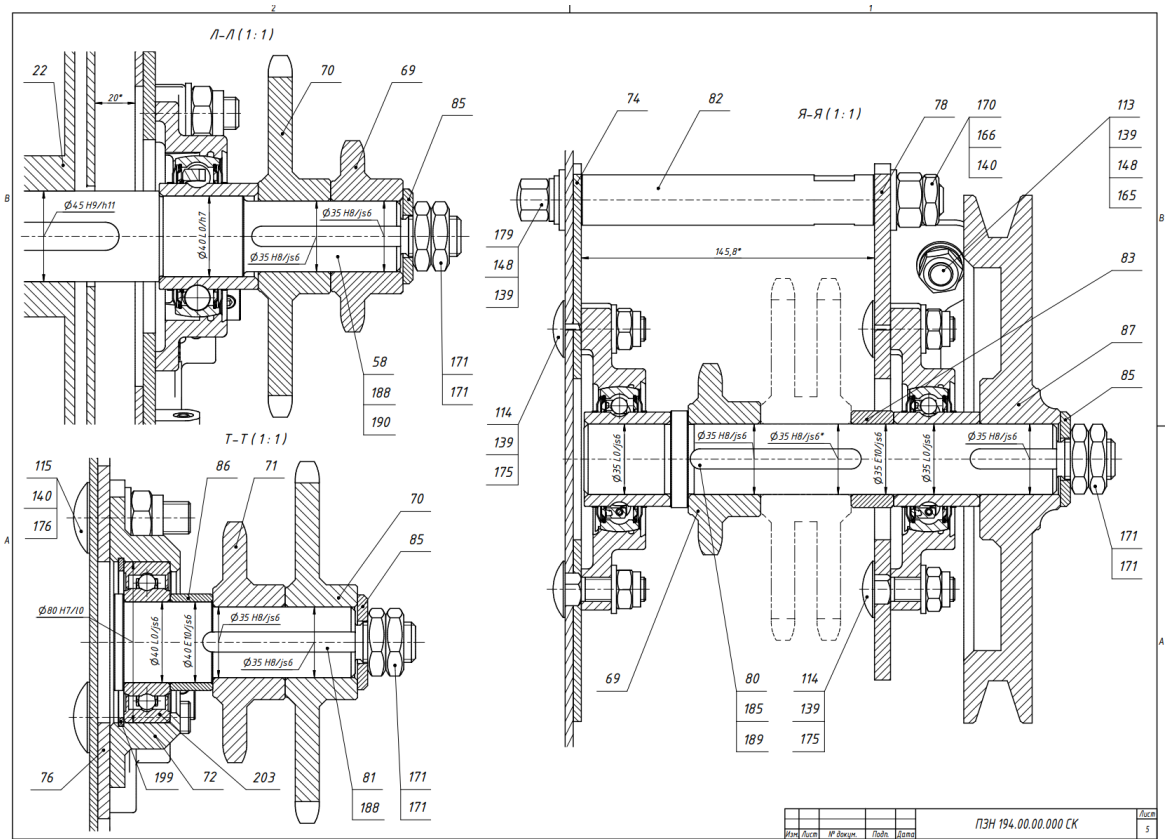


Рисунок 1.74 – П'ятий аркуш загального складального кресленника ПЗН-9,4М



Рисунок 1.75 – Фото готового пристрою

2 АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

2.1 Параметризація складальної одиниці

Для спрощення роботи над проектом, особливо на етапі дослідного зразка, коли вже визначена загальна структура та форма проекту, та потрібно підібрати найбільш раціональні геометричні параметри моделей та складальної одиниці. В даному проекті, основним, елементом є рама, вона визначає форму, габарити та взаємо розміщення всіх елементів конструкції. В рамі можна виділити основні елементи: хребтові балки, лонжерони, боковини, жорсткості та зашивки. Основним елементом, який задає форму всій конструкції є центральний лонжерон, показаний на рис. 2.1.

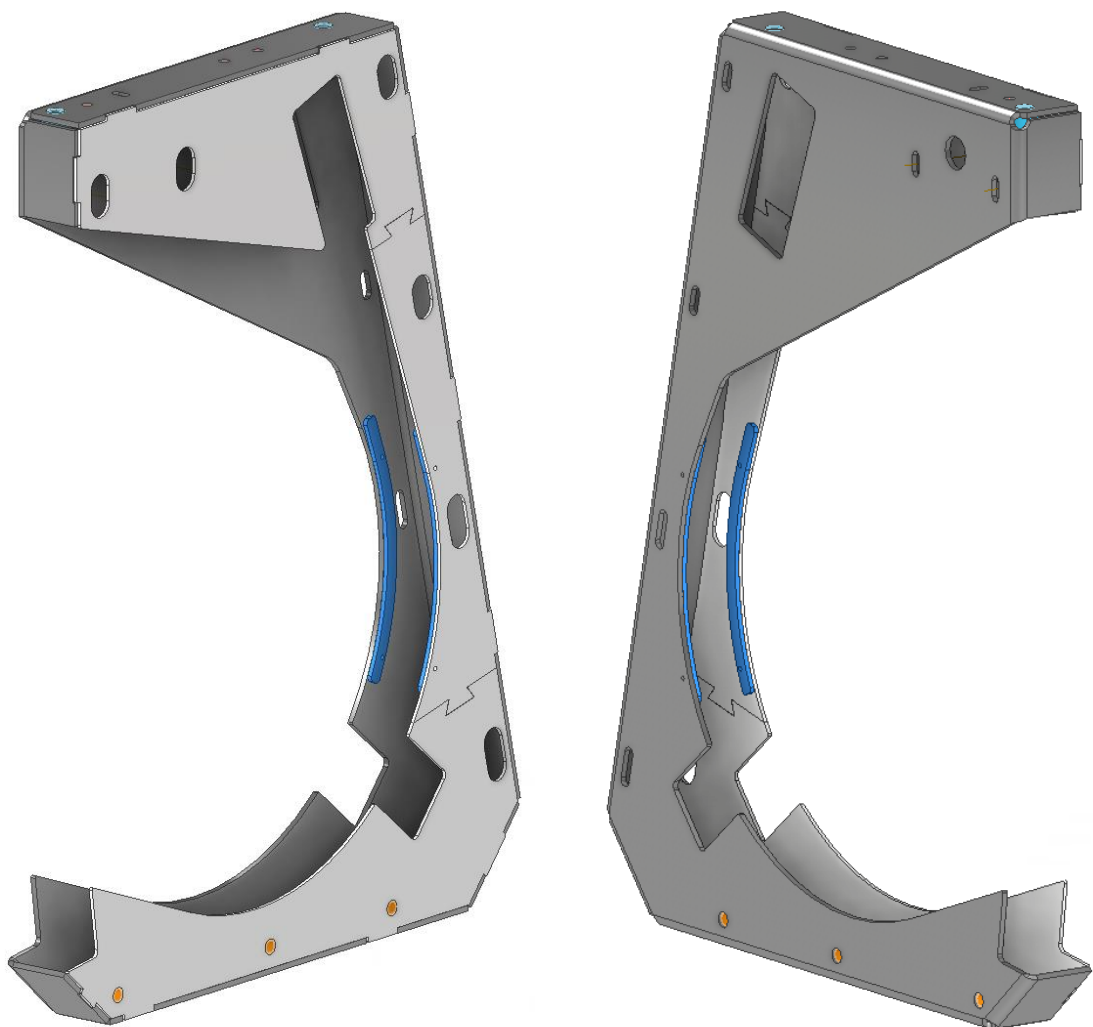


Рисунок 2.1 – 3D модель центрального лонжерону

Тому саме цей елементи було взято за базову деталь, тобто форма всіх інших елементів конструкції буде базуватись на геометрії лонжерону, тому потрібно відповідально підійти до оформлення дерева побудови та створення параметрів. Всі ескізи, на які планується посилається в інших елементах, потрібно підписувати, щоб не простіше орієнтуватися в взаємозв'язках в середині проекту, аналогічну процедуру потрібно провести і для параметрів базової моделі. Подібна процедура є бажаною для всіх деталей, але є необхідною для базових деталей, посилання на параметри, елементи та геометрію яких потрібно використовувати в різних елементах конструкції. Приклад дерева побудови показаний на рис. 2.2, та приклад посилання на елементи базової деталі показаний на рис. 2.3, рис. 2.4, та рис. 2.5.

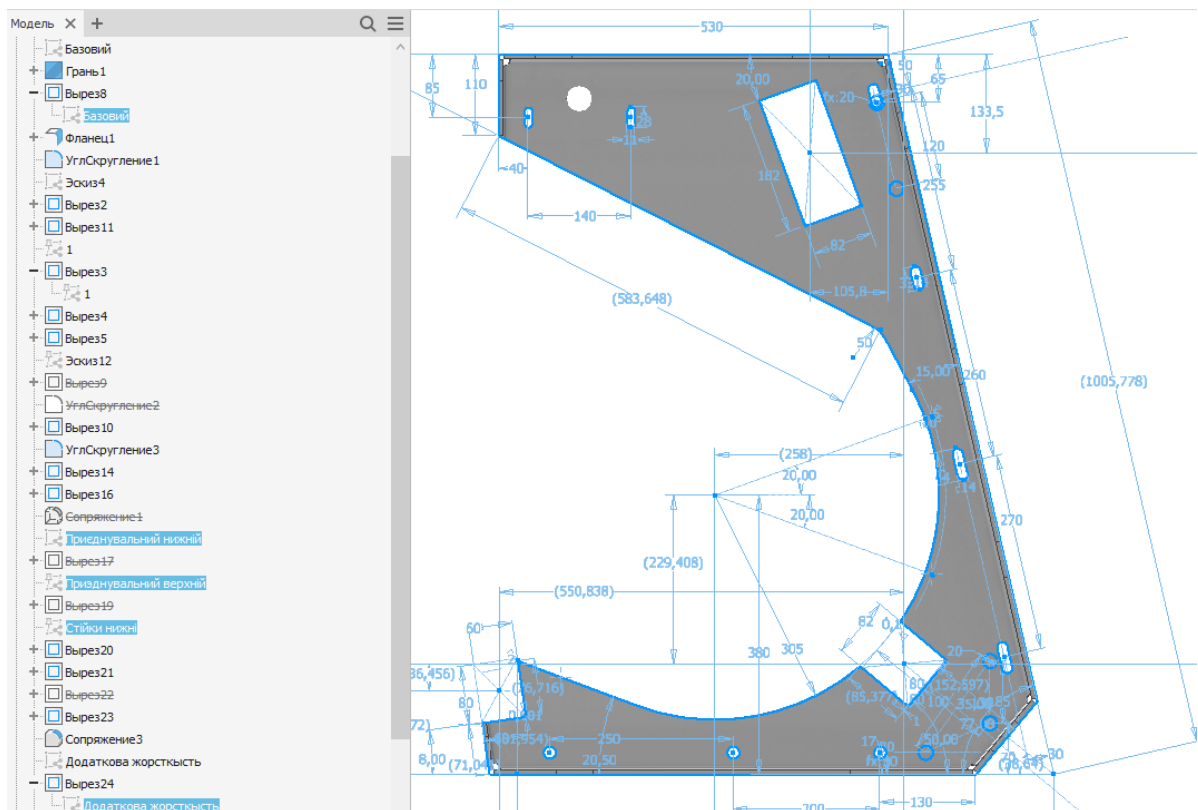


Рисунок 2.2 – Структура дерева базового компонента

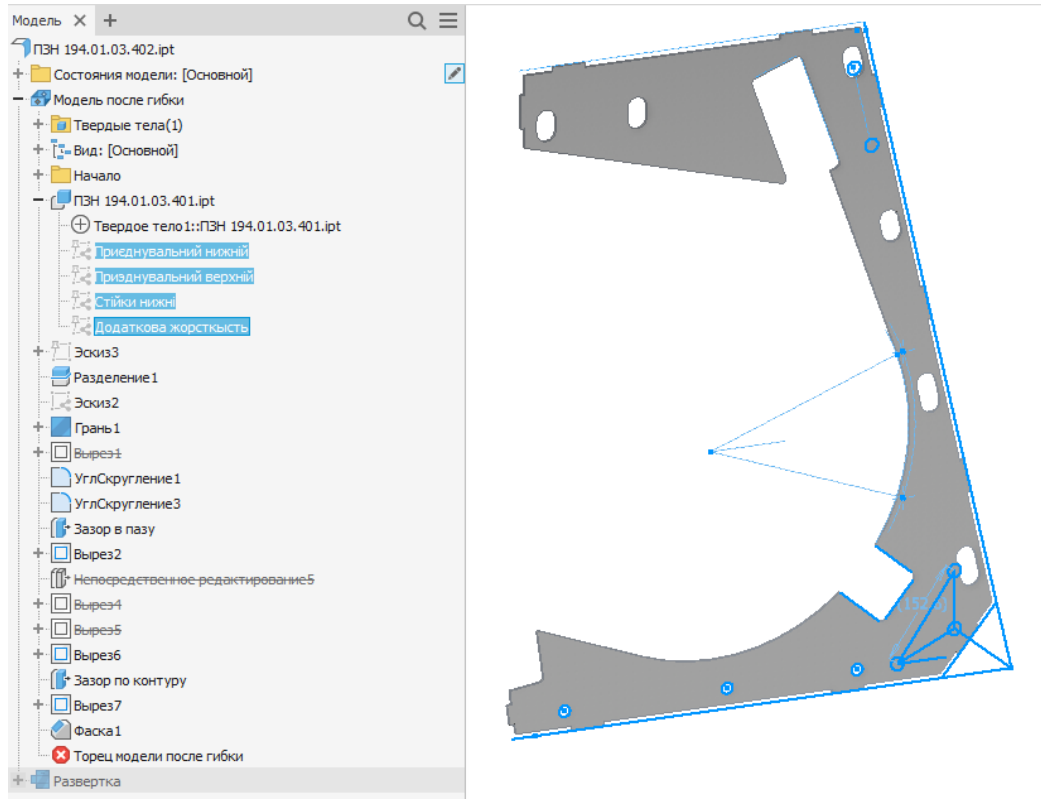


Рисунок 2.3 – Використання посилань на елементи базового компоненту

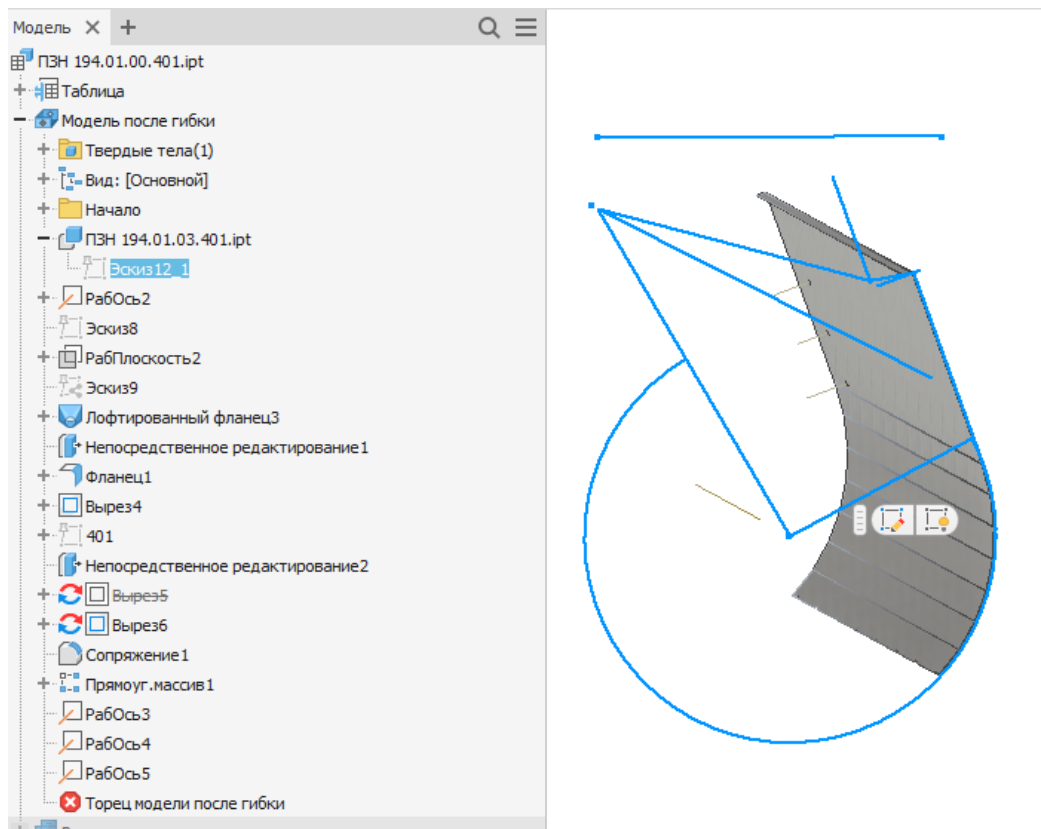


Рисунок 2.4 – Використання посилань на елементи базового компоненту

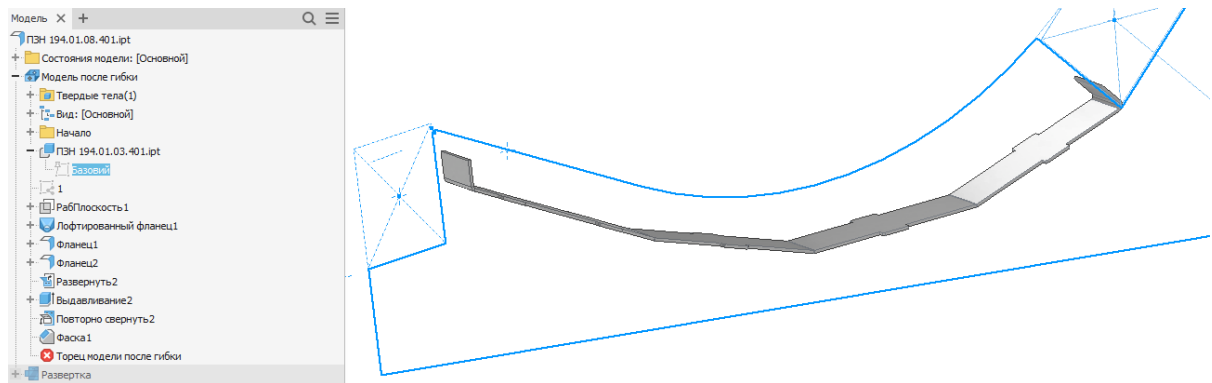


Рисунок 2.5 – Використання посилань на елементи базового компоненту

Одним із варіацій даного методу є створення схеми, аналогу базової деталі, яка в переважній більшості містить лише ескізи, площини, осі, та подібні не твердотільні елементи робочої геометрії. Для зручності подібні схематичні деталі називають MDG – Main Design Geometry, що дає змогу швидко відрізняти базовий елемент. В даному проекті за допомогою даного методу реалізовано взаємо розміщення осей кінематики, приклад на рис. 2.6.

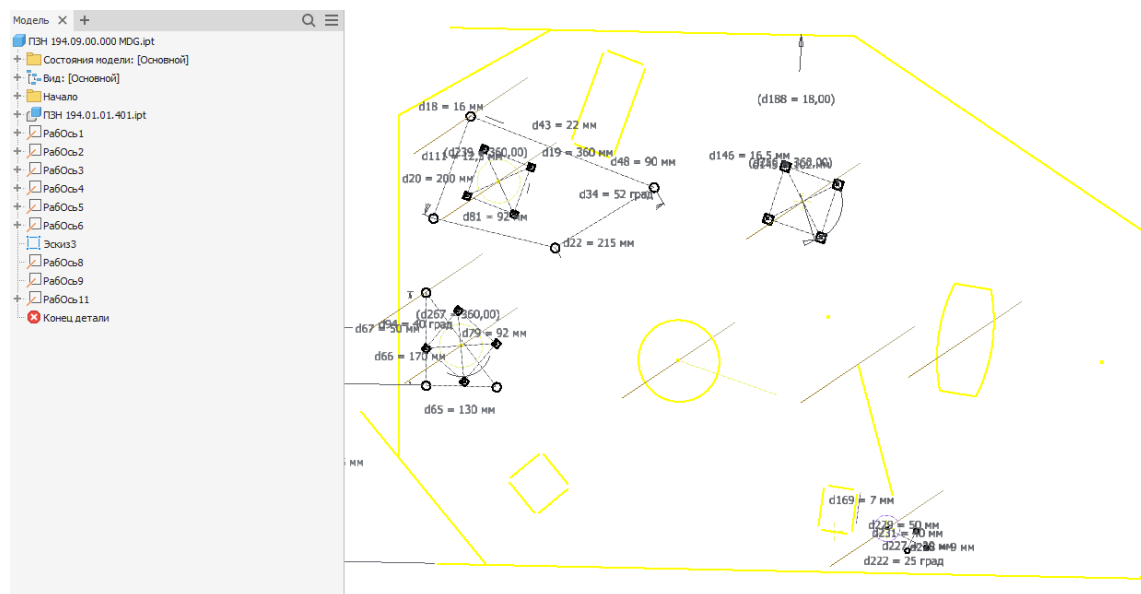


Рисунок 2.6 – Керуючий ескіз MDG

Тобто за допомогою маніпуляції з ескізом ми можемо змінити положення валів, зірочок в двох контурах, правому та лівому, приклад показано на рис. 2.7. Даний метод, на відміну від попереднього дає змогу маніпулювати більш глобальними параметрами, в основному збірок. Та,

оскільки сам базовий елемент не містить складних компонентів, його перебудова займає менше часу.

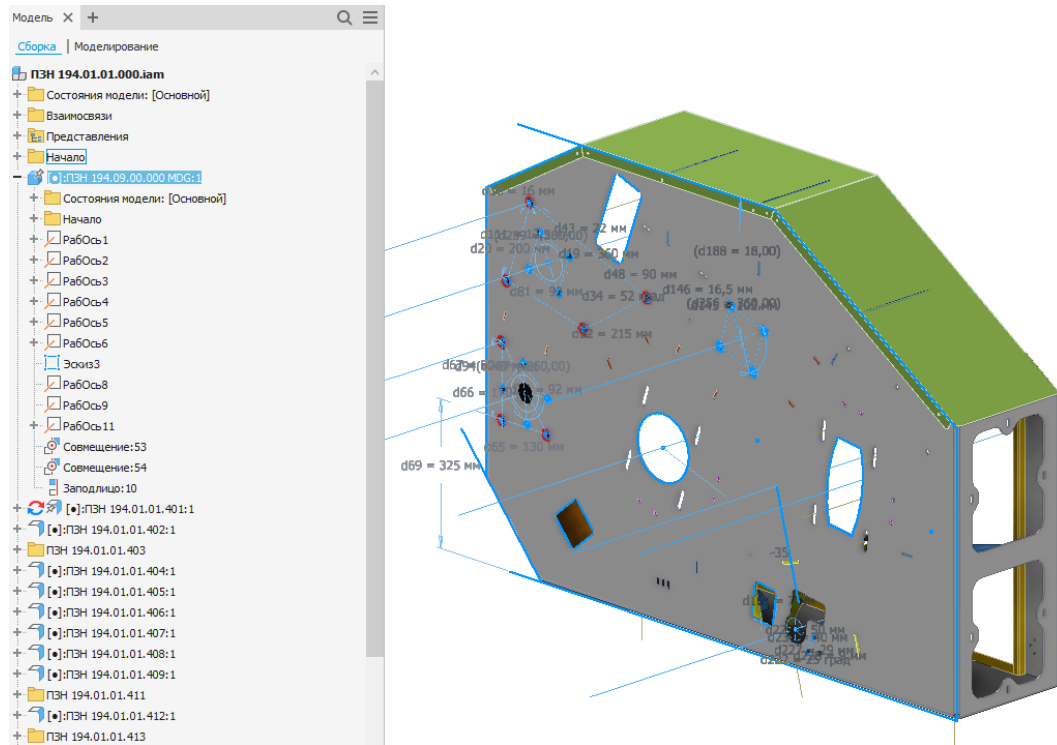


Рисунок 2.7 – Використання MDG в складальній одиниці

Подібні підходи, на менших масштабах присутні практично на всіх вузлах складальної одиниці, аби забезпечити відповідність геометрії. Подібний підхід, на мій погляд більш стабільний, оскільки навіть він досить легко дозволяє відновити взаємозв'язок між елементами, на відміну від підходу до моделювання “зверху вниз”, при якому ми будуємо моделі базуючись на вже раніше створених з врахуванням глобальної системи координат. При втраті, або пошкодженні файлів, відновити взаємозв'язки створені подібним чином буде значно тяжче. Однак подібний метод гарно підходить для збірок, які в яких не буде відбуватися радикальних змін в геометрії, та, особливо, у взаєморозміщенні компонентів. В даному проекті подібний підхід до параметризації використовується на невеликих складальних одиницях, які складаються з 2...3 деталей, та де розміщення елементів між собою не буде змінюватись в процесі роботи. Приклад використання моделювання “зверху-вниз” показаний на рис. 2.8.

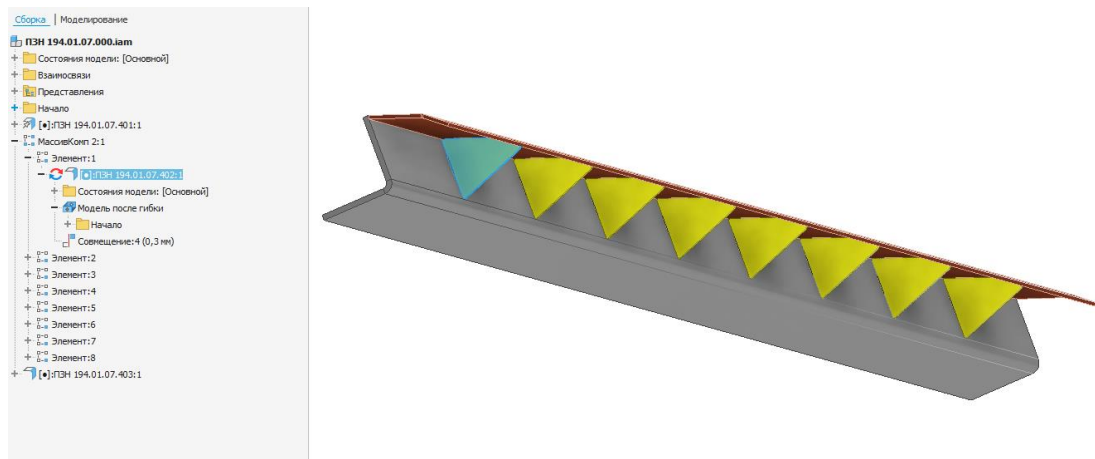


Рисунок 2.8 – Приклад застосування адаптивного компонента в складальній одиниці

В даному випадку параметричним елементом є ребро жорсткості, яке залежить від геометричних параметрів труби, геометрії ластової деталі та їх взаєморозміщення в складальній одиниці. Оскільки при створенні використовувались посилання на геометрію деталей в збірці, то при зміні параметрів деталі, параметрична деталь буде оновлюватись автоматичною, рис. 2.9.

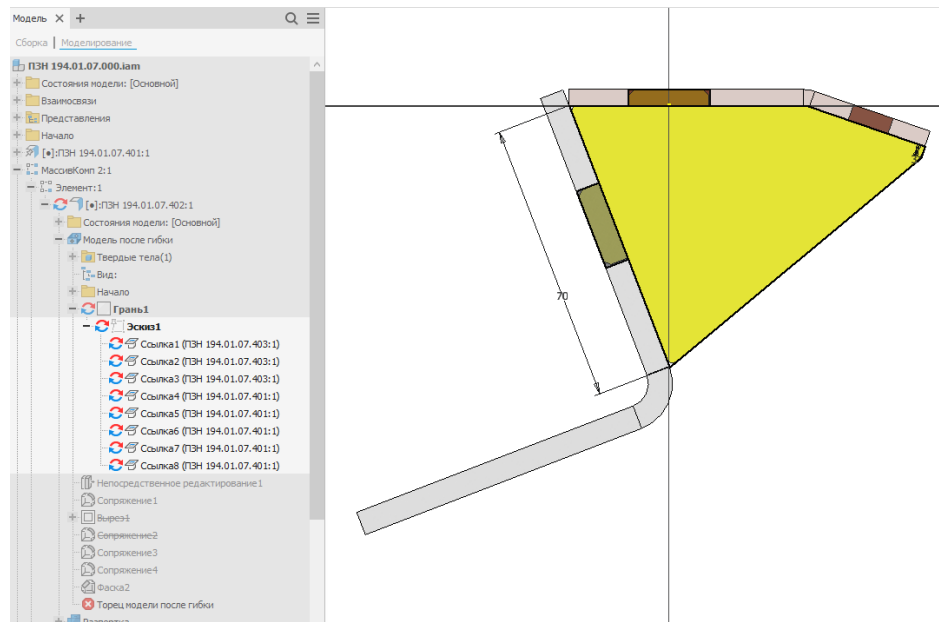


Рисунок 2.9 – Посилання на геометрію складальної одиниці в дереві адаптивної деталі

Аби не створювати кожного разу параметри, що потрібні для роботи, в даному випадку аби відразу працювати з листовою деталлю були застосовані шаблони, які місять в собі заздалегідь підготовлений набір елементів, який потрібен для роботи на певним проектом. Процес створення шаблону показаний на рис. 2.10.

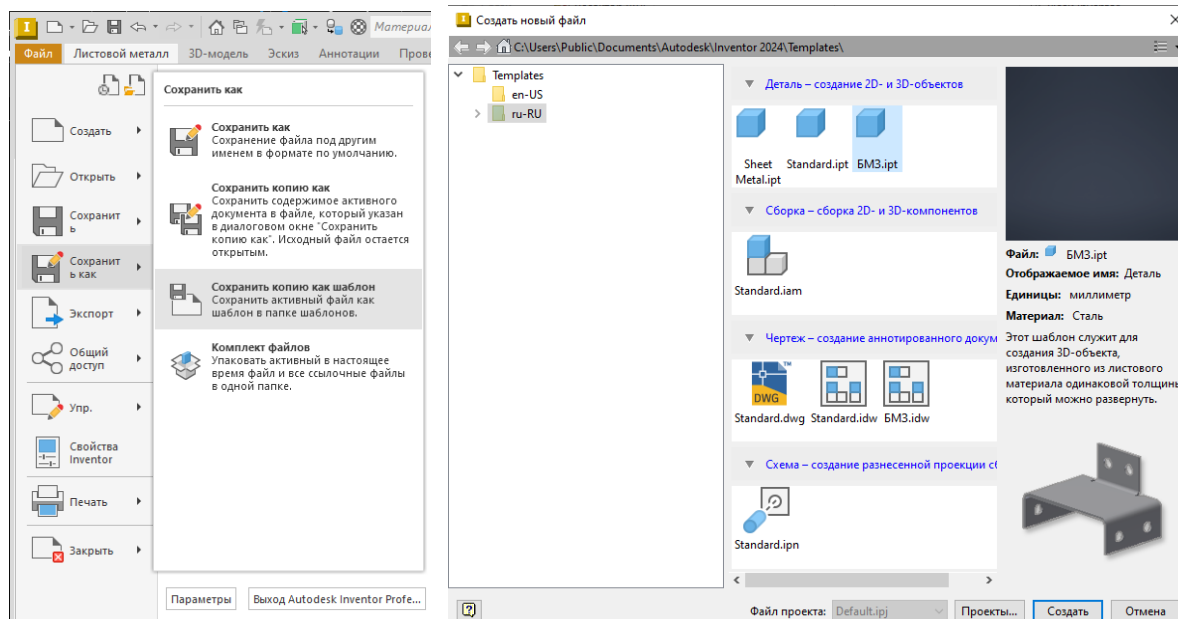


Рисунок 2.10 – Створення шаблону

2.2 Автоматизированный экспорт PDF креслеников

Під час роботи над проектом однією із задач було не тільки розробка первинного комплексу документації, але і своєчасне оновлення та заміна застарілої конструкторської документації, що є надзвичайно актуально на етапі виготовлення першого дослідного зразка. Оскільки для виготовлення даного пристрою було розроблено більше 300 файлів конструкторської документації, для її оперативного оновлення потрібно було розробити алгоритм або інструмент який би автоматизував рутинні процеси оновлення та експорту конструкторської документації. Одним з найбільш зручних інструментів, в умовах даного проекту є правила iLogic в Autodesk Inventor.

Застосування інструменту iLogic дозволяє в повній мірі автоматизувати експорт креслеників деталей та складальних одиниць, оскільки при його використанні є доступ до всіх параметрів та характеристик моделі виробу. Маючи доступ до характеристик файлу деталі або складальної одиниці, можна використовувати її параметри для автоматичного заповнення необхідних полів документу та використати ці данні для автоматичного перейменування експортованих файлів креслеників. Реалізувати це можна з допомогою створення відповідних «правил» iLogic – підпрограм, побудованих на застосуванні функцій API. Це дає можливість налаштувати автоматичний експорт креслеників. Основні вимоги які ставляться правила по автоматичній публікації креслеників:

- правило має швидко експортувати кресленик в PDF форматі в вказану директорію;
- правило має експортувати всі листи кресленника;
- правило має працювати як на рівні деталі, так і на рівні складальної одиниці;
- правило на рівні складальної одиниці має автоматично експортувати кресленики всіх деталей та складальних одиниць які в неї входять;
- правило повинно мати виключити з процесу експортування зазначені користувачем деталі, складальні одиниці, групи елементів;
- правило повинно мати можливість налаштування, для зміни директорії експортування файлів, для налаштування фільтрів виключення з експортування;
- правило повинно мати можливість оновлювати поле дати на кресленику, для відстежування змін в документації;

- по закінченню роботи правило повинно показати для яких деталей, складальних одиниць відсутні кресленики, та з якими елементами виникли помилки при експортуванні.

Для задоволення поставлених вимог було сформоване правило для автоматичного експорту креслеників в PDF форматі. Правило має коментарі до кожного блоку коду, з поясненнями за що він відповідає. Слід зазначити, що налаштування фільтрів працює по збереженню файлів в певну директорію налаштоване на позначення деталі. Система фільтрації дозволяє налаштувати фільтри на по декількох рівнях відповідності. Наприклад, є деталь з позначенням ПЗН 194.08.01.401 та ПЗН 194.08.02.403, система фільтрів дозволяє налаштувати збереження всіх файлів що мають в назві ПЗН 194.08 в одну директорію, а ПЗН 194.08.02 в іншу, тобто правило шукає якому з фільтрів найбільш відповідає код деталі та обирає потрібну директорію збереження. Подібна система працює і на фільтри виключення з експорту Частини коду з налаштуванням роботи правила винесені на початок. Приклад коду [7], [8]:

```
Sub Main()
' Оголошення змінних для фільтрів та шляхів до папок
Dim filters As New Dictionary(Of String, String) ' Зберігає фільтри і
відповідні шляхи
Dim defaultFolder As String = "C:\Users\anton\Desktop\Універ\Диплом
marictpa\DXF Test\PDF" ' ПАПКА ЗА ЗАМОВЧУВАННЯМ

' Приклад налаштувань фільтрів
filters.Add("ПЗН 194.01", "C:\Users\Desktop\DXF Test\PDF\1001") ' Вказати
папку для цього фільтра
filters.Add("ПЗН 194.08", "C:\Users\Desktop\DXF Test\PDF\2002") ' Вказати
іншу папку для цього фільтра
filters.Add("ПЗН 194.08.02", "C:\Users\Desktop\DXF Test\PDF\3003") ' Додано
більш точний фільтр

' Додайте або видаліть фільтри за необхідністю

' Фільтри для виключення
Dim excludeFilters As New List(Of String) From {"DIN", "ANSI", "ГОСТ",
"GOST", "ПЗН 194.09", "ПЗН 194.01.08.401" }

Dim PDFAddIn As TranslatorAddIn
Dim oAssemblyDocument As AssemblyDocument
Dim processedFiles As New HashSet(Of String) ' Список оброблених файлів
Dim missingDrawings As New List(Of String) ' Список для збереження елементів,
для яких не знайдено креслення
```

```

' Отримання активного документу збірки
oAssemblyDocument = ThisApplication.ActiveDocument

' Перевірка, чи активний документ є збіркою
If oAssemblyDocument.DocumentType <> DocumentTypeEnum.kAssemblyDocumentObject
Then
    MessageBox.Show("Будь ласка, відкрийте збірку.")
    Exit Sub
End If

' Ініціалізація PDFAddIn
PDFAddIn = ThisApplication.ApplicationAddIns.ItemById("{0AC6FD96-2F4D-42CE-
8BE0-8AEA580399E4}")

' Обробка всіх компонентів збірки
For Each oComponent As ComponentOccurrence In
oAssemblyDocument.ComponentDefinition.Occurrences
    ProcessComponent(oComponent, processedFiles, missingDrawings, filters,
defaultFolder, PDFAddIn, excludeFilters)
Next

' Обробка самого креслення збірки
SaveDrawingToPDF(oAssemblyDocument, processedFiles, missingDrawings, filters,
defaultFolder, PDFAddIn, excludeFilters)

' Після обробки всіх компонентів, виведення повідомлення, якщо є компоненти
без креслень
If missingDrawings.Count > 0 Then
    Dim missingMessage As String = "Для наступних компонентів не знайдено
креслення:" & vbCrLf & String.Join(vbCrLf, missingDrawings)
    MessageBox.Show(missingMessage)
End If
End Sub

' Функція для обробки компонентів збірки та підзбірок
Sub ProcessComponent(ByVal oComponent As ComponentOccurrence, ByVal
processedFiles As HashSet(Of String), ByVal missingDrawings As List(Of
String), ByVal filters As Dictionary(Of String, String), ByVal defaultFolder
As String, ByVal PDFAddIn As TranslatorAddIn, ByVal excludeFilters As List(Of
String))
    ' Отримання документу для компонента
    Dim oDocument As Document = oComponent.Definition.Document

    ' Перевірка, чи документ є збіркою або деталлю
    If oDocument.DocumentType = DocumentTypeEnum.kAssemblyDocumentObject
Then
        ' Якщо це підзбірка, рекурсивно обробити всі компоненти
        Dim oSubAssembly As AssemblyDocument = CType(oDocument,
AssemblyDocument)
        For Each oSubComponent As ComponentOccurrence In
oSubAssembly.ComponentDefinition.Occurrences
            ProcessComponent(oSubComponent, processedFiles,
missingDrawings, filters, defaultFolder, PDFAddIn, excludeFilters)
        Next
        ' Зберегти креслення підзбірки
        SaveDrawingToPDF(oSubAssembly, processedFiles,
missingDrawings, filters, defaultFolder, PDFAddIn, excludeFilters)
    ElseIf oDocument.DocumentType = DocumentTypeEnum.kPartDocumentObject
Then
        ' Якщо це деталь, перевіряємо наявність креслення

```

```

        SaveDrawingToPDF(oDocument, processedFiles, missingDrawings,
filters, defaultFolder, PDFAddIn, excludeFilters)
    End If
End Sub

' Функція для збереження креслення в PDF з урахуванням фільтрів
Sub SaveDrawingToPDF(ByVal oDocument As Document, ByVal processedFiles As
HashSet(Of String), ByVal missingDrawings As List(Of String), ByVal filters
As Dictionary(Of String, String), ByVal defaultFolder As String, ByVal
PDFAddIn As TranslatorAddIn, ByVal excludeFilters As List(Of String))
    ' Перевірка, чи креслення вже оброблене
    If processedFiles.Contains(oDocument.FullFileName) Then
        Return
    End If

    ' Отримання позначення деталі (Part Number)
    Dim partNumber As String = oDocument.PropertySets.Item("Design
Tracking Properties").Item("Part Number").Value

    ' Перевірка наявності фільтрів для виключення
    For Each filter As String In excludeFilters
        If partNumber.Contains(Filter) Then
            Return ' Не зберігати креслення, якщо є збіг
        End If
    Next

    ' Визначення відповідної папки на основі фільтрів або використання
папки за замовчуванням
    Dim pdfFolder As String = GetFolderForPartNumber(partNumber, filters,
defaultFolder)

    ' Перевірка, чи папка існує
    If Not System.IO.Directory.Exists(pdfFolder) Then
        System.IO.Directory.CreateDirectory(pdfFolder)
    End If

    ' Пошук креслення за іменем
    Dim drawingNameWithoutExtension As String =
System.IO.Path.GetFileNameWithoutExtension(oDocument.FullFileName)
    Dim drawingFilePath As String =
System.IO.Path.Combine(System.IO.Path.GetDirectoryName(oDocument.FullFileName
), drawingNameWithoutExtension & ".idw")

    ' Якщо креслення існує
    If System.IO.File.Exists(drawingFilePath) Then
        ' Відкриття креслення
        Dim oDrawingDocument As DrawingDocument =
ThisApplication.Documents.Open(drawingFilePath)

        ' Видалення розширення файлу креслення з назви PDF
        Dim pdfFileName As String = System.IO.Path.Combine(pdfFolder,
drawingNameWithoutExtension & ".pdf")

        ' Створення об'єкта DataMedium для збереження в PDF
        Dim oDataMedium As DataMedium =
ThisApplication.TransientObjects.CreateDataMedium
        oDataMedium.FileName = pdfFileName

        ' Створення об'єкта TranslationContext
        Dim oContext As TranslationContext =
ThisApplication.TransientObjects.CreateTranslationContext
        oContext.Type = IOMechanismEnum.kFileBrowseIOMechanism
    End If
End Sub

```

```

        ' Налаштування параметрів PDF для експорту всіх листів
креслення
        Dim oOptions As NameValueMap =
ThisApplication.TransientObjects.CreateNameValueMap
        If PDFAddIn.HasSaveCopyAsOptions(oDrawingDocument, oContext,
oOptions) Then
            oOptions.Value("All_Color_AS_Black") = 0 '
Налаштування кольорів
            oOptions.Value("Remove_Line_Weights") = 1 '
Налаштування ваги ліній
            oOptions.Value("Sheet_Range") =
Inventor.PrintRangeEnum.kPrintAllSheets ' Експорт всіх листів
        End If

        ' Експорт креслення в PDF
        Try
            PDFAddIn.SaveCopyAs(oDrawingDocument, oContext,
oOptions, oDataMedium)
            processedFiles.Add(oDocument.FullFileName) ' Додавання
до оброблених файлів
            oDrawingDocument.Close(True)
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show("Помилка при збереженні креслення " &
drawingFilePath & ": " & ex.Message)
        End Try
    Else
        ' Якщо креслення не знайдено, додаємо деталь або підбірку до
списку
        missingDrawings.Add(oDocument.DisplayName & " (Креслення не
знайдено)")
    End If
End Sub

' Функція для визначення відповідної папки для позначення (Part Number), або
використання папки за замовчуванням
Function GetFolderForPartNumber(ByVal partNumber As String, ByVal filters As
Dictionary(Of String, String), ByVal defaultFolder As String) As String
    Dim matchedFolder As String = defaultFolder
    Dim maxLength As Integer = 0 ' Максимальна довжина ключа, знайденого в
фільтрах

    ' Перебір фільтрів для пошуку найбільш точних збігів
    For Each filter As KeyValuePair(Of String, String) In filters
        ' Перевірка наявності початку номера деталі з фільтром
        If partNumber.StartsWith(Filter.Key) Then
            ' Якщо знайдено більш точний фільтр (довший ключ),
оновлюємо відповідну папку
            If Filter.Key.Length > maxLength Then
                matchedFolder = Filter.Value ' Оновлюємо
знайдену папку
                maxLength = Filter.Key.Length ' Оновлюємо
максимальну довжину
            End If
        End If
    Next

    ' Повертаємо знайдену папку або за замовчуванням
    Return matchedFolder
End Function

```

Для забезпечення вимоги оновлення дати було створено окреме правило окремо від основного, оскільки не завжди при експортуванні документації потрібно оновити параметри дати, наприклад при роботі зі стороннім проектом. Правило складається з двох частин правила на рівні збірки та зовнішнього правила. Правило на рівні збірки створене з метою пошуку всіх елементів які мають креслення та запуску зовнішнього правила яке безпосередньо і оновлює дату. На даний момент при розробці даних правил не вдалося об'єднати їх в одне. Приклад правила на рівні збірки:

```
Sub Main()

    ' Шлях до зовнішнього правила (легко змінюваний)
    Dim externalRulePath As String
    externalRulePath = "C:\Users\anton\Desktop\Універ\Диплом магістра\DXF
Test\Правила\Оновлення дати.iLogicVb" ' Змініть шлях до вашого правила

    ' Список виключень для позначень (Part Numbers)
    Dim exclusionFilters As New List(Of String) From {"ПЗН 194.01", "ПЗН
194.02", "DIN", "ГОСТ", "GOST"} ' Додайте або змініть тут ваші виключення

    ' Отримуємо активний документ збірки
    Dim oAsmDoc As AssemblyDocument
    oAsmDoc = ThisApplication.ActiveDocument

    ' Перевіряємо, чи активний документ є збіркою
    If oAsmDoc.DocumentType <> DocumentTypeEnum.kAssemblyDocumentObject Then
        MessageBox.Show("Будь ласка, відкрийте документ збірки.")
        Exit Sub
    End If

    ' Підключення iLogic Automation
    Dim addIn As ApplicationAddIn
    addIn = ThisApplication.ApplicationAddIns.ItemById("{3bdd8d79-2179-4b11-
8a5a-257b1c0263ac}")

    ' Перевіряємо, чи активований add-in
    If Not addIn.Activated Then
        addIn.Activate()
    End If

    ' Отримуємо доступ до iLogic Automation
    Dim iLogicAuto As Object
    iLogicAuto = addIn.Automation

    ' Список для збереження деталей і збірок з помилками
    Dim errorList As New List(Of String)

    ' Створюємо HashSet для унікальних деталей, щоб обробляти кожну деталь
    лише один раз
    Dim processedParts As New HashSet(Of String)

    ' Проходимо по всіх компонентах збірки рекурсивно
```

```

    Call ProcessOccurrences(oAsmDoc.ComponentDefinition.Occurrences,
processedParts, errorList, externalRulePath, iLogicAuto, exclusionFilters)

    ' Виведення повідомлення про завершення та перелік деталей з помилками
    If errorList.Count > 0 Then
        Dim errorMessage As String = "Помилки при обробці наступних
деталей/збірок:" & vbCrLf & String.Join(vbCrLf, errorList)
        MessageBox.Show(errorMessage, "Помилки під час збереження")
    Else
        MessageBox.Show("Запуск зовнішнього правила завершено успішно.",
"Готово")
    End If

End Sub

' Функція для обробки всіх компонентів збірки
Sub ProcessOccurrences(ByVal occurrences As ComponentOccurrences, ByRef
processedParts As HashSet(Of String), ByRef errorList As List(Of String),
ByVal externalRulePath As String, ByVal iLogicAuto As Object, ByVal
exclusionFilters As List(Of String))

    For Each oComponent As ComponentOccurrence In occurrences
        Dim oDoc As Document = oComponent.Definition.Document

        ' Обробляємо тільки деталі і збірки
        If oDoc.DocumentType = DocumentTypeEnum.kPartDocumentObject Or
oDoc.DocumentType = DocumentTypeEnum.kAssemblyDocumentObject Then
            Dim partNumber As String = oDoc.PropertySets.Item("Design
Tracking Properties").Item("Part Number").Value

            ' Перевіряємо, чи ця деталь вже була оброблена
            If Not processedParts.Contains(partNumber) Then
                ' Додаємо деталь у список оброблених
                processedParts.Add(partNumber)

                ' Перевірка на наявність виключення (зміна з StartsWith на
Contains)
                Dim isExcluded As Boolean =
exclusionFilters.Any(Function(exclusion) partNumber.Contains(exclusion))

                ' Якщо не виключено, обробляємо креслення
                If Not isExcluded Then
                    Try
                        ' Відкриття креслення, якщо воно не відкрите
                        Dim drawingDoc As DrawingDocument = Nothing
                        Try
                            Dim drawingFilePath As String =
System.IO.Path.ChangeExtension(oDoc.FullFileName, ".idw")
                            drawingDoc =
ThisApplication.Documents.Open(drawingFilePath, False)
                        Catch ex As Exception
                            errorList.Add(partNumber & " - креслення не
знайдено або не вдалося відкрити")
                        End Try
                    End Try

                    ' Якщо креслення відкрите, запускаємо зовнішнє
правило
                    If Not drawingDoc Is Nothing Then
                        Try
                            ' Запуск зовнішнього правила
                            iLogicAuto.RunExternalRule(drawingDoc,
externalRulePath)

```

```

        ' Збереження і закриття креслення
        drawingDoc.Save()
        drawingDoc.Close()
    Catch ex As Exception
        errorList.Add(partNumber & " - помилка при
виконанні правила: " & ex.Message)
    End Try
End If

    Catch ex As Exception
        ' Фіксуємо деталі/збірки, з якими виникли помилки,
без відкриття діалогу помилок
        errorList.Add(partNumber & " - помилка: " &
ex.Message)
    End Try
End If
End If

    ' Рекурсивний виклик для обробки підзбірок
    If oComponent.DefinitionDocumentType =
DocumentTypeEnum.kAssemblyDocumentObject Then
        Call ProcessOccurrences(oComponent.SubOccurrences,
processedParts, errorList, externalRulePath, iLogicAuto, exclusionFilters)
    End If

Next

End Sub

```

Приклад зовнішнього правила оновлення дати:

```

oTime = Now.ToShortDateString
iProperties.Value("Project", "Creation Date") = oTime
iLogicVb.UpdateWhenDone = True

```

Його можна застосовувати локально на рівні деталі, за необхідності. В проекті всі деталі побудовані в шаблоні, при якому при збереженні файлу кресленика автоматично оновлюється його дата. Це реалізовано через ініціатор подій, фото діалогового вікна показано на рис. 2.11.

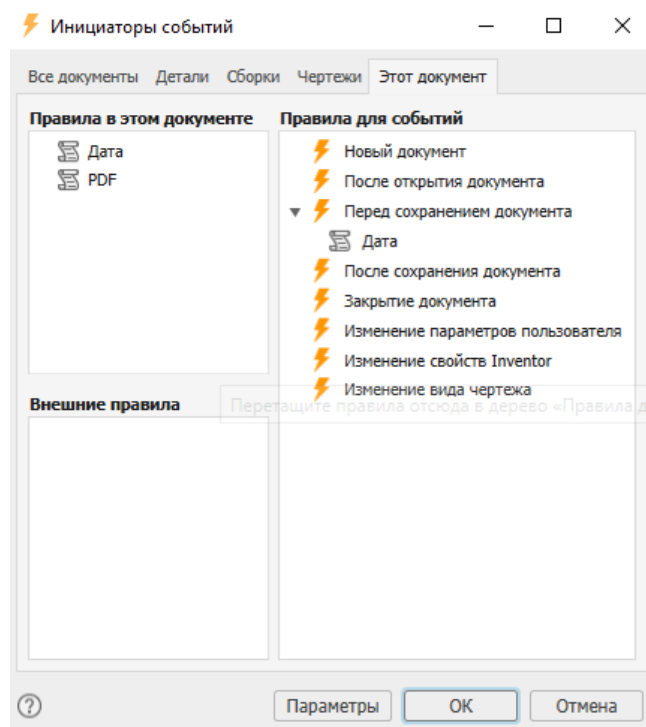


Рисунок 2.11 – Діалогове вікно ініціатору подій

Якщо потрібно працювати локально, на рівні деталі та експортувати креслення можна застосовувати наступне правило [7]:

```
'отримуємо шлях до цільової папки
oFolder = "C:\Users\anton\Desktop\Універ\Диплом marictpa\DXF Test\PDF"

oPath = ThisDoc.Path
oFileName = ThisDoc.FileName(False)
oRevNum = iProperties.Value("project", "revision number")
oPDFAddIn = ThisApplication.ApplicationAddIns.ItemById _
("{0AC6FD96-2F4D-42CE-8BE0-8AEA580399E4}")
oDocument = ThisApplication.ActiveDocument
oContext = ThisApplication.TransientObjects.CreateTranslationContext
oContext.Type = IOMechanismEnum.kFileBrowseIOMechanism
oOptions = ThisApplication.TransientObjects.CreateNameValueMap
oDataMedium = ThisApplication.TransientObjects.CreateDataMedium

If oPDFAddIn.HasSaveCopyAsOptions(oDocument, oContext, oOptions) Then
oOptions.Value("All_Color_AS_Black") = 0
oOptions.Value("Remove_Line_Weights") = 0
oOptions.Value("Vector_Resolution") = 400
oOptions.Value("Sheet_Range") = Inventor.PrintRangeEnum.kPrintAllSheets
'oOptions.Value("Custom_Begin_Sheet") = 2'oOptions.Value("Custom_End_Sheet")
= 4
End If
'Встановити ім'я цільового файлу PDF
oDataMedium.FileName = oFolder & "\" & iProperties.Value("Project", "Part
Number") & ".pdf"

'Опублікувати документ
oPDFAddIn.SaveCopyAs(oDocument, oContext, oOptions, oDataMedium)
```

Даний підхід до створення конструкторської документації, суттєво скоротити час на її експорт та оновлення. Робота з налаштуванням даного правила не потребує глибоких навичок в програмуванні в системі iLogic, також важливою перевагою є те, що застосування даного правила не потребує ніякої додаткової підготовки файлу проекту, тобто дане правило можна застосовувати для сторонніх проектів розроблених в середовищі Autodesk Inventor. Використання правил дозволяє суттєво пришвидшити процес випуску та оновлення КД проекту. Особливо це актуально для великих проектів, технічна документація яких складається з сотень файлів та постійно оновлюється. Для порівняння: щоб зберегти кресленики стандартним методом в Inventor необхідно затратити мінімум 15 секунд та 3 кліки мишки на один кресленик. Час та кількість кліків мишкою можуть бути і більшими, в залежності від назви файлу, вибору місця розташування, створення нового файлу, або заміни вже існуючого. Виконання створеного правила дозволяє після швидкого налаштування зберегти файл за 2 секунди та 1 клік, що значно зменшує час на підготовку значного обсягу конструкторської документації. До того ж не потрібно відволікатися на рутинні операції, що теж суттєво пришвидшує виконання проекту.

2.3 Автоматизований випуск DXF файлів листових деталей

Як уже було зазначено вище близько 95% складається з листових деталей. Це означає, що в додаток до робочого креслення потрібно сформувати DXF файл розгортки листових деталей для розкрою. Тому робота по підготовці конструкторської документації збільшується практично вдвоє. Оскільки на підприємстві не впроваджено PDM систему, яка би автоматично зв'язувала файли деталей, креслень, розгортки та інших допоміжних файлів,

тому є необхідність в системному зберіганні DXF файлів. Серед основних вимог що відносяться до створення DXF файлів:

- DXF файл має містити в назві позначення номеру деталі;
- DXF файл має містити в назві позначення кількості деталей що входять в складальну одиницю на рівні запуску правила;
- DXF файл має містити в назві позначення товщини листової деталі;
- DXF файли в залежності від найменування мають автоматично зберігатися в визначені папки в залежності від того, в яку складальну одиницю вони входять.

До додатковий параметрів можна віднести матеріал, з якого має бути виготовлено розгортку, в даному проєкті 98% деталей виготовляються зі Сталі 3 пс 2 ГОСТ 14637, або її аналогів, тому даний параметр не є необхідним. Приклад правила [8]:

```
Sub Main()
    Dim dxfFolderPath As String = "C:\Users\anton\Desktop\DXF\1" ' Базова
    папка для деталей що не потрапили під фільтри
    Dim oAsmDoc As AssemblyDocument
    oAsmDoc = ThisApplication.ActiveDocument

    If Not My.Computer.FileSystem.DirectoryExists(dxfFolderPath) Then
        My.Computer.FileSystem.CreateDirectory(dxfFolderPath)
    End If

    ' Створення фільтрів для вибору місця збереження
    Dim filters As New Dictionary(Of String, String)
    filters.Add("ПЗН 194.08.02", "C:\Users\anton\Desktop\DXF\2") ' Фільтр та
    шлях
    filters.Add("ПЗН 194.08", "C:\Users\anton\Desktop\DXF\3") ' Фільтр та
    шлях

    filters.Add("ПЗН 194.01", "C:\Users\anton\Desktop\DXF\4")
    ' Додайте інші фільтри за необхідністю

    ' Фільтри для виключення
    Dim excludeFilters As New List(Of String) From {"DIN", "ANSI"}

    Dim doc As Document

    For Each doc In oAsmDoc.AllReferencedDocuments
        If doc.SubType = "{9C464203-9BAE-11D3-8BAD-0060B0CE6BB4}" Then
            Dim totalQuantity As Integer = GetTotalQuantity(oAsmDoc, doc)

            ' Перевіряємо наявність фільтрів виключення
```

```

        If Not ShouldExclude(doc.DisplayName, excludeFilters) And
totalQuantity > 0 Then
        ' Вибір папки для збереження
        Dim savePath As String = GetSavePath(doc.DisplayName,
filters, dxfFolderPath)
        If Not String.IsNullOrEmpty(savePath) Then
            Call Make_DXF(doc, savePath, oAsmDoc)
        End If
    End If
End If
Next

MsgBox("DXF Export Complete Экспорт DXF завершено ", , "All Done Все
зроблено ")
End Sub

Sub Make_DXF(doc As Document, File_Location As String, oAsmDoc As
AssemblyDocument)
    Dim oSheetMetalCompDef As SheetMetalComponentDefinition
    oSheetMetalCompDef = doc.ComponentDefinition
    Dim Part_Name As String = doc.DisplayName

    If Not oSheetMetalCompDef.HasFlatPattern() Then
        openDoc = ThisApplication.Documents.Open(doc.FullDocumentName, False)
        oSheetMetalCompDef.Unfold()
        oSheetMetalCompDef.FlatPattern.ExitEdit()
        openDoc.Close()
    End If

    ' Отримання Обозначення (Part Number)
    Dim New_Name As String = iProperties.Value(Part_Name, "Project", "Part
Number")

    ' Отримання товщини листового матеріалу
    Dim T_Part As String
    If Parameter(doc.DisplayName, "Толщина") > 0 Then
        T_Part = Parameter(doc.DisplayName, "Толщина").ToString()
    Else
        T_Part = Parameter(doc.DisplayName, "Thickness").ToString()
    End If

    ' Отримання загальної кількості деталей у збірці
    Dim totalQuantity As Integer = GetTotalQuantity(oAsmDoc, doc)

    ' Формування назви файлу DXF
    Dim nameandpath As String = File_Location & "\" & New_Name & " (" &
T_Part & "мм; " & totalQuantity & "шт.).dxf"
    Dim oDataIO As DataIO = doc.ComponentDefinition.DataIO

    oDataIO.WriteDataToFile("FLAT PATTERN
DXF?AcadVersion=2004&RebaseGeometry=True&OuterProfileLayer=0&OuterProfileLaye
rColor=0;0;0&InteriorProfilesLayer=0&InteriorProfilesLayerColor=0;0;0&Invisib
leLayers=IV_ARC_CENTERS;IV_TANGENT;IV_ROLL;IV_ROLL_TANGENT;IV_ALTREP_BACK;IV_
ALTREP_FRONT;IV_FEATURE_PROFILES_DOWN;IV_FEATURE_PROFILES;IV_TOOL_CENTER_DOWN
;DIGI_MARKER_TOOL_1;DIGI_MARKER_TOOL_2
;IV_BEND;IV_BEND_DOWN;IV_INNER_PROFILES;", nameandpath)
End Sub

Function GetTotalQuantity(oAsmDoc As AssemblyDocument, targetDoc As Document)
As Integer
    Dim totalQuantity As Integer = 0

```

```

    Dim oCompOcc As ComponentOccurrences =
oAsmDoc.ComponentDefinition.Occurrences

    For Each occ In oCompOcc
        Dim referencedDoc As Document =
occ.ReferencedDocumentDescriptor.ReferencedDocument

        If referencedDoc Is targetDoc Then
            totalQuantity += 1 ' Додаємо кількість повторів деталі
        ElseIf referencedDoc.DocumentType = kAssemblyDocumentObject Then
            ' Рекурсивно обробляємо підзбірки
            Dim subAsmDoc As AssemblyDocument = referencedDoc
            totalQuantity += GetTotalQuantity(subAsmDoc, targetDoc)
        End If
    Next

    Return totalQuantity
End Function

' Функція для вибору шляху збереження файлу на основі назви деталі
Function GetSavePath(partName As String, filters As Dictionary(Of String,
String), defaultPath As String) As String
    Dim matchedFilters As New List(Of String)

    ' Шукаємо всі фільтри, що містять частину назви
    For Each key As String In filters.Keys
        If partName.Contains(key) Then
            matchedFilters.Add(key)
        End If
    Next

    ' Якщо знайдено більше ніж один фільтр, вибираємо найбільш точний
    If matchedFilters.Count > 0 Then
        ' Сортуюмо фільтри за їх довжиною (чим довший код, тим точніший
фільтр)
        matchedFilters.Sort(Function(a, b) b.Length.CompareTo(a.Length))

        ' Повертаємо шлях для найбільш точного фільтра
        Return filters(matchedFilters(0))
    End If

    ' Якщо не знайдено відповідного фільтра, повертаємо базову папку
    Return defaultPath
End Function

' Функція для перевірки, чи потрібно виключити файл на основі фільтрів
виключення
Function ShouldExclude(partName As String, excludeFilters As List(Of String))
As Boolean
    For Each excludeFilter As String In excludeFilters
        If partName.Contains(excludeFilter) Then
            Return True ' Якщо ім'я деталі містить будь-який з виключених
фільтрів, повертаємо True
        End If
    Next
    Return False ' Якщо деталь не підпадає під фільтри виключення
End Function

```

Даний підхід дозволить суттєво підвищити продуктивність роботи. Для прикладу складальна одиниця рами, має близько 30 листових деталей. Використовуючи подібний є можливість створити всі DXF файли одразу. Плюсом буде те, що, оскільки ми вже знаходимось на рівні складальної одиниці, то маємо доступ до параметрів складальної одиниці. Тобто параметр кількості деталей може заповнюватись автоматичною. Використовуючи iLogic, можна налаштувати автоматичний експорт DXF файлів розгортки листових деталей. До того ж, код перевіряє тип файлу, це означає, що в збірці можуть бути присутні, як не листові деталі, такі як: стандартні елементи, звичайні деталі, інші складальної одиниці; так і листові деталі в декількох станах: параметрична деталь та різні виконання одної деталі. Програма перевіряє параметри цих файлів, та дає можливість створити DXF розгортки файл як звичайної, так і параметричної листової деталі. Якщо при роботі правила видає помилку класу для формату розгортки потрібно перезапустити правило, доки не буде отримано повідомлення про успішний експорт. На даний момент причину даної не регулярної помилки не встановлено.

Якщо подібний функціонал потрібно застосувати локально, при роботі з конкретною листовою деталлю, то можемо застосувати наступне правило:

```
ETFilePath = "C:\Users\Робочий стіл\БМЗ\ПЗН\ПЗН 194.00.00.000\ПЗН
194.01.00.000 - (Рама)\DXF ПЗН 194.01.00.000 - (Рама)" ' Змініть на
потрібний шлях
```

```
Dim partDoc As PartDocument
If ThisApplication.ActiveDocument.DocumentType <> kPartDocumentObject
Then
MessageBox.Show ("Please open a part document", "iLogic")
End If
```

```
Dim oDoc As PartDocument
oDoc = ThisApplication.ActiveDocument
Dim oCompDef As SheetMetalComponentDefinition
oCompDef = oDoc.ComponentDefinition
If oCompDef.HasFlatPattern = False Then
oCompDef.Unfold
```

```
Else
```

```

oCompDef.FlatPattern.Edit
End If

Dim sOut As String
Dim sPATH As String
sOut = "FLAT PATTERN
DXF?AcadVersion=2004&RebaseGeometry=True&OuterProfileLayer=0&OuterProfileLayerColor=0;0;0&InteriorProfilesLayer=0&InteriorProfilesLayerColor=0;0;0&InvisibleLayers=IV_ARC_CENTERS;IV_TANGENT;IV_ROLL;IV_ROLL_TANGENT;IV_ALTREP_BACK;IV_ALTREP_FRONT;IV_FEATURE_PROFILES_DOWN;IV_FEATURE_PROFILES;IV_TOOL_CENTER_DOWN;DIGI_MARKER_TOOL_1;DIGI_MARKER_TOOL_2;IV_BEND;IV_BEND_DOWN;IV_INNER_PROFILES;"

Dim sFname As String
sFname = SETFilePath & "\" & iProperties.Value("Project", "Part Number") & " (S" & Толщина & "; " & Кількість_деталей & "шт.)" & ".dxf"

oCompDef.DataIO.WriteDataToFile( sOut, sFname)
Dim oSMDef As SheetMetalComponentDefinition
oSMDef = oDoc.ComponentDefinition
oSMDef.FlatPattern.ExitEdit

    MessageBox.Show("DXF saved to: " & sFname, ": Success!")

```

Для даного правила кількість деталей прописується в параметрах в ручному режимі.

2.4 Результати

В результаті впровадження в процес розробки пристрою методів по параметризації та автоматизації роботи з конструкторською документацією та допоміжними файлами вдалося досягти суттєвого підвищення ефективності роботи. Результати застосування автоматичного експорту креслеників в PDF, та автоматичного експорту DXF файлів розгорток листових деталей, для всього пристрою наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати застосування процесів автоматизації

		Без процесів автоматизація	З використанням процесів автоматизації
Час на експорт всіх PDF креслеників пристрою,	хв	100	2
Час на експорт всіх DXF розгорток пристрою,	хв	120	3

Подібний функціонал не тільки заощадив десятки годин при роботі з об'ємною складальною одиницею, оскільки не потрібно відволікатися на рутинні процеси, а й зменшив навантаження та знизив шанс допущення помилки при формуванні файлів до нуля.

3 СЕРТИФІКАЦІЯ

3.1 Регламент

На етапі створення технічного задавання було важливо розуміти вимогам яких стандартів та регламентів має відповідати майбутній виріб. Тому, до початку проектування, було визначено за якими стандартами буде проводитись майбутня сертифікація, аби врахувати це в технічному завданні та технічних вимогах до виробу.

Для початку було перевірено, чи підпадає виріб під вимоги Технічного регламенту безпеки машин, документ 62-2013-п [6]. Ознайомившись з текстом регламенту було визначено, що відповідно до термінів регламенту, пристрій для збирання соняшнику – це частково завершена машина. Оскільки вона не може виконувати свої функції самостійно, без додаткового обладнання, в даному випадку комбайну, тобто призначена для вбудовування в іншу машину.

Відповідно то тексту регламенту [6]: частково завершена машина – сукупність, яка є майже машиною, але самостійно не може виконувати конкретну функцію. Частково завершена машина призначена тільки для вбудовування або складання з іншою машиною або з іншою частково завершеною машиною чи обладнанням, разом утворюючи машину.

Згідно 16 та 17 пунктів технічного регламенту [6] вказано, що виробник частково завершеної машини перед введенням її в обіг повинен забезпечити [6]:

- наявність відповідної технічної документації, додаток 7 частина Б [6];
- підготовку інструкції із складання, додаток 6 [6];
- складення декларації про вбудовування, додаток 2 частина Б [6].

Технічна документація для даного проекту, згідно вимог додатку 7, включає в себе:

- креслення загального виду, та робочі креслення;
- розрахунки;
- результати випробувань;
- сертифікати, які необхідні для підтвердження відповідності суттєвим вимогам;

Визначені суттєві вимоги яким має відповідати розроблена частково завершена машина:

1. Повинна бути забезпечена можливість застосувати підймальне обладнання, пункт 1.1.5 [6]. На машині встановлені 4 рим-болти з наліпками, що вказують на місця для стропування, які дають змогу закріпити машину, для використання підймального обладнання.
2. Жодні рухомі частини машини або деталі, утримувані машиною, не повинні випадати або викидатися, пункт 1.2.1 [6]. Конструкція машини унеможлиблює будь-які викиди рухомих частин тому, що кінематика машини знаходиться в ізольованих відділах [6].
3. Перерва, поновлення після перерви або будь-якого виду коливання енергоживлення машини не повинні призводити до небезпечних ситуацій, пункт 1.2.6 [6]. На вході до кінематичної системи знаходиться муфта тертя налаштоване на необхідний крутний момент, яка має спрацювати, та не допустити поломки при заклинюванні системи, або надмірного навантаження. Також передача потужності до різальної системи передається через пасову передачу, щоб в разі заклинювання вона спрацьовувала як додатковий запобіжник, та гасила нерівномірності роботи різальної системи.
4. Машини і їх компоненти та з'єднання повинні достатньою мірою бути стійкими для уникнення перекидання, падіння або некерованих рухів під час транспортування, складання, демонтажу та будь-яких інших дій, пов'язаних з машиною, пункт 1.3.1 [6]. В машині передбачені місця

для її закріплення при транспортуванні та зберіганні. Машина достатньо стійка в звичайному положенні, без додаткових засобів.

5. Усі складові частини машини та їх механічні з'єднання повинні бути здатні витримувати навантаження, яким вони піддаються під час застосування, пункт 1.3.2 [6]. Були проведені розрахунки всіх критичних елементів конструкції, а саме: рами, шнек, елементи кінематики. За результатами яких елементи витримують робоче навантаження. З метою перевірки розрахунків були проведені приймальні випробування, для перевірки роботи кінематики та температурних режимів роботи. Випробування машини при робочих навантаженнях були перевірені при наглядовій експлуатації, за результатами якої машина здатна витримувати робочі навантаження
6. В інструкції з експлуатації машини зазначаються необхідні для її безпечної експлуатації, види перевірок і обслуговування та періодичність їх проведення. У разі потреби слід зазначити швидкозношувані складові частини та компоненти машини і критерії їх заміни, пункт 1.3.2 [6]. Розроблений паспорт на машину та керівництво з експлуатації в складі комбайну. Ці документи поставляються разом з машиною, в них міститься вся необхідна інформація з обслуговування, заміни швидкозношуваних частин, режимів роботи, та вся необхідна інформація.
7. Необхідний захист від небезпек, спричинений рухомими частинами, пункт 1.3.8 [6]. Рухомі елементи, крім різальних елементів, прикрито захисними кожухами. Не прикриті небезпечні рухомі елементи пофарбовано в контрастний червоний колір.
8. Машини повинні бути розроблені та вироблені таким чином, щоб ризики внаслідок створюваних машинами вібрацій зменшувалися до найнижчого рівня з урахуванням рівня технічного прогресу, пункт 1.5.9 [6]. Зменшення рівня вібрацій досягається вдосконаленням

технології виготовлення (застосуванням стапелів, кондукторів), забезпеченням відповідної стабільної точності деталей та вузлів, регулюванням зазорів в різальній системі та балансуванням основних рухомих елементів: шнек, шків.

9. Вал відбору потужності від самохідної машини, повинен бути захищений огорожею по всій довжині, пункт 3.4.7 [6]. Карданний вал є покупним елементом та поставляється з захисною огорожею по всій довжині, та захисними кожухами в місцях з'єднання. Кардан дозволяється використовувати лише при наявності декларації від виробника.

10. На всіх машинах повинне бути розбірливе і незмивне маркування, пункт 3.6.2 [6]. Машина має маркувальну табличку з вибитими на ній необхідними даними: серійний номер, назва, маса, завод виробника.

Для отримання дозволу на експорт в країни Євросоюзу необхідно отримати протокол лабораторії яка акредитована в Євросоюзі. За відсутності протоколу лабораторії, кожна країна повинна проводити. Даний тип сільськогосподарських машин має відповідати вимогам наступних стандартів, наведених в табл. 3.1:

Таблиця 3.1 – Стандарти для оцінки відповідності

EN ISO 4254-2017	Сільськогосподарські машини. Вимоги щодо безпеки
EN ISO 13857-2021	Безпека машин – безпечні відстані для запобігання досягнення небезпечних зон верхніми та нижніми кінцівками
ISO 3600-2022	Трактори, машини для сільського господарства, механізована газонна та садова техніка. Посібник з експлуатації. Зміст і формат
ISO 11684-2023	Трактори, машини для сільського господарства, механізована газонна та садова техніка. Етикетки з безпеки. Загальні принципи

Приклад декларації відповідності виданий ПП “БІЛОЦЕРКІВМАЗ” представлений на рис. 3.1.

PRIVATE ENTERPRISE "BILOTSEKIVMAZ"
Mykhaila Grushevskogo blvd., 13, Bila Tserkva, Kyiv region, 09107, Ukraine
Tel.: +38 067 500 85 36 Email: info@bcmaz.com.ua

EU Declaration of Conformity

File №	Effective Date	Version	Page	Language version
No. CE-DoC/004/24	19-02-2024	A0	1/1	Eng

Manufacturer name and address:
PRIVATE ENTERPRISE "BILOTSEKIVMAZ"
Mykhaila Grushevskogo blvd., 13, Bila Tserkva, Kyiv region, 09107, Ukraine

Product:
Device for harvesting sunflowers

Trade mark:
PE "BILOTSEKIVMAZ"

Type/model:
PZN-7,4; PZN-9,4

Product Directives:
2006/42/EC Machinery Directive

Applied standards:
EN ISO 4254-1:2015, EN ISO 13857:2019, ISO 3600:2022, ISO 11684:2023

Test report:
№ 24-0014-01. Issued Date: 29.01.2024

Name and contact address of the authorized representative:
ZUB «LINAS»
LT-53330, Tiesioji 77, Tabariškių km., Ringaudų sen., Kauno raj., Lietuva
tel.: +370 61 300 510
email: zub.linaz@inbox.lt

This Declaration of Conformity is issued under the full applicant responsibility and declares that the above products satisfies all the technical, safety regulations and requirements applicable to the products within the scope of following European Directives of the European Parliament and of the Council: Machinery Directive 2006/42/EC.

During the product assessment, the representative equipment samples of the same product type were tested. The applicant ensures that all products that are manufactured in series meet the same standards as the test sample.

This document does not exempt the applicant from undergoing other assessments or checks on compliance of products to other European Directives. The validity of the Declaration of Conformity is unlimited.

The Declaration of Conformity will be reissued if the technical characteristics of the products, mentioned in this document are changed, as well as in case of changing the regulatory documents in the compliance with which the product was verified.

Signatory of the manufacturer:

Kozhuhar Valeriy, Director
Issued Date: 19.02.2024

PRIVATE ENTERPRISE "BILOTSEKIVMAZ" | Mykhaila Grushevskogo blvd., 13, Bila Tserkva, Kyiv region, 09107, Ukraine
tel/fax: +38 067 500 85 36 | info@bcmaz.com.ua | https://www.bcmaz.com.ua

Рисунок 3.1 – Копія сертифікату відповідності для попередньої конструкції

З метою перевірки виконання суттєвих, параметрів які були вказані в технічному завданні, були проведені приймальні випробування дослідного зразка під наглядом приймальної комісії, в яку входили такі співробітники:

- головний інженер підприємства;
- інженер конструктор машини;
- представник відділу технічного контролю;
- механік, який збирав машину.

3.2 Приймальні випробування дослідного зразка

3.2.1 Мета випробувань

Метою випробувань є перевірка відповідності складання пристрою для збирання соняшнику ПЗН-9,4М, ПЗН-7,4М кресленикам ПЗН 194.00.000 та ПЗН 174.00.000 відповідно.

Приймально-здавальним випробуванням піддається кожен пристрій ПЗН-9,4М; ПЗН-7,4М.

3.2.2 Призначення і сфера застосування програми та методики

Програма і методика призначена для регламентації робіт з проведення приймально-здавальних випробувань механізмів пристрою для збирання соняшнику ПЗН-9,4 М, ПЗН-7,4 М.

3.2.3 Об'єкт випробувань

Об'єктом випробувань є пристрій для збирання насіння соняшнику ПЗН у складі:

- механізму приводу, що складається з основного вала карданного, проміжного валу карданного, системи ланцюгових передач, пасової передачі та механізму приводу ножа;
- різального апарата.

3.2.4 Допустимі межі значень, характеристик і властивостей об'єкта

1. Характеристики та властивості об'єкта випробувань, його деталей, збірно-роздрібних одиниць, покупних і комплектувальних виробів повинні відповідати технічним вимогам креслень і техпроцесів.

2. Не допускається проводити випробування механізму приводу і різального апарату, що мають незатягнуті кріпильні деталі і деталі з'єднань.

3.2.5 Загальні вимоги до умов, забезпечення та проведення випробувань

Випробування повинні проводитися в цеху або лабораторії в місцях, ізольованих від стороннього шуму.

Для проведення випробувань необхідні:

- спеціальний випробувальний стенд для установки і обкатки;
- прилад для вимірювання температури металу;
- секундомір.

3.2.6 Методи перевірки працездатності механізму приводу.

2.1.1 Працездатність механізму приводу, що складається з основного вала карданного, проміжного вала карданного, системи ланцюгових передач, пасової передачі і механізму приводу ножа, перевіряють під час прокручування пристрою в зборі без навантаження за частоти обертання основного вала карданного $550 \pm 50 \text{ хв}^{-1}$ протягом 10 хв.

При цьому перевіряються :

- відсутність звуків у механізмі пристрою;
- нагрівання підшипникових вузлів.

2.1.2 Після прокручування перевіряється надійність затягування різьбових з'єднань.

3.2.7 Методи перевірки працездатності різального апарата.

1. Працездатність різального апарату перевіряється до підключення пристрою до стенда під час прокручування шківів механізму приводу ножа вручну, при цьому перевіряється відсутність заїдань, ударів і заклинювання ножа різального апарата.
2. Працездатність різального апарата перевіряється під час прокручування пристрою в зборі без навантаження за частоти обертання основного валу карданного 550 ± 50 хв-1 протягом 10 хв.
3. При цьому перевіряються нагрівання пальців, сегментів і пластин тертя різального апарата (наявність зазору 0,5...0,75 мм між пластинами тертя і смугою ножовою).
4. Після прокручування перевіряється надійність затягування різьбових з'єднань.

3.2.8 Усунення помічених дефектів і недоліків.

Усунути помічені дефекти і недоліки. Після їх усунення випробування повторити. Пред'явити випробуваний пристрій ВТК.

3.2.9 Вимоги безпеки

1. До проведення випробувань допускаються особи, які мають посвідчення на право проведення випробувань, вивчили принципи роботи пристрою та мають практичні навички з регулювання, пройшли інструктаж з техніки безпеки та ознайомилися з цією «Програмою і методикою».

2. Організація виконання і відповідальність за дотримання правил техніки безпеки покладається на майстра, призначеного відповідальним за проведення випробувань наказом по цеху.
3. Категорично забороняється проводити монтажні та регулювальні роботи на працюючій жатці.
4. Перед кожним запуском пристрою випробувач повинен переконатися у відсутності людей поблизу агрегату і відсутності сторонніх предметів на пристрої. Перед запуском пристрою необхідно подати тривалий звуковий сигнал.
5. Ділянка проведення випробувань має бути огорожена.

3.2.10 Вимірювані показники (характеристики) і точність вимірювань

1. Нагрівання підшипникових вузлів, що перевищує температуру довкілля більше, ніж на 50 °С – не допускається.
2. Нагрівання механізму приводу ножа, з урахуванням температури навколишнього середовища більше, ніж на 80 °С – не допускається.
3. Нагрівання деталей і вузлів різального апарату, що перевищує температуру навколишнього середовища більше, ніж на 50 °С – не допускається.

3.2.11 Звітність

1. Результати контрольного складання, вимірювань і контролю показників, а також висновки заносяться в протокол приймально-здавальних випробувань пристрою.
2. Результати приймально-здавальних випробувань оформляються актом. Відмітка про приймання вноситься в паспорт на пристрій.

3. Оформлення, зберігання і розсилка звітних документів з випробувань здійснюється на підприємстві в установленому порядку.

3.3 Піднаглядова експлуатація

За результатами проведення приймальних випробувань дослідного зразка було прийняте рішення про виготовлення установчої партії машин, а саме 10 машин типу ПЗН-9,4М та 15 машин типу ПЗН-7,4М, з метою проведення піднаглядових випробувань в різних робочих умовах та отримати зворотній зв'язок від клієнтів. За отриманими результатами піднаглядової необхідно визначити проблемні місця, якщо такі є, та вдосконалити машину для серійного виготовлення. Для прикладу наведено обробку зворотного зв'язку по одній машині. Особисту інформацію про клієнта, за вимогами виробництва приховано.

На момент 30.01.24 було виготовлено 4 машини. Одна з перших машин була продана в Миколаївську область. В процесі експлуатації власник зіштовхнувся з певними проблемами в перший тиждень роботи:

Обрив головки різальної коси, показано на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Фото обірваної головки різальної коси, зроблене клієнтом

1. Затирання різальних пальців, показано на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Фото слідів затирання різальних пальців, зроблене клієнтом

2. Тріщина на зірочці, показано на рис. 3.4.

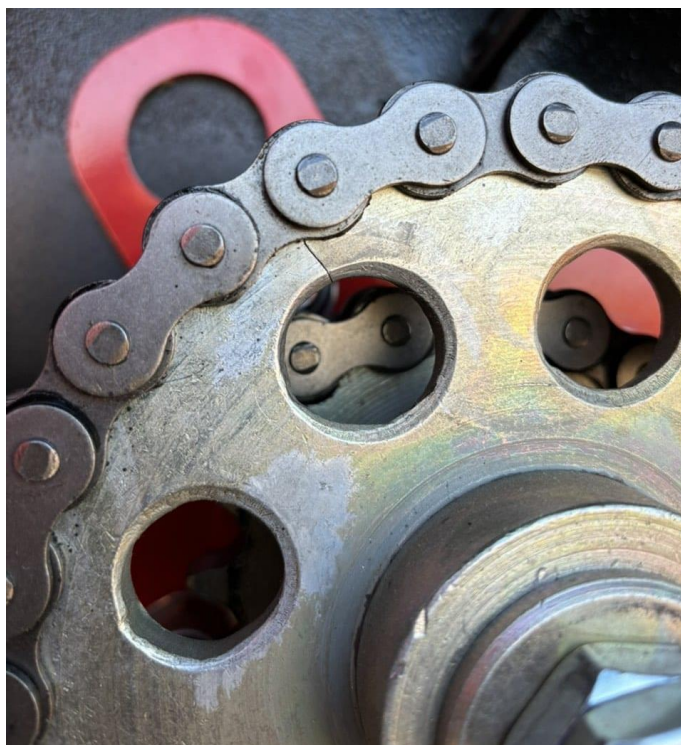


Рисунок 3.4 – Фото тріщини зірочки, зроблене клієнтом

3. Значні втрати при зборі врожаю, показано на рис. 3.5



Рисунок 3.5 – Фото ділянки поля після проходу машини, зроблене клієнтом

За результатами отриманої рекламації, було зібрано приймальну комісію, в тому ж складі. Комісія провела переговори з клієнтом, для з'ясування подробиць, ситуації. Було прийняте рішення відправити експертну групу, для з'ясування подробиць та причин поломки, в складі:

- конструктора машини;
- 2 механіки.

Експертна група з'ясувала з власником та робітниками деталі поломок, та на місці провила випробування роботоспроможності машини, фото випробувань показано на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Фото випробувань, зроблене експертною групою

Підписавши акт з клієнтом, експертна група передала всі зібрані матеріали комісії по рекламачії, в результаті чого були зроблені наступні висновки по кожній проблемі:

1. Розрив головки коси. В процесі роботи заклинило механізм різальної коси (причину заклинювання не встановлено), в результаті чого відбувся розрив зварної конструкції головки коси. Однією з можливих причин є технологія зварювання. На перших машинах зварювання головки проводили електродами безпосередньо по місцю (на машині), в результаті чого зварний шов міг бути не якісним. На даний момент зварювання головки коси відбувається окремо на пристрої, методом напівавтоматичного зварювання, що покращує якість зварного з'єднання.
2. Затирання різальних пальців. Оскільки дану проблему було виявлено після заклинювання різальної коси та руйнування головки, далі процес переміщення різальної коси був не контрольований, що призвело до її зміщення та затирання. Оскільки номінальний зазор між пальцями та сегментами 0,5...1,5 мм достатньо невеликого зміщення для затирання пальців.

На етапі випробування пристрою проблем з затиранням пальців не було виявлено. Тобто дана проблема є прямим наслідком пункту 1 (розрив головки коси).

3. Тріщина на зірочці. Після руйнування головки коси, пункт 1, було виявлено тріщину на зірочці проміжної опори. Серед причин: неякісний матеріал диску зірочки (приклад неякісного матеріалу показано рис. 3.7), в результаті обриву головки коси, та виникнення надмірних вібрацій в парі з локальним дефектом матеріалу призвели до утворення тріщини. Також однією з можливих причин є геометрія зірочки, а саме занадто близьке розміщення полегшувальних отворів до вінця зірочки. Але оскільки дана зірочка не є найбільш навантаженою в системі, перше припущення більш вірогідне. Однак для запобігання подібних проблем, полегшувальні отвори було прийнято рішення прибрати, зірочка матиме цільний диск.



Рисунок 3.7 – Фото бракованого листового матеріалу

4. Значні втрати при зборі врожаю. Було встановлено що клієнт використовував машину при непідходящих умовах. Основна проблема, що мінімальний рівень врожайності для якісної роботи повинен бути не менше 17 ц/га, клієнт мав врожайність 8 ц/га. При низькій врожайності розміри головки соняшнику проходили повз зазор між ліфтерами, тим самим створюючи втрати. Рішенням даної проблеми є встановлення ліфтерів з можливістю регулювання зазору, для роботи при низькій врожайності.

3.4 Результати

В результаті в процесі проведення піднаглядової експлуатації, будуть виявлені основні недоліки машини, які будуть усунені в процесі запуску серійного виробництва. Недоліки описані в роботі були виправлені відразу на всіх доступних пристроях. Подібна практика буде застосовуватись і надалі, якщо не критичну проблему можна усунути без значної зміни конструкції. Після формування остаточної конструкції пристрою після піднаглядових випробувань, буде подаватись заявка до лабораторії, яка акредитована в країнах Євросоюзу, для того аби розшири ринки, де може експлуатуватися даний пристрій. Процедуру та яким вимогам має відповідати пристрій детально описано в розділі 3.1.

ВИСНОВКИ

В результаті роботи над проектом пристрою для збирання соняшнику було досягнуто наступних результатів:

- підвищено жорсткість несучої рами за рахунок зміни конструкції та геометрії несучих елементів рами, в результаті чого:
 - зменшилися прогин рами в 1,8 рази , а прогин пристрою в 2,1 рази;
 - зменшилася маса пристрою на 350 кг, при загальній масі 2250 кг;
- покращено взаємозамінність вузлів та деталей пристрою для різних конструктивних виконань пристрою за рахунок зменшення номенклатури деталей пристрою на 10%;
- підвищено рівень автоматизації проектування, формування комплекту конструкторської документації та допоміжних файлів для виробництва за рахунок:
 - налаштування параметричних залежностей складальної одиниці;
 - використання інструменту iLogic для автоматичного експорту конструкторської документації та розгорток листових деталей
- розроблено повний пакет конструкторської документації на пристрій у двох конструктивних виконаннях;
- виготовлено та протестовано дослідний зразок пристрою, який відповідає технічному завданню замовника;
- запущено виготовлення дослідно партії з 25 пристроїв: 10 пристроїв виконання ПЗН-9,4М та 15 пристроїв – ПЗН-7,4М;
- розроблено додаткові пристосування, які вирішують логістичні та технологічні завдання підприємства при виробництві та транспортуванні пристрою;
- описано процедуру проходження сертифікації відповідності нового пристрою вимогам Європейського союзу, що збільшує ринки збуту продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ЖАТКА ДЛЯ ЗБИРАННЯ СОНЯШНИКУ : пат. 108094 Україна : A01D45/00. № u201604807 ; заявл. 29.04.2016 ; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 108094. 7 с. URL: <https://iprop-ua.com/inv/ib1iex6f/> (дата звернення: 22.11.2024).
2. Щербань, А. Е. Механізм приводу ножа вертикальний : дипломний проєкт ... бакалавра : 131 Прикладна механіка / Щербань Антон Едуардович. - Київ, 2023. - 139 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/59661> (дата звернення: 22.11.2024).
3. Стадник В.А. Розрахунок та конструювання валів. Вибір підшипників кочення за динамічною вантажопідйомністю: Навчальний посібник. Електронне навчальне видання – К.: НТУУ <<КПІ>> 2014, 128 с.
4. Вибір електродвигуна, кінематичний та силовий розрахунок механічного приводу, розрахунок і конструювання передач гнучкою в'яззю: Метод. вказівки до викон. домашніх контрольних робіт з дисц. <<Деталі машин>> для студ. машинобудівних і механічних спеціальностей усіх форм навчання : Електронне навчальне видання / Уклад.: В. А. Стадник – К.:НТУУ <<КПІ>> 2012. 57с.
5. Каталог шарикопідшипниковий вузолів із квадратним фланцем і гвинтовим фіксатором SKF. URL: <https://www.skf.com/group/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF%20207> (дата звернення: 12.12.2024).
6. Про затвердження Технічного регламенту безпеки машин : Постанова Каб. Міністрів України від 30.01.2013 № 62 : станом на 15 берез. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-п#Text> (дата звернення: 12.12.2024).

7. Select Sheets to export PDF. *Autodesk Community*.
URL: <https://forums.autodesk.com/t5/inventor-forum/select-sheets-to-export-pdf/td-p/9137629> (дата звернення: 12.12.2024).

8. Save all sheetmetal parts from assembly to DXF. *Autodesk Community*.
URL: <https://forums.autodesk.com/t5/inventor-programming-ilogic/save-all-sheetmetal-parts-from-assembly-to-dxf/td-p/9875333>
(дата звернення: 12.12.2024).

9. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 [Текст] : навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 164 с. ISBN 978-966-286-096-2

10. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 2 [Текст] : навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 188 с. ISBN 978-966-286-097-9

ДОДАТКИ

Додаток А

Специфікація рами ПЗН-9,4М

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
			ПЗН 194.01.00.000	Сборочный чертеж	1	
				Сборочные единицы		
		1	ПЗН 194.01.01.000	Боковина ліва	1	
		2	ПЗН 194.01.02.000	Боковина права	1	
		3	ПЗН 194.01.03.000	Ланжерон центральний	1	
		4	ПЗН 194.01.03.000-01	Ланжерон центральний	1	
		5	ПЗН 194.01.04.000	Ланжерон крайній	1	
		6	ПЗН 194.01.04.000-01	Ланжерон крайній	1	
		7	ПЗН 194.01.05.000	Брус пальцевий	1	
		8	ПЗН 194.01.06.000	Жорсткість центральна	1	
		9	ПЗН 194.01.07.000	Поперечина центральна	1	
		10	ПЗН 194.01.08.000	Жорсткість нижня	16	
		11	ПЗН 194.01.09.000	Жорсткість права	1	
		12	ПЗН 194.01.11.000	Жорсткість ліва	1	
				Детали		
		16	ПЗН 194.01.00.401	Зашивка задня	1	
		17	ПЗН 194.01.00.401-01	Зашивка задня	1	
		18	ПЗН 194.01.00.401-02	Зашивка задня	1	
			</			

Копиробал

Формат А4

[illegible]

[illegible]

Додаток Б

Специфікація ПЗН-9,4М

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Подп. и дата	Инв. № дубля	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ПЗН 194.00.00.000

Auct

4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		110		М6×16 ГОСТ 7802-81	3	
		111		М8×20 ГОСТ 7802-81	24	
		112		М10×25 ГОСТ 7802-81	8	
		113		М12×30 ГОСТ 7802-81	20	
		114		М12×40 ГОСТ 7802-81	16	
		115		М16×50 ГОСТ 7802-81	4	
		122		Гвинты:		
		123		А2.М4-6gx14 ГОСТ 17473-80	10	
		126		2.М6-6gx20 ГОСТ 17475-80	12	
		127		2.М8-6gx25 ГОСТ 17475-80	16	
					</	

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		175		DIN 985 – M12	16	
		176		DIN 985 – M16	16	
		175		DIN 917 – M12	7	
		183		Шпонки ГОСТ 23360–78 вук. 2		
		184		10x8x33	1	
		185		10x8x39	1	
		186		10x8x44	1	
		187		10x8x60	2	
		188		10x8x70	2	
		185		10x8x74	1	
		190		14x9x136	1	
		195		Заклепка DIN 7337 – A4 x 16	12	
		195		Стопорне кільце	1	
				DIN 4 72 – 80 x 2,5		
Подп. и дата	Инд. № дубл.	Взам. инд. №	Подп. и дата	Инд. № подл.	ПЗН 194.00.00.000	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
					Лист	
					7	

[illegible]

[illegible]

Додаток В**Технічне завдання від підприємства**

Затверджую:

Директор

Монсукор В.М."11" березня 2024 р.

М. П.

**Технічне завдання**

на науково-дослідну роботу

«Розробка конструкції пристрою для збирання соняшнику»

Замовник:

ПП „БІЛОЦЕРКІВМАЗ“

Виконавець:

Завідувач кафедри КМ

Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

Доцент кафедри КМ

Вячеслав ВОВК

Студент групи МК-31мп

Антон ЩЕРБАНЬ

Київ 2024

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Повна назва розробки та її умовне позначення

Розробка пристрою для збирання насіння соняшнику.

1.2 Назви підприємств розробника та замовника системи та їх реквізити

Замовник:

Виконавець:

Кафедра конструювання машин НН
ММІ КПІ ім. Ігоря Сікорського

1.3 Порядок оформлення та пред'явлення замовникові результатів робіт

По закінченню роботи подається:

- 3D моделі деталей та збірок машини;
- конструкторська документація на машину.

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ

2.1 Мета створення розробки

Створення більш технологічної та конкурентоспроможної конструкції машини та забезпечення підготовки виробництва для її випуску.

2.2 Вихідні дані

Характеристика механізму:

Потужність вхідного приводу 7 кВт; кількість подвійних ходів різального елемента – 398 ходів/хв; передача вхідної потужності – карданна передача; місце встановлення – комбайн; наявність системи відкидання стебла.

Геометричні та масові параметри:

Довжина робочої частини	=	8152	мм
Довжина центральної секції	=	2220	мм
Габаритна довжина рами	≈	9400	мм
Габаритна висота рами	≈	1100	мм
Габаритна ширина рами	≤	1300	мм
Загальна маса машини	≤	2400	кг
Маса шнека	=	360	кг
Маса бітера	=	400	кг
Маса захисного кожуха	=	250	кг

3 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.1 Проектування відбувається в будь-якій CAD системі зручній для виконавця проекту.

- 3.2 При розробці технологічного процесу використовувати лише оснащення доступне на підприємстві.
- 3.3 Конструкторська документація має відповідати вимогам підприємства.

4 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Етап та його зміст	Термін виконання	Результат
Ознайомлення з технічним завданням та матеріальною базою підприємства	14.03.2024	Вхідні данні, список обладнання
Аналіз існуючих конструкцій машини	28.03.2024	Приклади виконання
Розрахунок елементів конструкції	24.05.2024	Розраховані елементи машини
Аналіз технології виготовлення деталей та збірок	21.05.2024	Вибір технологій виготовлення
Розробка 3D моделі машини	15.08.2024	3D моделі деталей та збірок машини
Розробка конструкторської документації	23.09.2024	Пакет конструкторської документації на машину
Контроль процесу виготовлення дослідного зразка на виробничих потужностях замовника	26.10.2024	Дослідний зразок

5 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

- 5.1 Створення повного комплексу конструкторської документації машини.
- 5.2 Здача дослідного зразка, який відповідає вимогам технічного завдання, експертній комісії виробництва.

6 МАТЕРІАЛИ, ЩО НАДАЮТЬСЯ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ

- 6.1 Пакет конструкторської документації на машину.
- 6.2 3D моделі деталей та збірок машини.
- 6.3 Розрахунки елементів конструкції.

7 ПОРЯДОК РОЗГЛЯДУ ТА ПРИЙМАННЯ РОБОТИ

- 7.1 Результати роботи передаються по акту приймання робіт.

Додаток Г

Акт приймання робіт

Затверджую:

Директор

Кочухар В.М«28» *лютого* 2024р.

Акт

приймання робіт

науково-дослідної роботи

«Розробка конструкції пристрою для збирання соняшнику»

В результаті виконання робіт з проектування конструкції пристрою для збирання насіння соняшнику, виконавець надав:

- пакет конструкторської документації на виготовлення машини;
- 3D моделі деталей та збірок машини;
- розрахунки елементів конструкції;

Результати роботи були реалізовані в процесі виготовлення дослідного зразка, та будуть застосовані для серійного виробництва.

Від Замовника

ПП "БІЛОЦЕРКІВМАЗ"

Від Виконавця

Завідувач кафедри КМ

Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

Доцент кафедри КМ

Вячеслав БОБК

Студент групи МК-31мп

Антон ЩЕРБАНЬ

Додаток Д

Графічна частина

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗБИРАННЯ СОНЯШНИКУ

Розроблення технічної документації для серійного виготовлення пристрою для збирання соняшнику

ІІІ “БІЛОЦЕРКІВМАЗ”

Щербань Антон Едуардович

доц. Вовк Вячеслав Володимирович

Потужність вхідного приводу – 7 кВт; загальна маса пристосування до – 3500/3200 кг; привід – карданна передача від комбайну; місце приєднання – комбайн



Фото рами старого пристрою



Фото різальної системи



Фото зовнішнього блоку
кінематики в старій
конструкції пристрою

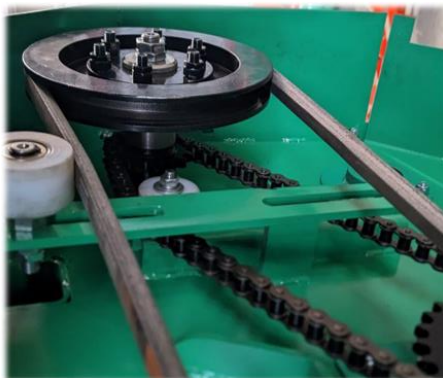
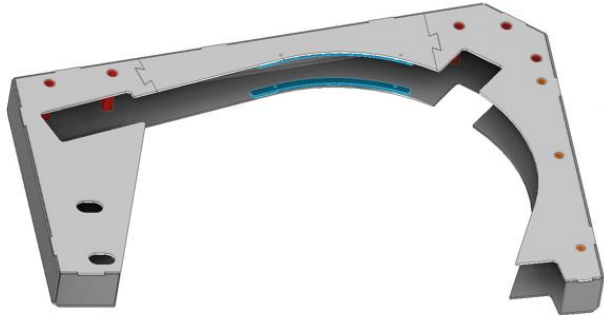
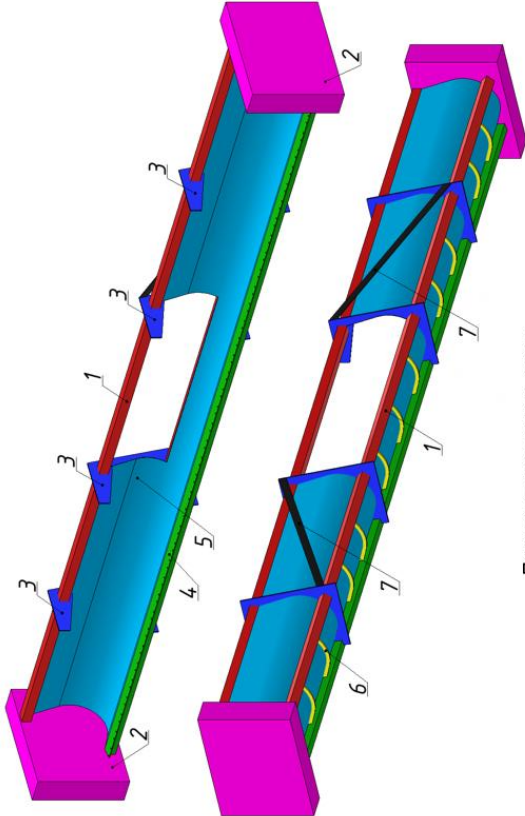


Фото проміжного валу старої
конструкції пристрою

Аналіз та проектування елементів рами



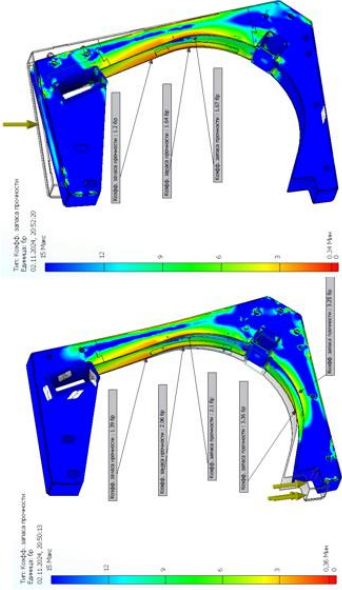
3D модель нової конструкції лонжерону, позиція 3 на принциповій схемі



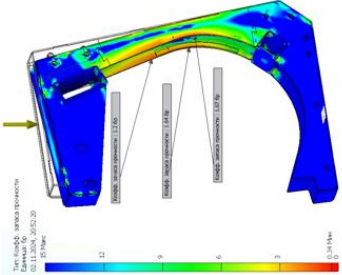
Принципова схема рами



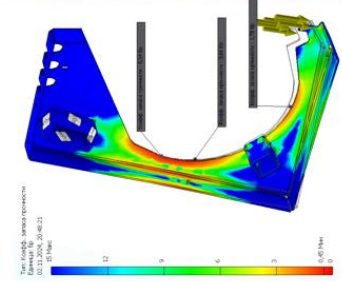
3D модель старої конструкції лонжерону, позиція 3 на принциповій схемі



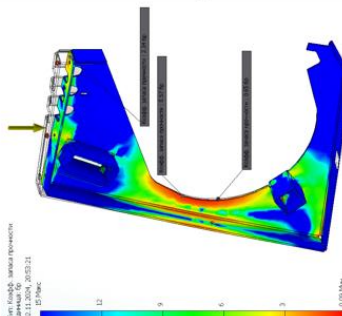
Результати аналізу нової конструкції лонжерону, при робочому навантаженні (а)



Результати аналізу нової конструкції лонжерону, при транспортувальному навантаженні (б)



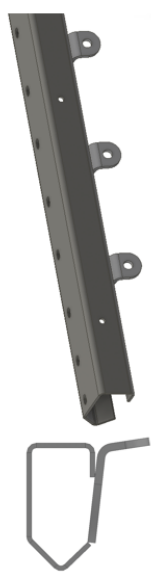
Результати аналізу старої конструкції лонжерону, при робочому навантаженні (а)



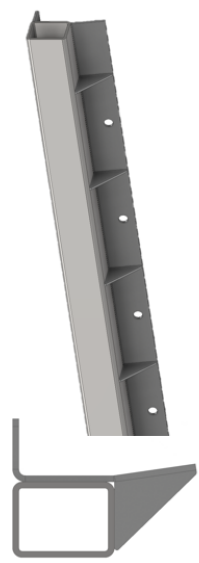
Результати аналізу старої конструкції лонжерону, при транспортувальному навантаженні (б)

Тип навантаження		Стара конструкція		Нова конструкція	
		а	б	а	б
Маса	кг	19,4		13,9	
Максимальне переміщення	мм	13,3	14,3	11,5	5,9
Максимальне напруження	МПа	417,0	362,0	149,0	172,0
Кількість деталей	шт	3,0		17,0	

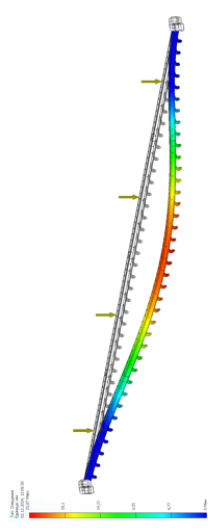
Аналіз та проектування елементів рами



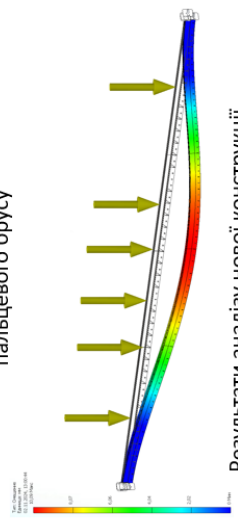
3D модель старої конструкції пальцевого бруса, позиція 4 на принциповій схемі



3D модель нової конструкції пальцевого бруса, позиція 4 на принциповій схемі



Результати аналізу старої конструкції пальцевого бруса



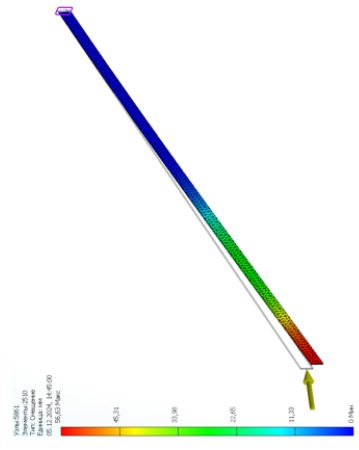
Результати аналізу нової конструкції пальцевого бруса

Таблиця 1.4 – Порівняння основних характеристик старої та нової конструкції пальцевого бруса

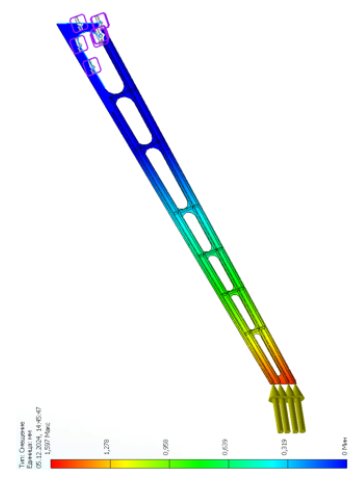
	Стара конструкція	Нова конструкція
Маса	кг	155,7
Максимальне переміщення	мм	10,9
Максимальне напруження	МПа	105,6
Кількість деталей	шт.	40,0

Таблиця 1.6 – Порівняння основних характеристик старої та нової конструкції задніх жорсткостей

	Стара конструкція	Нова конструкція
Маса	кг	8,7
Максимальне переміщення	мм	1,6
Максимальне напруження	МПа	62,3
Кількість деталей	шт.	11

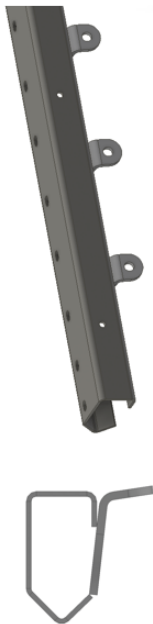


Результати аналізу старої конструкції задньої жорсткості

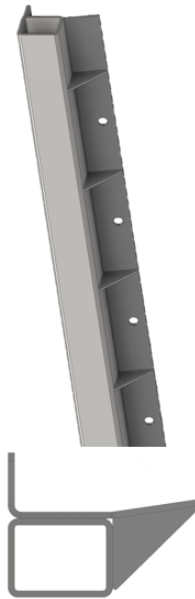


Результати аналізу нової конструкції задньої жорсткості

Аналіз та проектування елементів рами



3D модель старої конструкції пальцевого бруса, позиція 4 на принциповій схемі



3D модель нової конструкції пальцевого бруса, позиція 4 на принциповій схемі

Таблиця 1.3.4 – Порівняння основних характеристик старої та нової конструкції пальцевого бруса

	Стара конструкція	Нова конструкція
Маса	кг	155,7
Максимальне переміщення	мм	10,9
Максимальне напруження	МПа	105,6
Кількість деталей	шт.	40,0

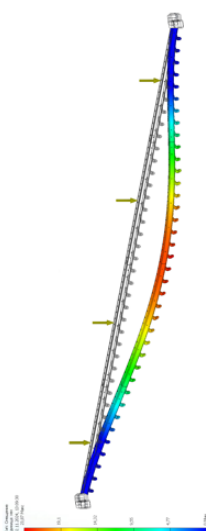
Таблиця 1.3.6 – Порівняння основних характеристик старої та нової конструкції задньої жорсткості

	Стара конструкція	Нова конструкція
Маса	кг	8,7
Максимальне переміщення	мм	1,6
Максимальне напруження	МПа	62,3
Кількість деталей	шт.	11

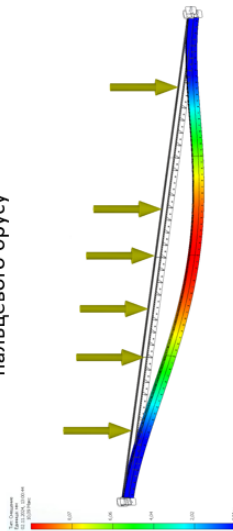
3D модель старої конструкції задньої жорсткості, позиція 7 на принциповій схемі



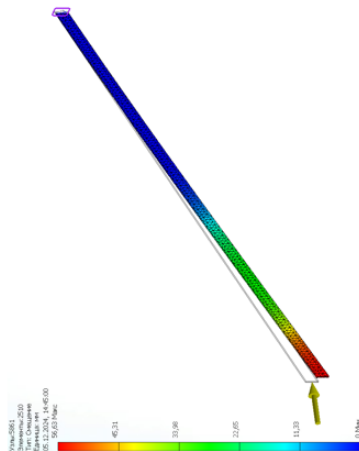
3D модель нової конструкції задньої жорсткості, позиція 7 на принциповій схемі



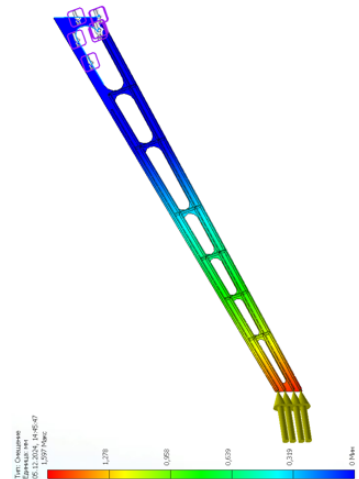
Результати аналізу старої конструкції пальцевого бруса



Результати аналізу нової конструкції пальцевого бруса

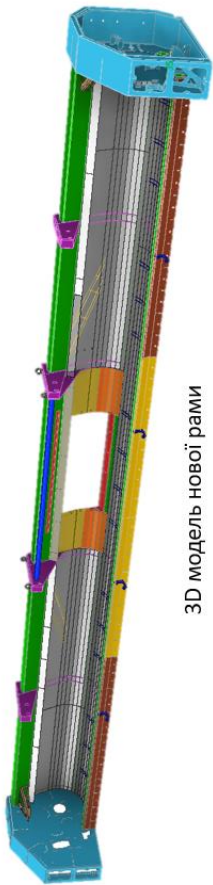


Результати аналізу старої конструкції задньої жорсткості

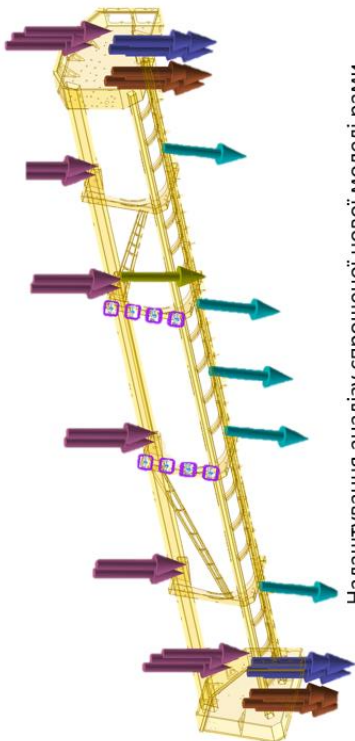


Результати аналізу нової конструкції задньої жорсткості

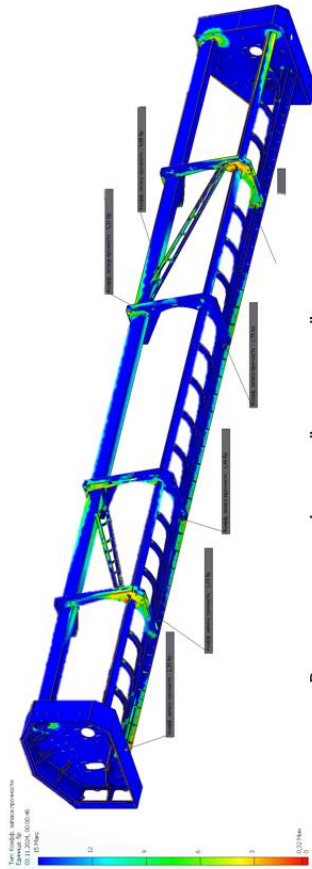
Аналіз рами



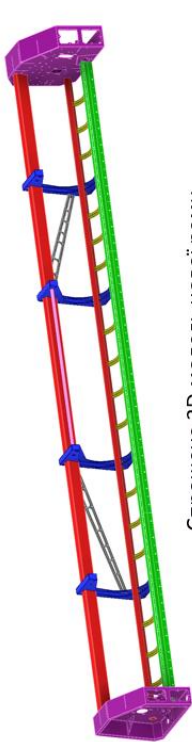
3D модель нової рами



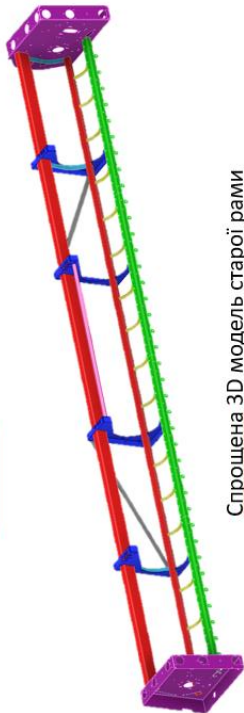
Налаштування аналізу спрощеної нової моделі рами, після заміни листових деталей на еквівалентні поверхні



Результати аналізу нової спрощеної рами



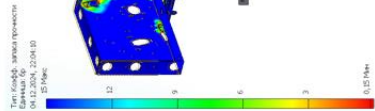
Спрощена 3D модель нової рами



Спрощена 3D модель старої рами

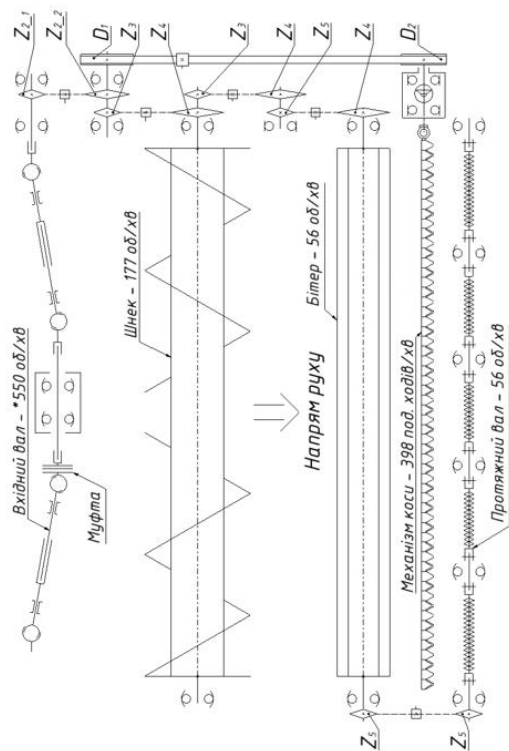
Таблиця 1.7 – Порівняння основних характеристик старої та нової конструкції рами пристрою

	Стара конструкція	Нова конструкція
Маса	кг	952,1
Максимальне переміщення	мм	19,4
Максимальне напруження	МПа	627,7
Кількість деталей	шт.	248,0
Номенклатура деталей	шт.	74,0

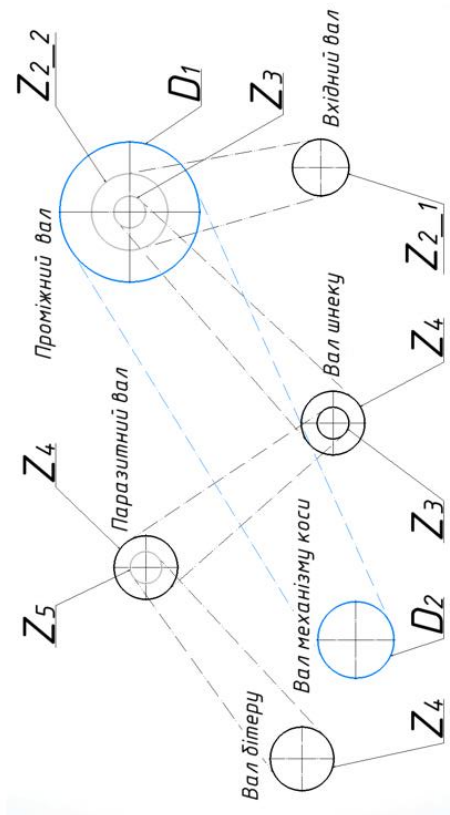


Результати аналізу старої спрощеної рами

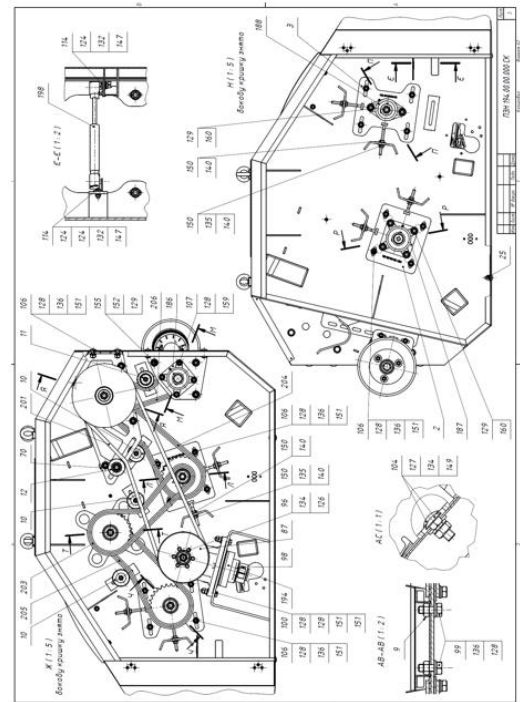
Проектування кінематики



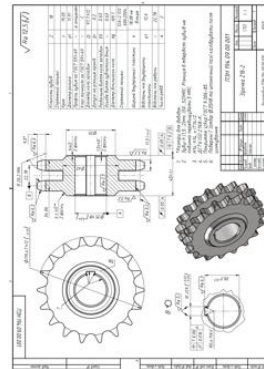
Загальна кінематична схема пристрою



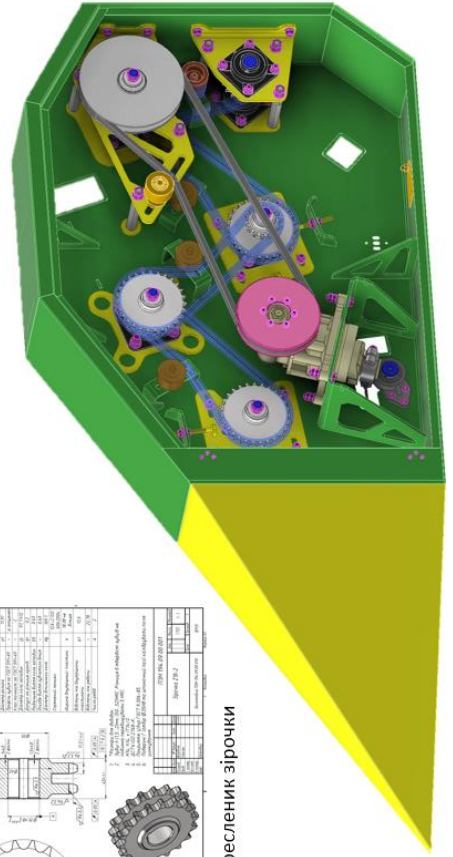
Кінематична схема основного контуру



Фрагмент складального креслення з зображенням кінематики



Кресленик зірочки



3D модель основного кінематичного контуру

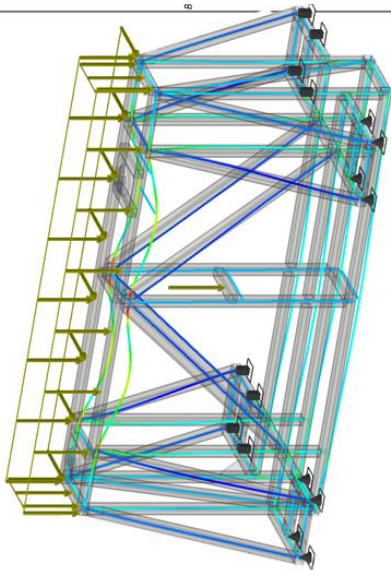
Додаткові пристосування



3D модель візка для переміщення та складання



Приклад реального застосування візка



Результати аналізу візка



Приклад реального застосування додаткової опори

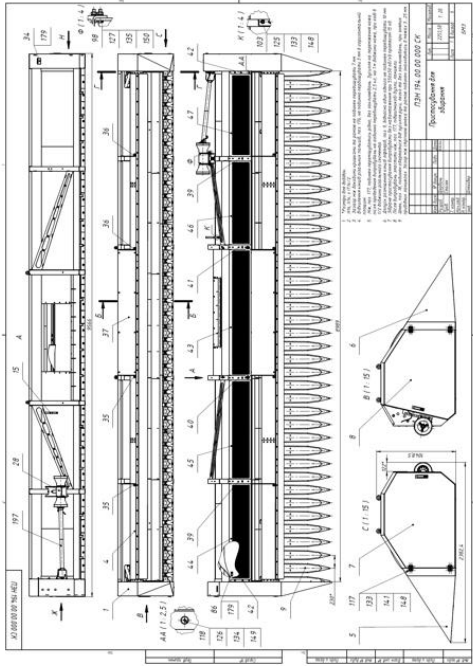


3D модель додаткової опори для встановлення пристроїв один на одного

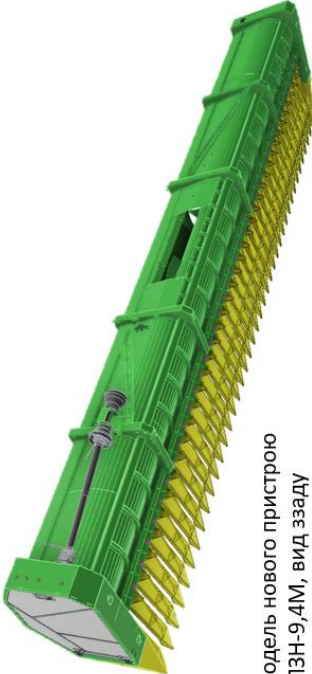


Приклад реального застосування додаткової опори

Результати проектування



Перший лист складального кресленика пристрою ПЗН-9,4М



3D модель нового пристрою ПЗН-9,4М, вид ззаду

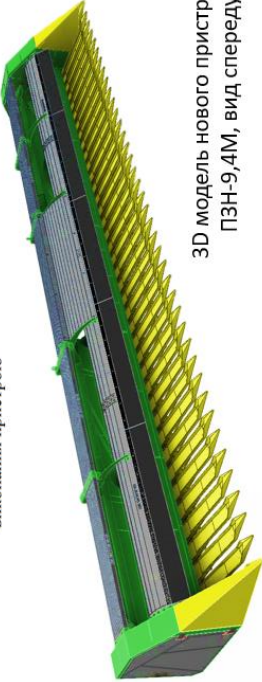


Фото нової конструкції пристрою ПЗН-9,4М

Таблиця 1.12 – Порівняння основних характеристик загальної старої та нової конструкції пристрою

Конфігурація	Стара конструкція			Нова конструкція	
	ПЗН-9,4	ПЗН-7,4	ПЗН-9,4М	ПЗН-7,4М	ПЗН-9,4М
Маса	кг	2600,6	2310,4	2253,6	1951,2
Розрахункове максимальне переміщення в моделі рами	мм	36,2	27,8	19,4	15,3
Реальне максимальне переміщення готового пристрою	мм	32,5	22,3	15,5	9,7
Максимальне розрахункове напруження в моделі рами	МПа	965,5	714,2	627,7	457,6
Кількість деталей	шт.	4351,0	3815,0	4162,0	3840,0
Номенклатура деталей	шт.	187,0	17*	168,0	17*

де * – номенклатура деталей яка унікальна для даного виконання пристрою

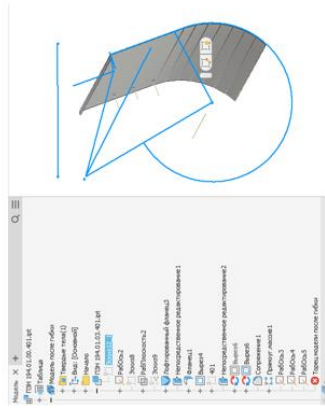


3D модель нового пристрою ПЗН-9,4М, вид спереду

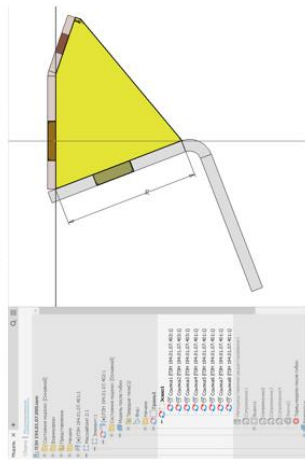


Фото нової конструкції пристрою ПЗН-7,4М

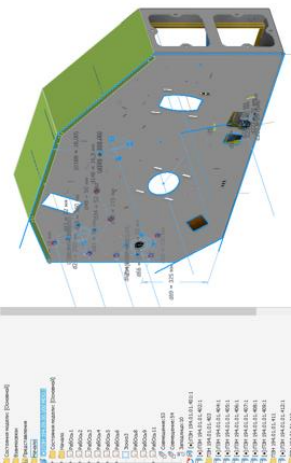
Автоматизация виробництва



Приклад використання методу параметризації через наслідування геометрії



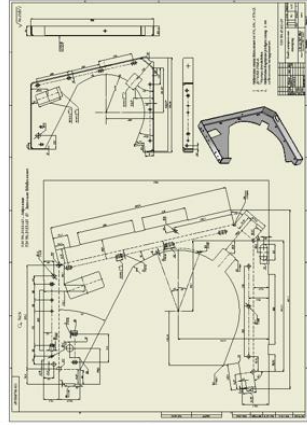
Приклад використання методу параметризації через адаптивні компоненти



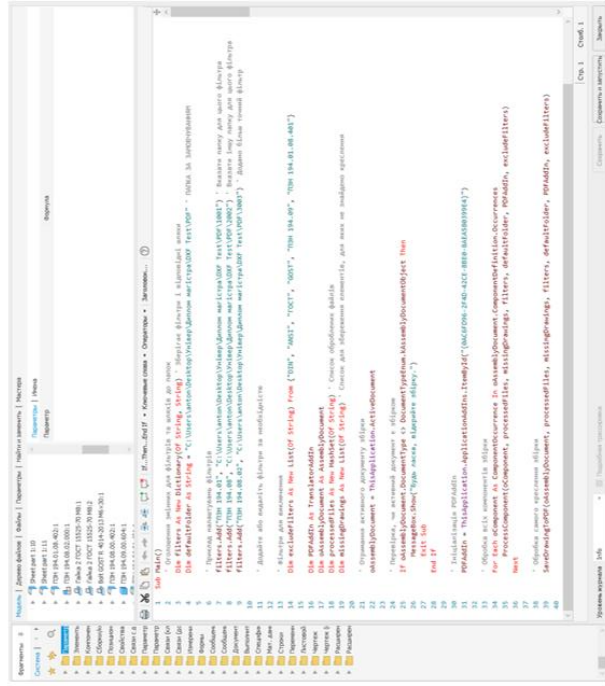
Приклад використання методу параметризації через керуючий ескіз (MDG)



Правила iLogic для складальних одиниць



Правила iLogic для деталей



Фрагмент коду автоматичної публікації PDF файлів креслеників на рівні складальної одиниці



Діалогове вікно ініціатору подій

