

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут імені акад. І. С. Гулого  
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Сергій БЛАЖЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Олександр ГАВВА

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»

на тему: Обґрунтування параметрів процесу формування виробів у роторній машині пресування таблеток продуктивністю 200000 шт/год

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОФ-2-6М

Дудко Дмитро Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Чеплюк Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент Роман Яковчук

(ім'я та прізвище)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач (підпис)

(підпис)


Київ – 2024 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут імені акад. І. С. Гулога  
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв  
Освітній ступінь «Магістр»  
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
**Освітньо-професійна програма: Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МАХФВ

  
Олександр ГАВВА

“ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Дудка Дмитра Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування параметрів процесу формування виробів у роторній машині пресування таблеток продуктивністю 200000 шт/год

керівник роботи Чепелюк О. М., доцент, кандидат технічних наук,

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 01.10.2024 р. № 859-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 09.12.2024

3. Вихідні дані до роботи Продуктивність 200000 шт/год; частота обертання барабана 78 об/хв.; густина продукту 1170 кг/м<sup>3</sup>

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Анотація (українською та англійською мовами); Аналіз процесу пресування на роторних таблеткових пресах; об'єкти і методи досліджень; результати досліджень; розрахунок обладнання для пресування таблеток; застосування результатів дослідження; монтаж, ремонт, експлуатація; охорона праці; висновки; список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу:

Креслення: Загальний вид роторного таблеткового пресу; роторний таблетковий прес (вид у розрізі); механізм живлення; ротор.

## 6. Консультанти розділів роботи

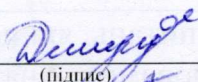
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 02.10.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація, зміст	06.10.2024	виконано
2	Вступ.	13.10.2024	виконано
3	Аналіз процесу пресування на роторних таблеткових пресах	20.10.2024	виконано
4	Об'єкти і методи досліджень	27.10.2024	виконано
5	Результати досліджень	03.11.2024	виконано
6	Розрахунок обладнання для пресування таблеток	10.11.2024	виконано
7	Застосування результатів дослідження	17.11.2024	виконано
8	Монтаж, ремонт і експлуатація	24.11.2024	виконано
9	Охорона праці	01.12.2024	виконано
10	Висновки, список використаної літератури	08.12.2024	виконано
11	Графічна частина	08.12.2024	виконано
12	Подача КР на кафедрі	09.12.2024	виконано

Здобувач

  
(підпис)

Керівник роботи

  
(підпис)

Дмитро ДУДКО  
(прізвище та ініціали)

Олександр ЧЕПЕЛЮК  
(прізвище та ініціали)

## Анотація

Кваліфікаційна робота на тему «Обґрунтування параметрів процесу формування виробів у роторній машині пресування таблеток продуктивністю 200 000 шт/год» представляє ґрунтовне дослідження технологічних і конструктивних аспектів роботи роторного таблеткового обладнання. Робота складається з 80 сторінок пояснювальної записки, яка містить теоретичний аналіз, результати експериментальних досліджень і технічні розрахунки, а також 4 креслення формату А1 зі специфікаціями.

У дослідженні детально розглянуто процес формування таблеток у роторній таблетковій машині Fette 2200i, яка забезпечує виготовлення продукції шляхом прямого пресування. Основна увага приділена аналізу механізму пресування, зокрема конструктивних елементів ротора та пуансонів. Вивчено, як фізичні властивості порошкових матеріалів (таких як гранулометричний склад, сипкість) і як швидкість руху пуансонів впливає на процес формування таблеток.

Для моделювання процесів використано програмний комплекс Altair EDEM, що дозволяє реалізувати метод дискретних елементів. Цей підхід забезпечує детальну симуляцію взаємодії частинок порошку з елементами обладнання, включаючи аналіз силових взаємодій та динамічних характеристик гранул.

Результати досліджень дали змогу не лише виявити ключові чинники, що впливають на рівномірність заповнення матриць і якість кінцевого виробу, а й запропонувати рекомендації щодо оптимізації конструкції та параметрів роботи механізму пресування.

**Ключові слова:** роторний таблетковий прес, механізм пресування, пуансони, матриці, порошкові матеріали, рівномірність заповнення.

## Annotation

The qualification thesis titled *"Justification of Parameters for the Product Formation Process in a Rotary Tablet Press Machine with a Capacity of 200,000 Units per Hour"* presents a comprehensive study of the technological and design aspects of rotary tablet equipment. The thesis consists of 80 pages of explanatory notes, which include theoretical analysis, experimental research results, and technical calculations, as well as four A1-format drawings with specifications.

The study thoroughly examines the tablet formation process in the rotary tablet press machine Fette 2200i, which is designed for direct compression tablet manufacturing. Particular attention is given to the analysis of the pressing mechanism, including the structural elements of the rotor and punches. The research investigates how the physical properties of powder materials (such as particle size distribution and flowability) and the punch movement speed affect the tablet formation process.

The process modeling was conducted using the Altair EDEM software suite, which implements the discrete element method (DEM). This approach enables detailed simulation of the interaction between powder particles and equipment components, including the analysis of force interactions and the dynamic behavior of granules.

The research findings made it possible not only to identify the key factors influencing the uniformity of matrix filling and the quality of the final product but also to propose recommendations for optimizing the design and operating parameters of the pressing mechanism.

**Keywords:** rotary tablet press, pressing mechanism, punches, matrices, powder materials, uniformity of filling.

## Зміст

### Вступ

1.	Аналіз процесу пресування на роторних таблеткових пресах_____	8
1.1	Теоретичні основи таблетування_____	9
1.2	Обладнання для виробництва твердих дозованих лікарських форм__	11
1.3	Технологічне та допоміжне обладнання _____	15
1.4	Методи комп'ютерного моделювання для дослідження процесу пресування таблеток_____	18
2.	Об'єкти і методи досліджень_____	23
2.1	Об'єкт дослідження, таблетпрес Fette 2200i _____	23
2.2.	Метод дослідження _____	29
2.3.	Формулювання задачі моделі_____	32
3.	Результати досліджень_____	39
3.1.	Імітаційне моделювання процесу наповнення та пресування таблетки_____	39
4.	Розрахунок обладнання для пресування таблеток _____	46
4.1.	Технологічний розрахунок_____	46
4.2.	Розміри таблеток і визначення зусиль, що діють на робочі органи__	51
4.3.	Кінематичні розрахунки_____	53
4.4.	Механічні розрахунки_____	56
5.	Застосування результатів дослідження_____	58
6.	Монтаж, ремонт, експлуатація_____	62
6.1.	Транспортування, навантаження та вивантаження_____	62
6.2.	Очищення_____	66
6.3.	Початкове введення в експлуатацію_____	67
6.4.	Встановлення та налагодження інструментальних засобів_____	68
7.	Охорона праці_____	73
	Висновки_____	77
	Список використаної літератури_____	78

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Дідко Д.С.	<i>Назва, додаткова назва</i>  <b>Зміст</b>	<b>230639.KP.08.000 ПЗ</b>		
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>
					<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>

## ВСТУП

На сьогоднішній день найбільш поширеним методом перетворення активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ) у зручну для споживача форму є виробництво таблеток. Близько 60% АФІ продається саме у вигляді таблеток. Однією з основних переваг цієї лікарської форми є простота її виготовлення. Виготовлення таблеток сьогодні часто здійснюється за допомогою ротаційних таблеткових пресів. Фармацевтична індустрія є однією з небагатьох галузей, де домінує партійне виробництво. Одним із позитивних аспектів цього методу є можливість точного контролю за різними етапами виробництва. Після кожного етапу проводиться перевірка якості, яка дозволяє затверджувати подальші етапи виробництва. У разі виникнення проблем з якістю, можна оперативно вжити необхідних заходів. Проте серійне виробництво має й певні недоліки, зокрема, періоди затримок між етапами та простій машин, що призводять до додаткових витрат. Окрім того, фармацевтичні компанії повинні задовольняти вимоги щодо швидкості виготовлення та стабільно високої якості на всіх етапах виробництва, зокрема при виготовленні таблеток. Сучасні ротаційні таблетки пресують з потужністю понад 1,6 млн таблеток на годину. Для забезпечення безперервного процесу важливо досягнути оптимальної взаємодії між різними компонентами виробництва.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чеплюк О.М.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Дідько Д.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вступ</b>	<b>230639.KP.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/1</b>

## РОЗДІЛ 1. Аналіз процесу пресування на роторних таблеткових пресах

Процес дозування є одним із критичних етапів у виробництві таблеток, оскільки він безпосередньо впливає на точність і однорідність маси кінцевого продукту. Виробництво таблеток на роторних таблеткових пресах є поширеною технологією в фармацевтичній промисловості, оскільки ці пристрої здатні досягати високої продуктивності, виготовляючи до мільйона таблеток на годину. Однак при такій швидкості виробництва важливо забезпечити стабільність процесу дозування, що часто є викликом через кілька факторів.

Одним з основних факторів, що обмежують стабільність виробництва таблеток, є залежність точності дозування від швидкості таблетування. Чим вища швидкість пресування, тим більше збільшуються відхилення в масі таблеток. Це відхилення часто зумовлене нерівномірністю подачі порошку або гранул до матриці, що викликає коливання в обсязі заповнення осередків преса. Сипучість порошку є важливим фактором, який безпосередньо впливає на ефективність і рівномірність процесу дозування. Порошок з низькою текучістю може спричинити проблеми при подачі матеріалу в прес, що, в свою чергу, призводить до порушення рівномірності наповнення матриці. Це може викликати варіації в масі таблеток, що знижує якість продукції. Ще одним важливим аспектом є неоднорідність щільності сипучих матеріалів. Висока щільність одного компонента суміші може спричинити затримку під час подачі в прес, в той час як інші компоненти з меншою щільністю можуть не заповнювати матрицю однаково добре. Це нерівномірне заповнення може призвести до коливань маси таблеток, що погіршує стабільність виробничого процесу. Для забезпечення точності дозування на роторних пресах використовуються системи регулювання ваги. Вони дозволяють коригувати

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепеляк О.М.</i>	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> <i>Дудко Д.С.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Аналіз процесу пресування на роторних таблеткових пресах</b>	<b>230639.KP.08.000 ПЗ</b>				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/15</b>	

кількість порошку, що подається до матриці, шляхом видалення надлишку матеріалу за допомогою спеціальних скребків. Це дозволяє зменшити коливання маси таблеток, забезпечуючи більш точний контроль за процесом дозування.

Процес дозування на роторних таблеткових пресах є складним і багатофакторним. Для досягнення стабільної якості таблеток необхідно ретельно контролювати швидкість таблетування, сипучість порошку, рівномірність щільності матеріалів і коригувати систему дозування. Тільки комплексний підхід до цих аспектів дозволяє забезпечити точність і однорідність маси таблеток, що є запорукою високої якості кінцевої продукції.

### **1.1. Теоретичні основи таблетування**

Таблетування — це процес формування твердої дозованої лікарської форми — таблетки, що здійснюється шляхом пресування порошкових або гранульованих сумішей, які містять активні фармацевтичні інгредієнти (АФІ) та допоміжні речовини. Процес таблетування є ключовим етапом у фармацевтичному виробництві, і для досягнення високої якості кінцевого продукту необхідно враховувати фізико-хімічні властивості матеріалів, технологічні аспекти процесу та оптимальні умови його проведення.

Теоретичні засади пресування таблеток базуються на ряді фізичних принципів, що включають механізми ущільнення порошку, пластичне деформування частинок, а також створення стабільної структури таблеток через зчеплення частинок під впливом зовнішнього тиску.

Під час пресування порошкова суміш піддається дії сили, що веде до її ущільнення та формування компактної таблетки. У результаті цього процесу частинки порошку взаємодіють одна з одною через механізми ущільнення, що зменшує їх об'єм, і утворюють стабільну структуру. Пластичне деформування частинок при високих навантаженнях дозволяє утворювати зчеплення між ними, що підвищує міцність таблетки. Кристалізація деяких компонентів, що

складають активні фармацевтичні інгредієнти (АФІ), також може сприяти утворенню міцніших зв'язків між частинками, що додатково зміцнює структуру таблетки. Пресування таблеток вимагає ретельного контролю фізико-хімічних властивостей порошкових сумішей, таких як текучість, щільність, сипучість і вологість. Текучість порошку має велике значення, оскільки вона забезпечує рівномірне заповнення матриці преса, що важливо для досягнення стабільного дозування активних речовин. Щільність і сипучість матеріалу також відіграють важливу роль у рівномірному ущільненні і формуванні таблетки. Вологість порошку може мати двоякий ефект: з одного боку, підвищена вологість може поліпшити зчеплення частинок, з іншого — знизити текучість матеріалу, ускладнюючи процес пресування.

Тиск, що застосовується під час процесу пресування, є одним із основних параметрів, що визначає кінцеву міцність таблетки. На різних етапах пресування, зокрема під час початкового ущільнення, основного пресування та формування стабільної таблетки, важливо забезпечити оптимальний рівень тиску, який дозволяє досягти необхідної міцності без надмірного деформування або пошкодження таблеток. Недостатній тиск може призвести до низької міцності таблетки, в той час як надмірно високий тиск може викликати тріщини та дефекти, що негативно впливають на якість кінцевого продукту.

Окрім фізичних властивостей порошкових сумішей, на результат пресування значно впливає використання допоміжних речовин, які додаються до складу порошкових сумішей. Зв'язуючі агенти, такі як крохмаль або гідроксипропілцелюлоза, забезпечують зчеплення частинок і покращують міцність таблетки після пресування. Розпушувачі, наприклад магнію стеарат, сприяють швидкому розпаду таблетки в організмі, що забезпечує ефективне вивільнення активних інгредієнтів. Антифрикційні агенти, такі як силіка, зменшують тертя між частинками порошку, що полегшує процес пресування і покращує текучість матеріалу.

Контроль якості таблеток є важливим етапом виробничого процесу. Міцність таблетки, здатність до розпаду та рівномірність маси і вмісту активних інгредієнтів є критичними показниками, які визначають ефективність таблеток у лікувальному процесі. Для цього застосовуються різні методи, зокрема вимірювання міцності на злам, контролювання часу розпаду, а також перевірка однорідності маси та вмісту активної речовини.

Таким чином, теоретичні основи пресування таблеток охоплюють цілу низку фізико-хімічних і механічних процесів, що визначають якість кінцевого продукту. Однак досягнення необхідної стабільності та ефективності таблеток потребує комплексного підходу до вибору матеріалів, параметрів процесу та контролю якості на всіх етапах виробництва.

## 1.2. Обладнання для виробництва твердих дозованих лікарських форм

### Різновиди таблеткових пресів



Рис. 1. 1. FETTE P1010 - таблетпрес для виробництва невеликих партій продукту

Кількість станцій пресування: від 20 до 32 шт.

Продуктивність машини: від 18 000 до 234 000 таблеток на годину.

Опис таблетпресу FETTE P1010:

- Оптимізована механічна конструкція
- Закрита зона пресування, виключає ризик перехресної контамінації
- Відповідність вимогам FDA та cGMP
- Міцна та надійна конструкція, що гарантує тривалий термін служби обладнання з високими значеннями зусиль пресування
- Легке очищення, просте обслуговування
- Усі пресуючі ролики - незалежні. Головний ролик і ролик попереднього пресування - одного розміру (250 мм, взаємозамінні). Максимальне зусилля пресування 80 кН.
- Ролики виготовляються в Німеччині за спеціальною технологією та зі спеціального матеріалу, мають тривалий ресурс служби.
- Змінний ротор виготовляється в Німеччині – найвища точність виготовлення
- Поштучне відбракування таблеток, зниження втрат продукту
- Комплектація компонентами вищого класу, технологія VME, можливість аналізу великого обсягу даних у режимі реального часу, відповідно до завдань замовника
- Ергономічний дизайн панелі керування НМІ з великим сенсорним екраном для простого керування машиною.



Рис.1.2. FETTE P2020 - універсальний однопоточний роторний таблетпрес

Кількість станцій пресування: від 30 до 47.

Продуктивність машини: від 27 000 до 338 400 таблеток на годину.

Опис таблетпресу FETTE P2020:

Максимальна експлуатаційна безпека.

- Закрита зона пресування, мінімізуючи утворення пилу;
- Швидкороз'ємні з'єднання для демонтажу компонентів;
- Сенсорний екран 15”;
- Модульна інтерфейсна система управління VME-BUS;
- Інтуїтивна покрокова система управління;
- Структуровані діагностичні повідомлення для пошуку та усунення

Несправностей;

- Усі виробничі параметри доступні постійно;
- 9 різних рівнів доступу користувачів;

- Комплектація компонентами вищого класу, технологія VME, можливість аналізу гігантського обсягу даних у режимі реального часу, відповідно до завдань замовника;
- Професійне програмне забезпечення, що поєднує найкращий практичний досвід лідерів фар-мацевтичного ринку та більш ніж піввіковий досвід компанії «Fette Compacting»;
- Fill-O-Matic – унікальна тризонна система наповнення;
- Змінний ротор, що виготовляється в Німеччині, особливо висока точність виготовлення, мінімальний час простою обладнання;
- Можливість вибору з 6 різних типів роторів.

Усі пресуючі ролики – незалежні. Головний ролик та ролик попереднього пресування - одного розміру (250 мм, взаємозамінні). Максимальне зусилля пресування - 100 кН.



Рис.1.3. FETTE P3030 - високопродуктивний двопоточний роторний таблетпрес для великосерійного виробництва та випуску двошарових таблеток<sup>93</sup>  
Кількість станцій пресування: від 49 до 79.

Продуктивність машини: від 88 200 до 1 004 880 таблеток на годину

Опис таблетпресу FETTE P3030:

- Міцна і надійна конструкція, що гарантує тривалий термін служби обладнання при роботі з високими зусиллями пресування;
- Швидкороз'ємні з'єднання для простого демонтажу компонентів, мінімальний час простою обладнання;
- Пресувальні ролики - незалежні. Головний ролик і ролик попереднього пресування - одного розміру (250 мм, взаємозамінні). Максимальне зусилля пресування - 100 кН;
- Ролики виготовляються в Німеччині за спеціальною технологією та спеціальним матеріалом, мають тривалий ресурс служби;
- Двопоточне виконання преса, два бункери для подачі продукту, два лотки для вивантаження таблеток;
- Опційна система відбору проб першого шару та система відбору проб для простого контролю якості таблеток;
- Поштучне відбраковування таблеток, зниження втрат продукту демонтаж та швидке від'єднання компонентів, просте обслуговування та ремонт;
- Високі стандарти обробки поверхні – легке очищення.

### **1.3. Технологічне та допоміжне обладнання**

Вимоги до якості під час виробництва таблеток постійно підвищуються. Технологічне обладнання компанії «Fette Compacting» гарантує відповідність вашого виробництва всім чинним вимогам та зниження виробничих навантажень на персонал.

Автоматизація всіх виробничих етапів скорочує ручне втручання та гарантує чудову якість таблеток. Переваги: максимальна надійність, найвища якість та ефективність виробництва.



Рис.1.4. Пристрій дозування та подачі магнію стеарату РКВ-II



Рис.1.5. Система контролю ваги таблеток Weightmaster 6.2



Рис.1.5. Обезпилювачі та металодетектори Econo flex



Рис.1.6. Прес-інструмент (матриці, пуансони)

## **1.4. Методи комп'ютерного моделювання для дослідження процесу пресування таблеток**

Комп'ютерне моделювання є важливим інструментом у фармацевтичному виробництві, зокрема в процесі пресування таблеток. Це дозволяє не лише розуміти фізико-хімічні процеси, що відбуваються під час пресування порошків і гранул, але й оптимізувати параметри цього процесу для досягнення високої якості кінцевих продуктів. Застосування методів комп'ютерного моделювання допомогло вирішити низку проблем у виробництві таблеток, таких як нерівномірне ущільнення порошкових сумішей і забезпечення стабільності кінцевих таблеток.

### **Основні методи комп'ютерного моделювання**

#### **1.4.1. Метод скінчених елементів (FEM)**

Цей метод дозволяє детально моделювати взаємодію частинок порошку під час пресування, вивчаючи механічні властивості матеріалів, такі як деформація та ущільнення. Моделювання за допомогою FEM дає змогу передбачати, як зміна параметрів процесу (тиск, швидкість, температура) впливає на кінцеву міцність таблеток.

- **Дослідження ефективності пресування з використанням FEM**

Одна з груп дослідників з університету Південної Каліфорнії використовувала методи FEM для моделювання процесу ущільнення порошків під час пресування. Вони створили модель, яка дозволила передбачити, як різні параметри (наприклад, величина тиску або швидкість подачі матеріалу) впливають на міцність таблеток і їхню здатність до розпаду. Завдяки цьому дослідженню вдалося зменшити дефекти при виробництві таблеток і оптимізувати виробничі процеси.

- **Молекулярне моделювання для оптимізації рецептури**

У дослідженнях, проведених доктором Джоном Смітом, застосовувалися методи молекулярного моделювання для вивчення взаємодії між зв'язуючими речовинами і активними інгредієнтами. Це дозволило створити нові рецептури для таблеток, які мали кращу стабільність та здатність до розпаду, що є важливим фактором для підвищення біодоступності лікарських препаратів. (Доктор Джон Сміт, відомий експерт у галузі молекулярного моделювання, активно працює над застосуванням цього методу для вивчення структур порошкових сумішей і їх поведінки під час пресування. Він вивчає взаємодію між активними інгредієнтами та допоміжними речовинами, що дозволяє створювати більш ефективні рецептури для таблеток і визначати оптимальні умови для процесу пресування, аби забезпечити високі фармацевтичні стандарти.)

#### **1.4.2. Принцип методу DEM**

Метод дискретних елементів (DEM) моделює матеріал як сукупність окремих частинок, які взаємодіють між собою через контакти, що описуються різними механічними властивостями (наприклад, тертя, пружність, ковзання). При моделюванні процесу пресування таблеток частки порошку або гранул розглядаються як окремі елементи, які взаємодіють один з одним під дією зовнішніх сил, таких як тиск або сила стиснення. Кожна частка має свої властивості, такі як розмір, форма, пружність, і можуть змінювати свої характеристики під впливом зовнішнього середовища.

Основною перевагою DEM є можливість отримати дуже детальну картину того, як частинки порошку поведуться під час пресування, як вони ущільнюються і які взаємодії відбуваються між ними. Це дозволяє не тільки вивчати фізичні процеси, але й прогнозувати кінцеві властивості таблеток, такі як їх міцність, однорідність та здатність до розпаду.

#### **Застосування DEM у процесі пресування таблеток**

Процес пресування таблеток є складним і багатофазним. Під час пресування порошкові матеріали проходять через кілька етапів, включаючи ущільнення, пластичну деформацію та формування кінцевої структури таблетки. Важливо розуміти, як різні параметри процесу, такі як сила пресування, швидкість подачі матеріалу, форма і розмір часток, впливають на кінцеву якість продукту. Метод DEM дозволяє вивчити ці фактори за допомогою моделювання поведінки порошкових сумішей під час процесу таблетування.

#### Аналіз ущільнення порошку

Застосовуючи DEM, можна моделювати, як частки порошку взаємодіють одна з одною під час підвищення тиску. Це дозволяє дослідникам зрозуміти, як частки ущільнюються, які сили взаємодії виникають між ними, і як ці сили впливають на щільність таблетки.

#### Вивчення механізмів утворення дефектів

Часто при пресуванні таблеток виникають дефекти, такі як тріщини або нерівномірне ущільнення. Використовуючи DEM, можна детально вивчити, як ці дефекти утворюються на різних етапах процесу і які параметри процесу можуть допомогти їх уникнути.

#### Оптимізація параметрів пресування

DEM допомагає визначити оптимальні умови для таблетування, такі як величина тиску, швидкість подачі порошку і температура, що забезпечує високу якість кінцевих продуктів.

Переваги використання DEM для дослідження пресування таблеток  
Точність та детальність DEM дозволяє отримати високу точність у моделюванні процесу пресування, оскільки кожна частинка моделюється окремо, що дає можливість врахувати всі деталі взаємодії часток.  
Можливість вивчення різних параметрів за допомогою DEM можна варіювати різні параметри процесу, що дозволяє дослідникам оптимізувати умови пресування і мінімізувати дефекти в таблетках.

Візуалізація процесу пресування в моделі дає можливість візуально спостерігати, як змінюється структура порошку під тиском і як відбувається формування таблетки.

### Застосування DEM у дослідженнях

Дослідження пресування таблеток на основі DEM (дослідження університету Х'юстона).

Дослідники з університету Х'юстона використовували метод DEM для вивчення процесу ущільнення порошкових сумішей під час таблетування. Моделюючи взаємодію частинок порошку під час пресування, вони змогли виявити ключові фактори, які впливають на міцність кінцевої таблетки, такі як форма частинок і їх взаємодії між собою. Це дозволило знизити кількість дефектів при виробництві таблеток і забезпечити їх рівномірне ущільнення.

Моделювання процесу пресування таблеток в фармацевтичній компанії Pfizer

Фармацевтична компанія Pfizer активно використовує DEM для оптимізації процесу таблетування. У їхніх дослідженнях, зокрема, застосовуються моделі для прогнозування поведінки порошкових сумішей під час пресування, а також для вивчення факторів, які можуть вплинути на міцність таблеток, таких як форма та розмір частинок. Це дозволяє створювати більш стабільні та ефективні формули для таблеток, зменшуючи кількість відходів у виробництві.

### Висновки і задачі

Процес таблетування є багатофакторним і складним, вимагаючи точного контролю на всіх етапах — від підготовки суміші до контролю якості готових таблеток. Використання комп'ютерного моделювання дозволяє значно підвищити ефективність процесу таблетування, даючи можливість проводити віртуальні експерименти і оптимізувати параметри процесу. Обладнання для таблетування має велике значення для ефективності та якості продукції. Вибір

правильного типу преса та дозуючої системи є важливим для досягнення бажаних результатів.

Оптимізація технологічного процесу за допомогою комп'ютерного моделювання для зменшення браку та покращення якості таблеток. Покращення процесу гранулювання та дозування для зменшення втрат матеріалу та покращення ефективності процесу. Вивчення впливу фізико-хімічних властивостей порошків на кінцеві характеристики таблеток і розробка методів їх контролю.

Технології комп'ютерного моделювання та нові типи обладнання дозволяють зробити процес таблетування більш ефективним, точним і економічно вигідним, що є важливим для фармацевтичної та харчової промисловості.

## РОЗДІЛ 2. Об'єкти і методи досліджень

### 2.1 Об'єкт дослідження, таблетпрес Fette 2200i

Таблеточний прес 2200i був розроблений як модульна система у складі гнучкого автоматизованої ділянки з виробництва таблеток чи пресованих препаратів. Таблеточні преси використовуються в хімічній, фармацевтичній, харчовій та порошково-металургійної галузей промисловості.

Для найбільш продуктивного використання установки 2200i у цій галузі застосування, для того, щоб задовольнити певні виробничі потреби, можуть бути поставлені різні пресові інструменти, комплектуючі деталі та периферійні пристрої. Якщо говорити по суті, таблетковий прес 2200i може використовуватись виключно в тих сферах застосування, які вказані в посібнику з експлуатації, і лише з тими інструментальними засобами, що комплектують деталями та периферійними пристроями, які передбачені у графіку поставки. Перед використанням установки 2200i в сферах застосування, які відрізняються від областей застосування, обумовлених контрактом, необхідно проконсультуватися з департаментом післяпродажного обслуговування клієнтів компанії FETTE.

Технічні характеристики установки таблиця 2.1.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Дудко Д.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Об'єкти і методи досліджень</b>	<b>230639.KP.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/16</b>

Таблиця №2.1.

Виробник	Компанія FETTE GmbH
Модель	2200i
Заводська табличка з паспортними даними:	Позаду панельної обшивки установки
Робоча напруга:	400/440/480 В, 50/60 Гц, 3 фази
Потужність (приблизно):	13 кВт
Повний захист плавкого запобіжника:	63 А
Подача стисненого повітря: (максимальна) при діаметрі труби, що підводить $\varnothing = 9$ мм	6 бар (10 бар)
Об'ємна витрата повітря (мінімальна):	5 дм <sup>3</sup> /сек
Проектована займана площа:	1220 x 1220 мм
Висота установки:	2031 мм (2083 мм)
Вага таблеткового пресу:	приблизно 3500 кг
Вага терміналу керування:	100 кг
<b>Умови експлуатації:</b>	
Відносна вологість:	5 - 95 %
Температура експлуатації розподільчого щитка:	0 - 25°C
Температура експлуатації пульта керування:	0 - 25°C
Температура експлуатації установки:	5 - 35°C



Рис.2.1. Профіль одностороннього ротаційного таблеткового пресу 2200i



Рис.2.2. Загальний вид таблетпреса

Односторонній ротаційний таблет-прес 2200i – це найкращий вибір, коли справа стосується економічного виробництва. Перевірений стандарт компонентів і високопродуктивних поворотних турель, що значно збільшує річний обсяг виробництва. Швидка зміна інструменту полегшуються шляхом взаємозамінних турель і надає додаткову надійність, не маючи собі рівних у своєму класі.

Особливості об'єкта дослідження:

- 1) Надійний високопродуктивний ротаційний таблет-прес.
- 2) Змінна турель.
- 3) Максимальна швидкість, продуктивність і точність
- 4) Термінал оператора з 15" сенсорним екраном
- 5) Широкий асортимент аксесуарів і технологічного обладнання
- 6) Високоякісний стандарт Fette Compacting

Переваги об'єкта дослідження:

- 1) Відмінне співвідношення ціна/якість
- 2) Швидка зміна формату та продукту забезпечує високу річну врожайність
- 3) Легке безперервне використання
- 4) Зменшення часу простою завдяки використанню додаткової револьверної головки з кулачками та пуансонами
- 5) Збільшення річної продуктивності завдяки оптимізації змінних матриць.
- 6) В якості опції доступні пуансони з хромованим покриттям або з нержавіючої сталі
- 7) Підвищена стійкість до стирання
- 8) Підвищена стійкість до хімічних речовин
- 9) Зменшення шорсткості, більш гладкі поверхні.

Модульна конструкція машини забезпечує:

- 1) Максимальна безпека експлуатації
- 2) Максимальна безпека роботи
- 3) Закритий компресійний відсік (зменшує шум і пил)

- 4) Збільшені інтервали технічного обслуговування
- 5) Модульна конструкція з поділом на чотири секції:
- 6) Головний відділ
- 7) Високопродуктивний привідний агрегат
- 8) Двоконтурне мастило з двома мастильними вузлами



Рис.2.3. Модульна конструкція таблетпресу

Предметом дослідження є ефективність та точність процесу пресування порошку, а також технологічні параметри процесу пресування на роторному таблетковому пресі Fette 2200i, включаючи вплив різних налаштувань та умов на якість кінцевого продукту (таблеток).

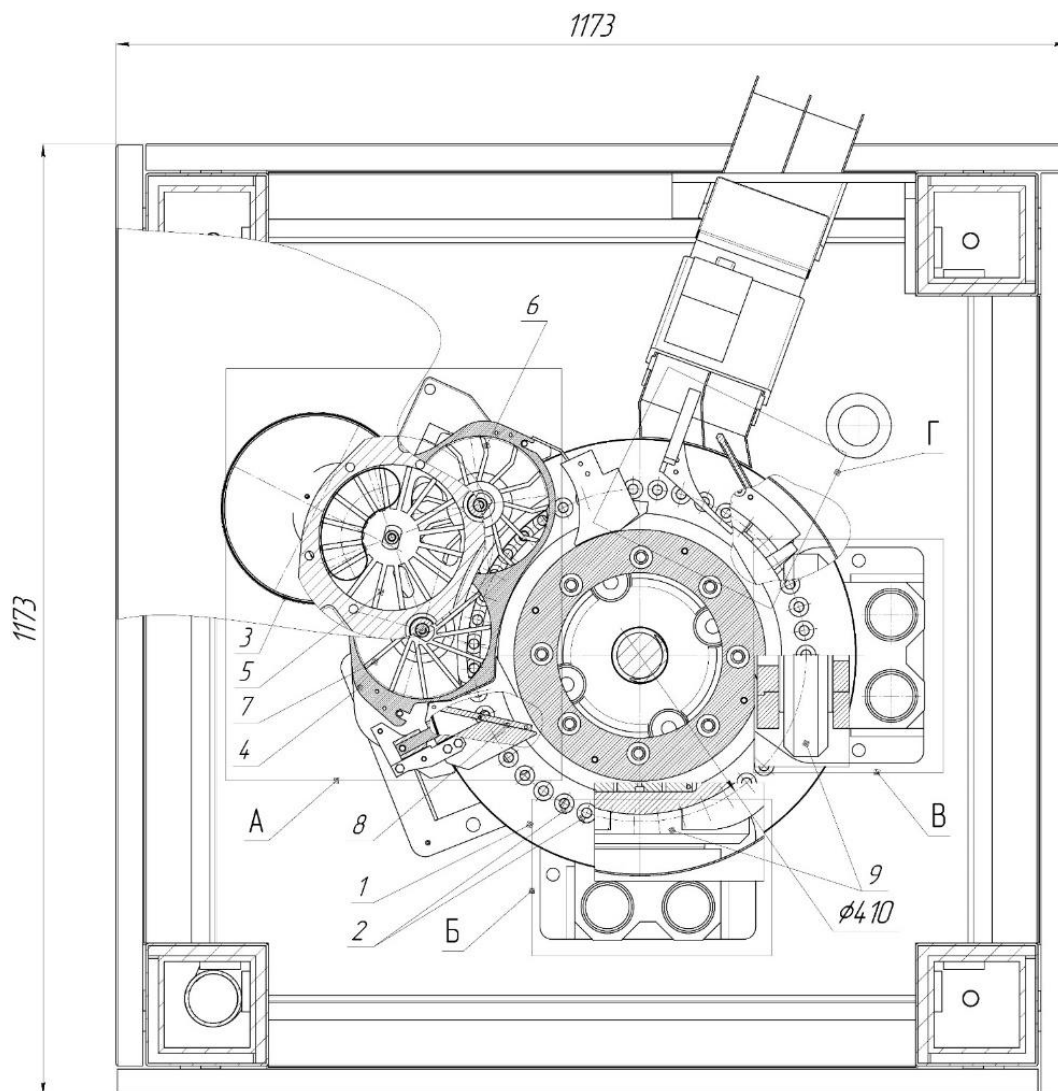


Рис. 2.4. Принципова схема таблетпреса FETTE 2200i

Принципова схема преса (рис. 2.4.) включає ротор та чотири основні станції:

1. Ротор 1 з матрицями 2.
2. Станція А – заповнення і дозування, що складається із засипного бункера 3, корпусу живильника 4, головного дозувального колеса 5, заповнюючого

колеса 6 та дозувального колеса зворотного напрямку 7. Після заповнення матриць надлишок порошку відсікається скребком 8.

3. Станція Б – попереднє пресування, основним елементом якої є ролик 9.
4. Станція В – головне пресування.
5. Станція Г – виштовхування таблеток з матриць та їх скидання з ротора.

Функціональна послідовність роботи машини (рис. 2.2.):

Ротор 1, на якому закріплені матриці 2 та верхні 3 і нижні 4 пуансони, обертається у напрямку, зазначеному стрілками. Цикл таблетування порошку починається з етапу дозування. Пуансони нижнього ряду опускаються по копіру 5, на якому відбувається заповнення матриць порошком. Після цього, проходячи через живильник, відсікається надлишок порошку, і необхідна маса для пресування визначається дозувальним пристроєм 6, який піднімає нижні пуансони перед скребком відсікання.

Далі йде етап попереднього пресування порошку, після чого виконується основне пресування. Верхні ролики пресування 7 дозволяють вручну регулювати глибину занурення верхніх пуансонів у діапазоні від 1 до 5 мм. Для нижніх пресувальних станцій 8 забезпечене автоматичне регулювання тиску, яке керується програмним забезпеченням управління машини.

Після того, як таблетка спресована, настає етап її виштовхування за допомогою ежектора 9, що піднімає нижні пуансони. Потім таблетка скидається зі столу ротора планкою 10.

## 2.2. Метод дослідження

Дослідження за допомогою EDEM Creator передбачає використання програмного забезпечення для симуляції процесів, що включають взаємодію часток, зокрема в процесах таблетування. EDEM — це потужний інструмент для моделювання та аналізу механіки матеріалів, зокрема порошків і гранул, який застосовується у фармацевтичній, харчовій та інших промисловостях. EDEM Creator дозволяє створювати детальні моделі часток та їх взаємодії у

різних процесах. Це програмне забезпечення, яке базується на методу дискретних елементів (DEM), що дозволяє здійснювати реалістичне моделювання поведінки сипучих матеріалів у заданих умовах. Метод DEM є особливо корисним для аналізу процесів, де матеріали мають складну взаємодію, такі як пресування порошку. Для моделювання частинок у різних процесах обробки фармацевтичного порошку застосовано метод дискретних елементів (DEM). Цей підхід використовується для аналізу потоку частинок у подаючій системі таблеткового преса та в матриці таблеток. Використано комерційно доступний програмний пакет EDEM v.2024.1 (DEM Solutions Ltd, Единбург, Шотландія), а для розрахунку контактних сил застосована модель Герца-Міндліна. У моделі контактних сил Герца-Міндліна сила в нормальному напрямку визначається як функція від деформації між двома частинками. У загальному вигляді, сила контакту в нормальному напрямку описується рівнянням:

$$F_n = k_n \delta_n^{\frac{3}{2}} + c_n \dot{\delta}_n$$

де  $\delta_n$  — деформація між частинками, яка визначається як різниця між їхніми відстанями і сумою їхніх радіусів,  $\dot{\delta}_n$  — відносна швидкість удару,  $c_n$  — коефіцієнт демпфування,  $k_n$  — жорсткість контакту (константа, яка визначає, наскільки сильно частинки пружні), визначається як

$$k_n = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^*}$$

де  $E^*$  — ефективний модуль Юнга.

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu_i^2}{E_i} + \frac{1-\nu_j^2}{E_j}$$

де  $E_i, E_j, \nu_i, \nu_j$  — модулі Юнга та відношення Пуанссона окремих частинок  $i$  та  $j$ , що контактують відповідно,  $R^*$  — ефективний радіус,  $\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_j}$  визначений як де  $R_i$  і  $R_j$  — радіуси окремих звичайних контактуючих частинок,

а  $c_n$  задається:

$$c_n = -2\sqrt{\frac{5}{6}}\beta\sqrt{2E^*(\sqrt{R^*\delta_n})}m^*$$

де  $\beta$  визначається як

$$\beta = \frac{\ln e}{\sqrt{(\ln e)^2 + \pi^2}}$$

де  $e$  – коефіцієнт відновлення, а  $m^*$  – ефективна маса, визначена  $\frac{1}{m^*} = \frac{1}{m_i} + \frac{1}{m_j}$

де  $m_i$  і  $m_j$  — маси індивідуальних контактних сфер.

Тангенціальна сила визначається:

$$F_t = \min \left[ S_t \delta_t + 2\sqrt{\frac{5}{6}}\beta\sqrt{S_t m^* \dot{\delta}_t}, \mu F_n \right]$$

де  $\delta_t$  - тангенціальне перекриття,  $\dot{\delta}_t$  - відносна тангенціальна швидкість,

$\mu$  – коефіцієнт тертя ковзання,  $S_t$  – тангенціальна жорсткість і подається

$$S_t = 8G^* \sqrt{R^* \delta_n}$$

де  $G^*$  — еквівалентний модуль зсуву.

Модель тертя кочення включена, щоб протистояти крутному моменту, що діє на частинки в контакт. Внесок тертя кочення на крутний момент  $\tau_R$  задається через:

$$\tau_R = \mu_R F_N X \omega$$

де  $\mu_R$  – коефіцієнт тертя кочення,  $X$  – відстань точки контакту від центру мас,  $\omega$  – одиничний вектор кутової швидкості.

**Процес моделювання проводився на основі суміші порошку таблетки «Спазмалгон», а його реологічні характеристики наведені в таблиці 2.2.**

Таблиця №2.2.

Параметр	Призначення параметру	Значення параметру
Коефіцієнт Пуассона( $\nu$ )	Гранулят	0,3
	Сталь (обладнання)	0,3
Густина матеріалу ( $\rho$ )	Гранулят	1170 кг/м <sup>3</sup>
	Сталь (обладнання)	7800 кг/м <sup>3</sup>
Модуль Юнга (E)	Гранулят	$8,7 \cdot 10^9$ Па
	Сталь (обладнання)	$21,0 \cdot 10^9$ Па
	Взаємодія	
Коефіцієнт реституції	Гранулят - гранулят	0,2
	Гранулят - Сталь (обладнання)	0,2
Коефіцієнт статичного тертя	Гранулят - гранулят	0,3
	Гранулят - Сталь (обладнання)	0,01
Коефіцієнт тертя кочення	Гранулят - гранулят	0,1
	Гранулят - Сталь (обладнання)	0,01

### 2.3. Формулювання задачі моделі

Для здійснення моделювання процесів було створено тривимірні об'ємні моделі основних вузлів обладнання, використовуючи програмне забезпечення SOLIDWORKS 2020. Ці моделі включають детальне відтворення конструктивних елементів, що дозволяє точно змоделювати їх поведінку під час експлуатації. Рисунок 2.3 ілюструє зображення однієї з таких моделей, що демонструє різні складові обладнання, їх взаємозв'язки та особливості геометрії. Створення моделей у SOLIDWORKS 2020 дозволяє детально

врахувати фізичні та механічні властивості кожного елемента, що є важливим для подальшого аналізу та симуляцій процесу.

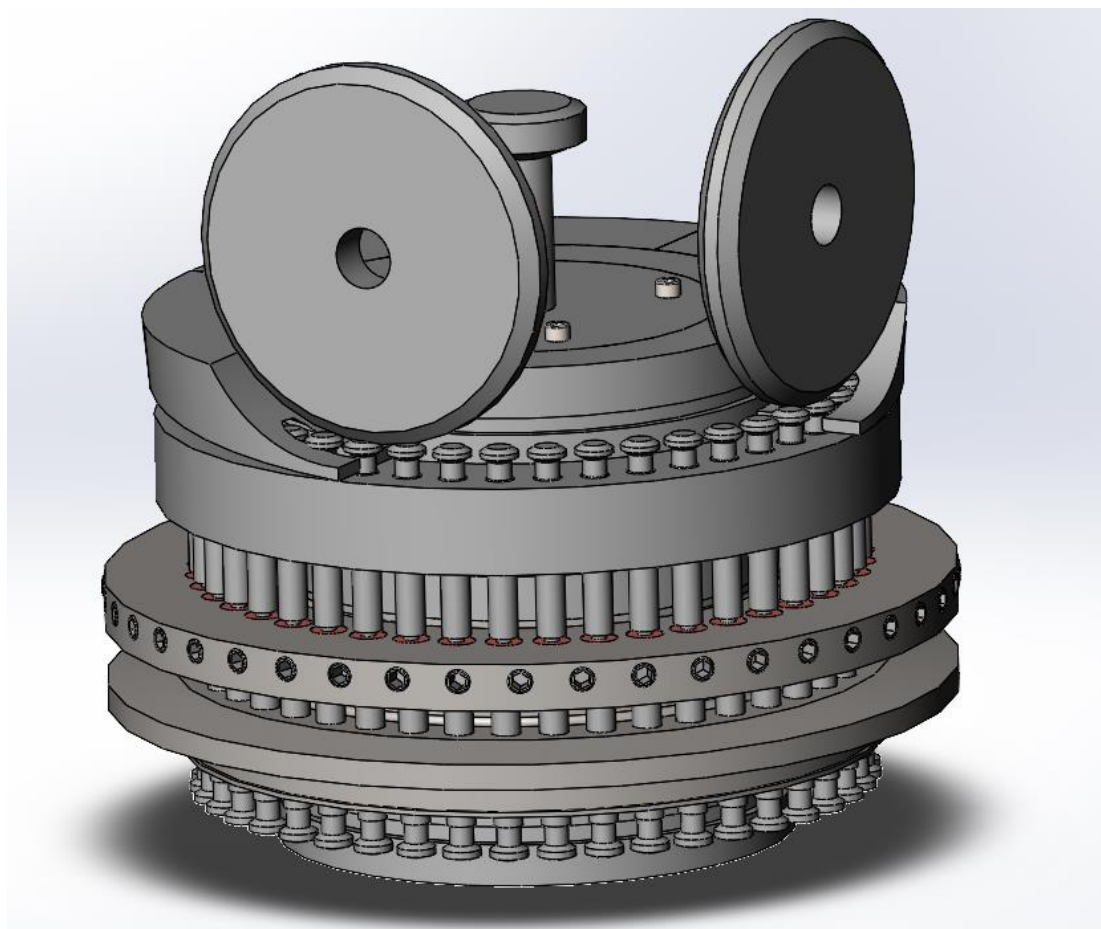


Рис. 2.3. 3D модель пресуючого вузла таблетпресу Fette 2200i

У програмному забезпеченні EDEM всі частини обладнання за замовчуванням визначаються як фізичні тіла, що означає, що порошок вступає в контакт з деталями, взаємодіючи зі стінками цих елементів. Для коректного моделювання процесу задаються конкретні граничні умови, які визначають поведінку порошку в різних частинах обладнання. Одним із таких етапів є створення об'ємної геометричної форми, в межах якої буде відбуватися утворення порошку, що засипається в матрицю. Це відображено на рисунку 2.4, де показано простір для накопичення порошку. Щоб забезпечити коректну модель і уникнути непотрібної взаємодії порошку з певними елементами, для цього об'єкта вказується тип «віртуальний (Virtual)». Це дозволяє запобігти прямому контакту порошку з об'єктом, що не бере участь у фізичній взаємодії,

зберігаючи точність моделювання процесу без додаткових складнощів у розрахунках.

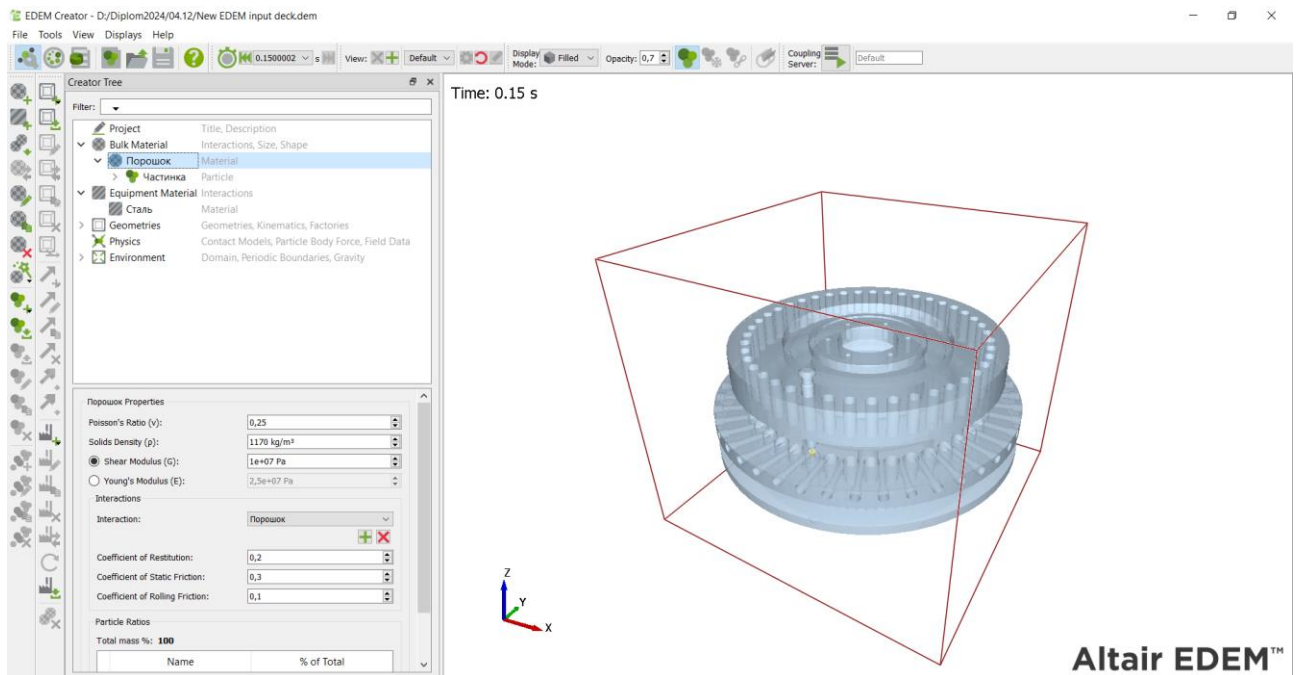


Рис.2.4 Задаємо параметри порошку для моделювання

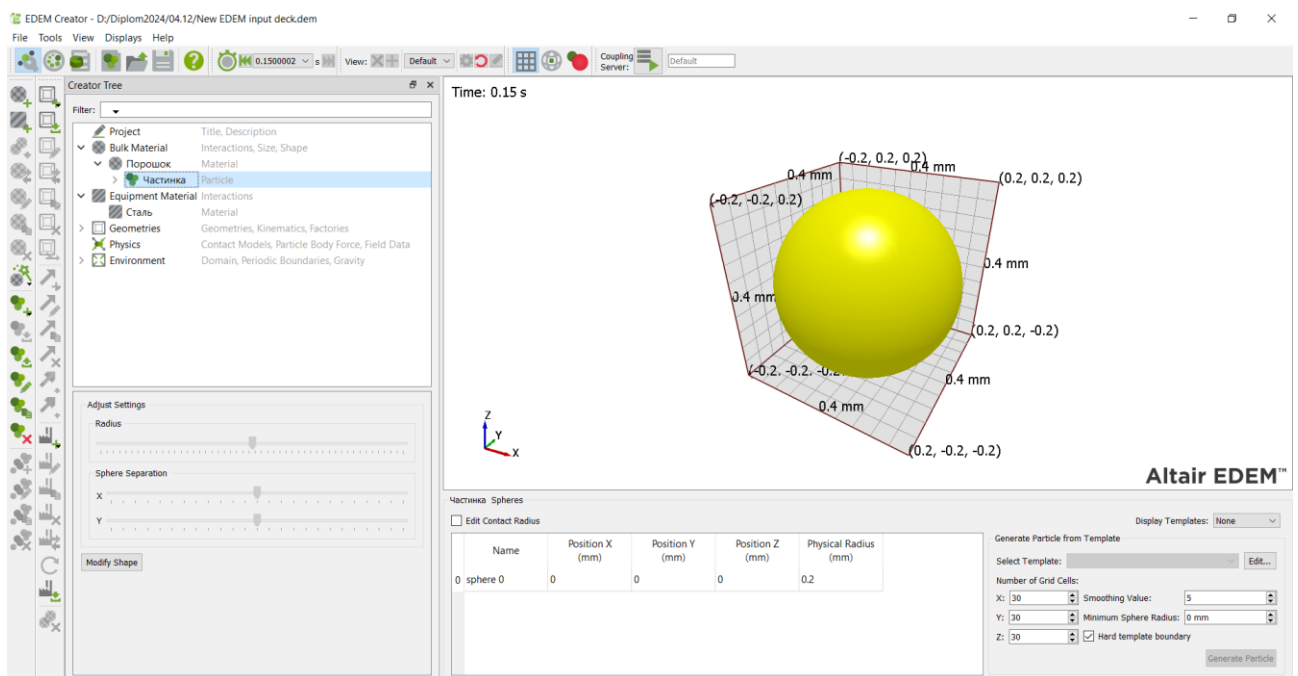


Рис.2.5. Створюємо модель частинки порошку для моделювання

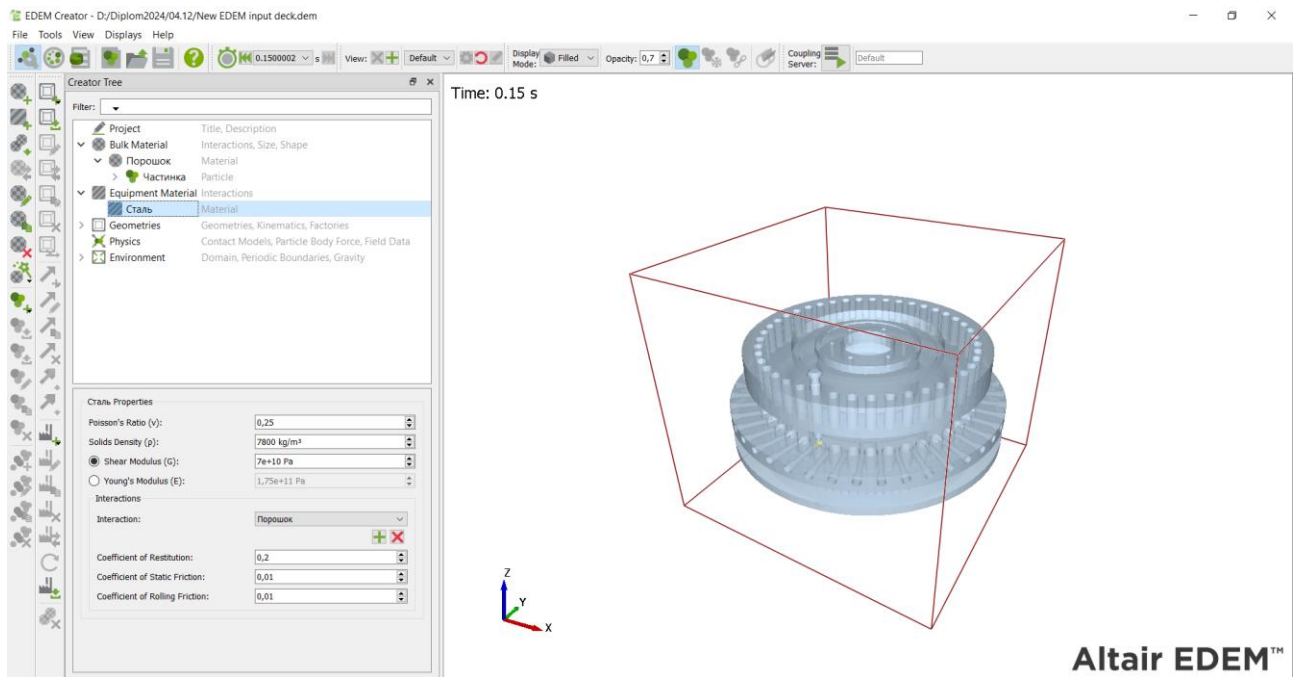


Рис.2.6. Створюємо у програмі матеріал «Сталь» та задаємо його властивості

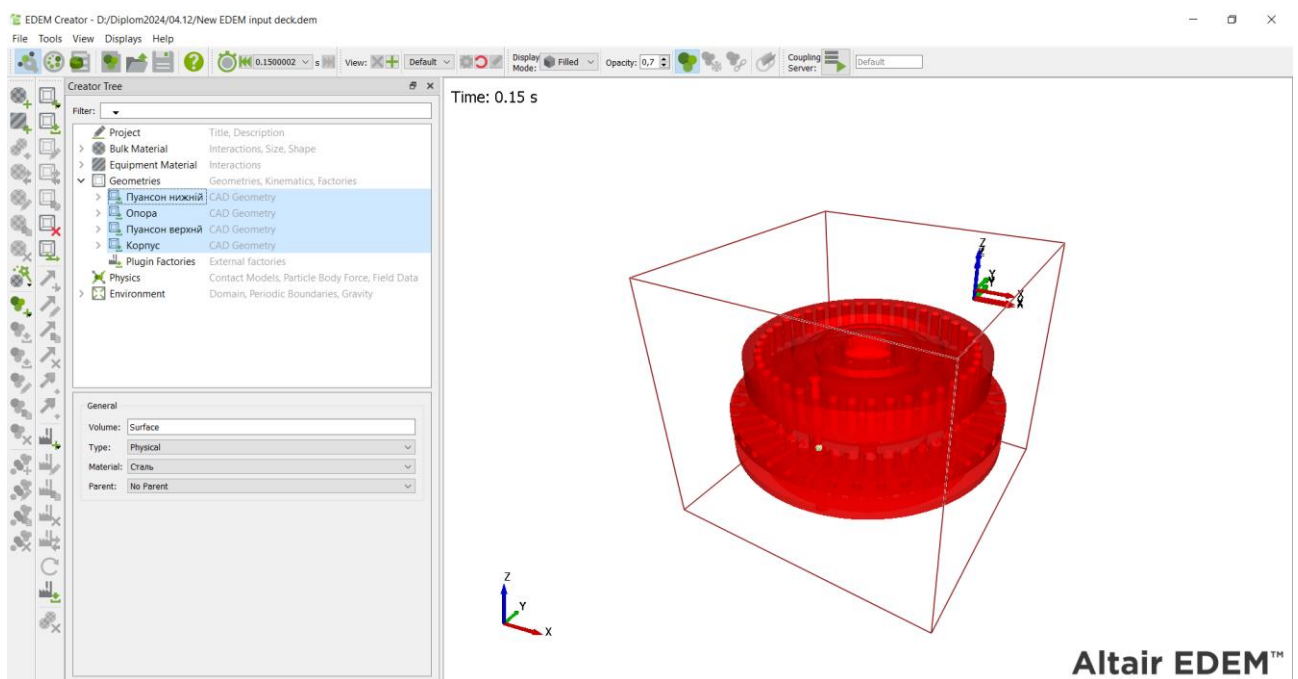


Рис.2.7. завантажуюємо попередньо створену геометрію у SOLIDWORKS 2020, попередньо збережено у форматі IGS.

Так, як не всі деталі для вірного моделювання можуть бути фізичними то для «ОПОРА» вибираємо «віртуальний (Virtual)».

Для моделювання вказуємо швидкості руху пуансонів, швидкості заповнення матриці порочком та надаємо фізичні властивості параметрам моделювання.

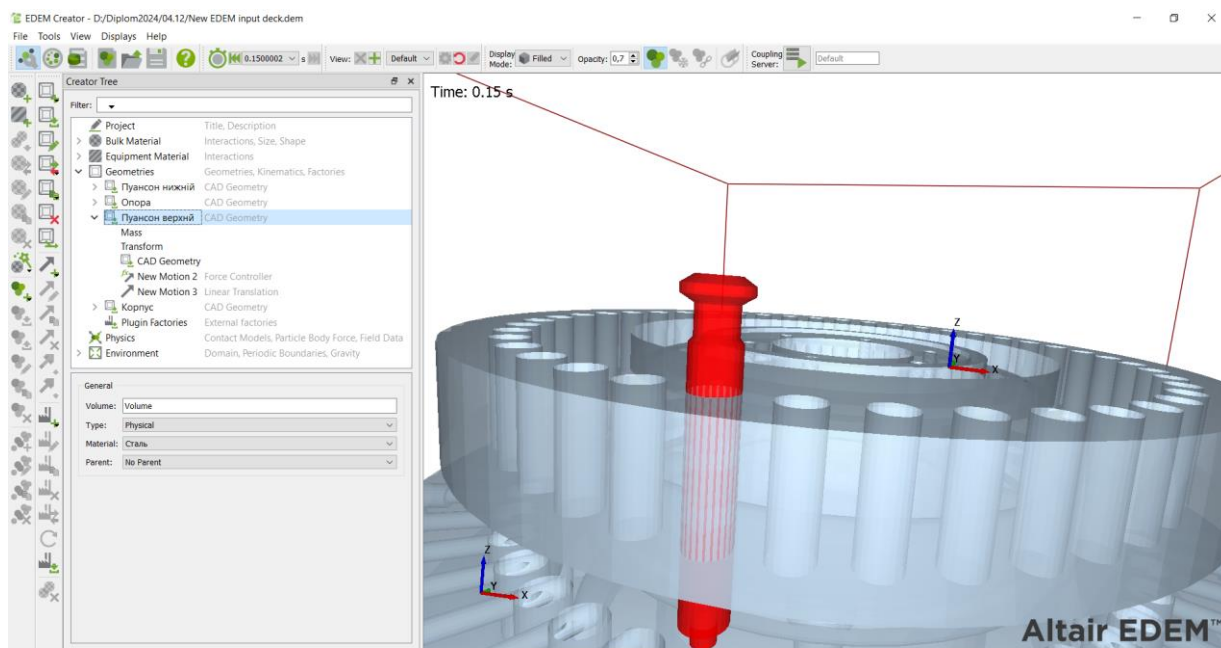


Рис.2.8. Технічні параметри руху верхнього пуансону

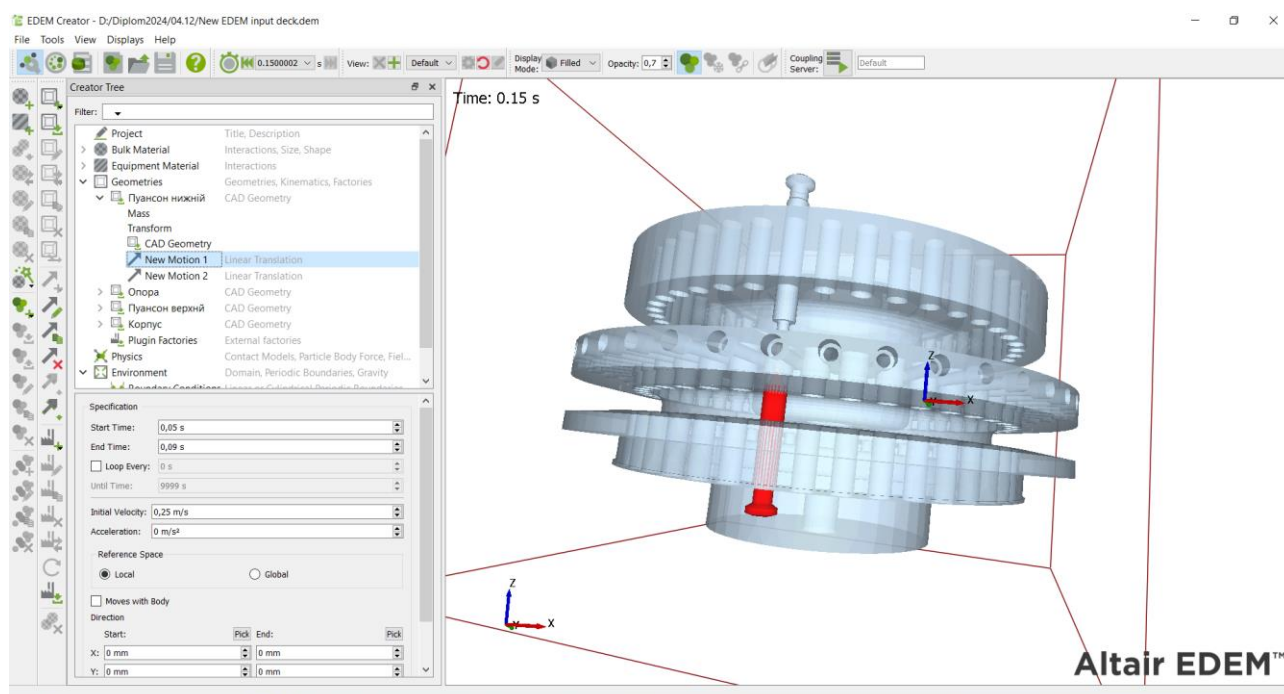


Рис.2.8. Технічні параметри руху нижнього пуансону

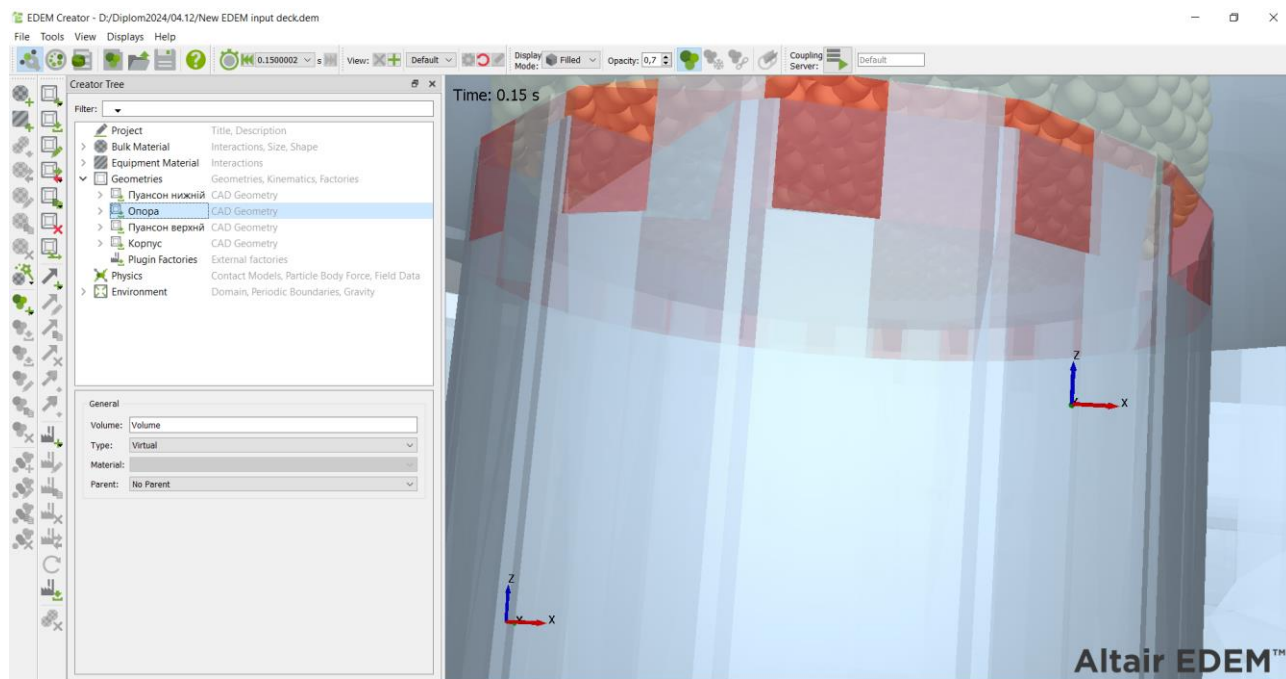


Рис.2.9. Вибираємо «віртуальний (Virtual)»

Задаємо фізичні властивості процесу пресування рис.2.10-11.

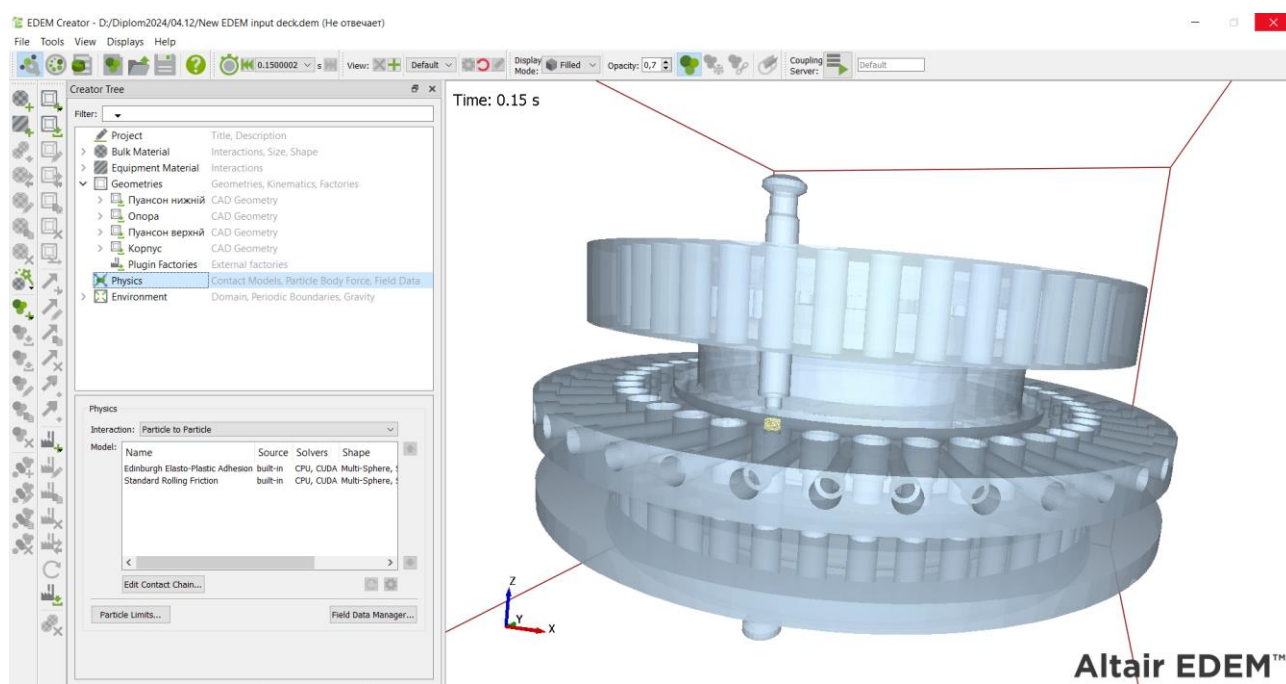


Рис.2.10 Фізичні властивості

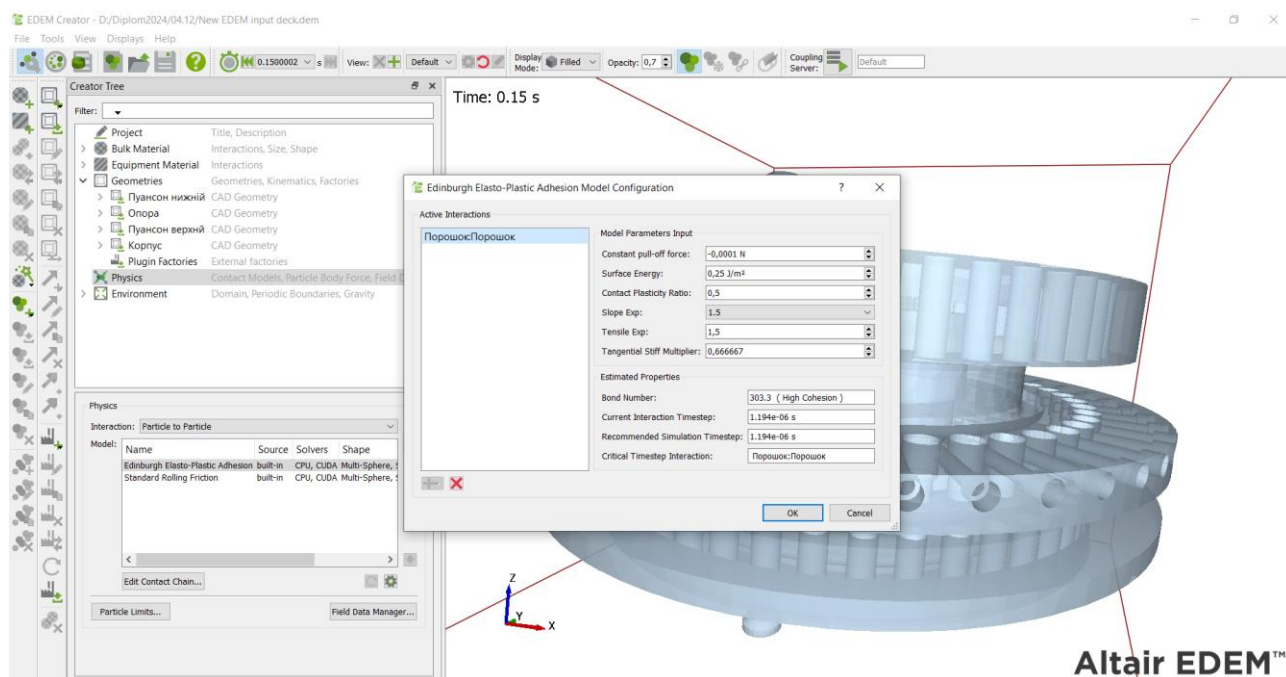


Рис. 2. 11. Конфігурація Единбурзької пружно-пластинчастої моделі адгезії  
У налаштуваннях для симуляції процесу задаємо крок часу на рівні 19% та  
розмір сітки 6R мін, як показано на рисунку 2.12.

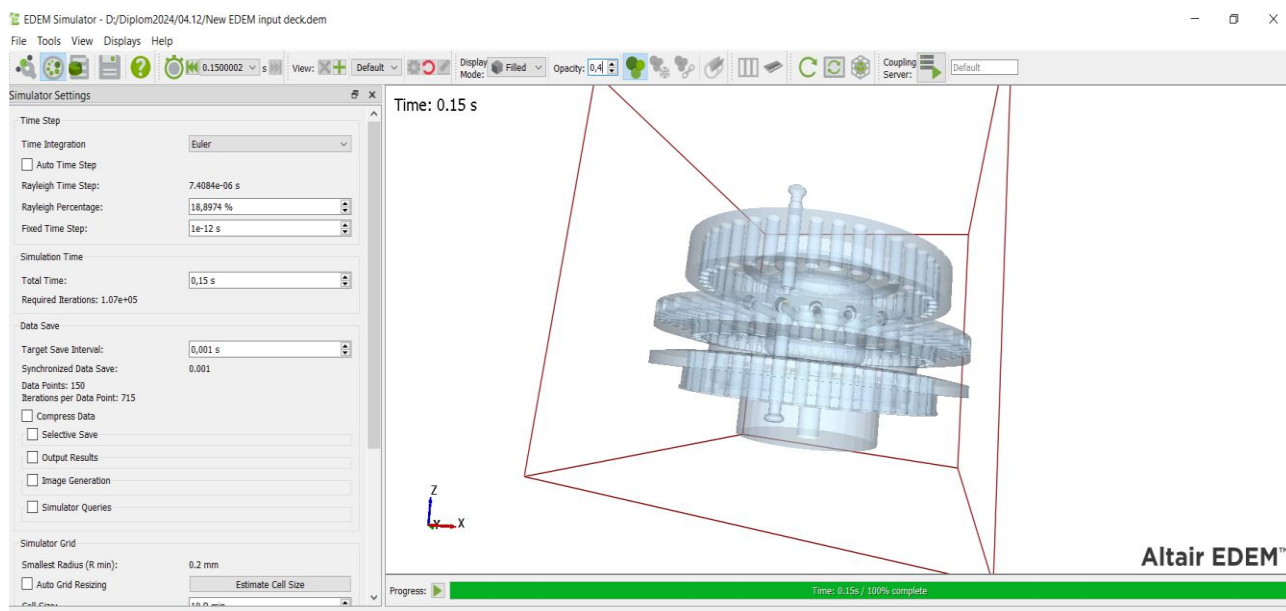


Рис. 2. 12. Симуляція процесу

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Імітаційне моделювання процесу наповнення та пресування таблетки

Імітаційне моделювання процесу пресування таблетки є важливим етапом для оцінки ефективності та якості цього процесу. Одним з ключових факторів, що визначають успішність пресування, є швидкість руху пуансона в роторі. Режими швидкостей впливають на рух порошку, його розподіл по матриці та рівномірність заповнення осередків матриць, що в свою чергу впливає на кінцеву якість таблеток.

Окрім швидкості руху пуансонів, важливою характеристикою є форма ротору. Різні геометрії та конструкції роторів можуть по-різному впливати на ефективність процесу, визначаючи рівень компресії та розподілу порошку в процесі його наповнення. Моделювання дозволяє оцінити, яка форма ротору краще відповідає поставленій задачі, забезпечуючи оптимальний розподіл матеріалу в матриці та знижуючи ймовірність утворення порушень у структурі таблетки.

Завдяки імітаційному моделюванню можна провести різноманітні варіації швидкостей руху пуансонів та форм таблеток, що дозволяє визначити найбільш ефективні параметри для досягнення бажаних результатів.

На рис.3.1 показана залежність «Normal Force» (нормальна сила) від часу в процесі формування таблетки у таблетпресі.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Дудко Д.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Результати досліджень</b>	<b>230639.KP.08.000 ПЗ</b>				
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/7</b>	

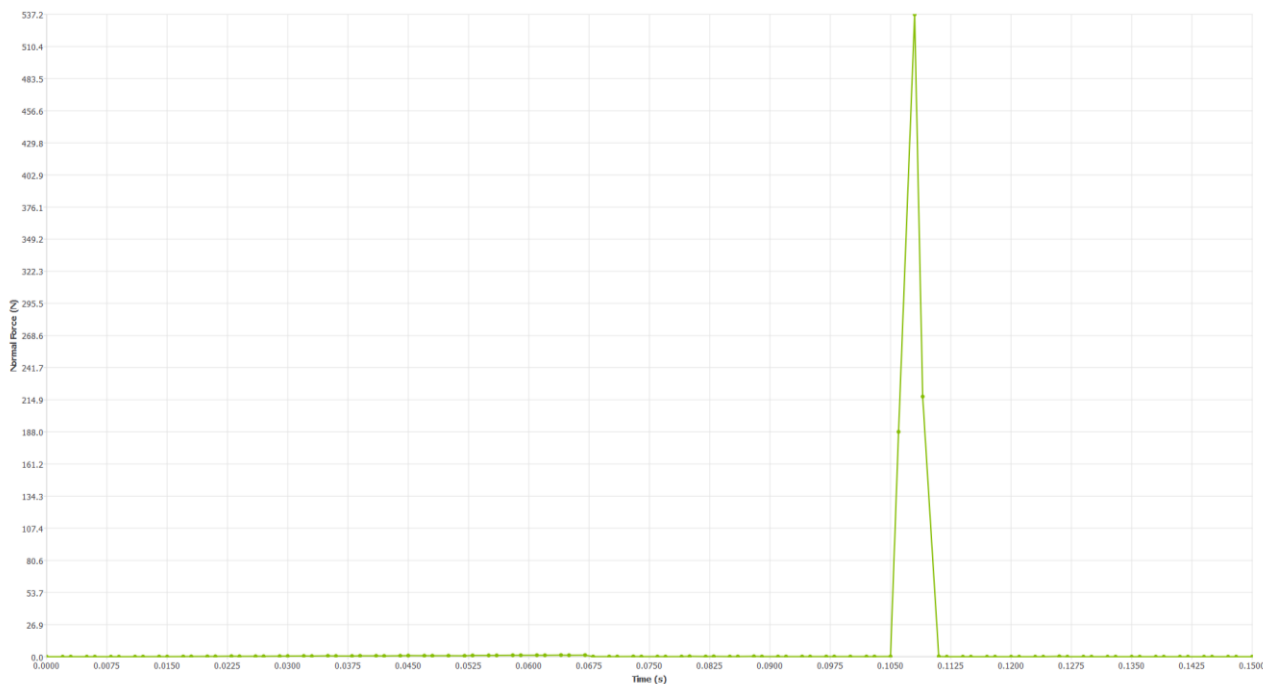


Рис. 3.1. Зміна сили, що діє по нормалі до маси, що пресується, в часі

Ця залежність демонструє зміну сили, що діє на гранульовану масу в одній комірці, протягом одного повного оберту ротора.

На початкових етапах (0-0,105 секунд ) нормальна сила залишається майже на нульовому рівні, що вказує на підготовчий етап, коли пуансони ще не прикладають значного тиску до порошкового матеріалу.

Близько 0,105 секунди спостерігається різкий стрибок нормальної сили до максимального значення (піку). Це відповідає моменту пресування, коли пуансони з силою стискають порошок, формуючи таблетку. Значення максимальної сили визначає якість пресування та рівномірність щільності таблетки. Після досягнутого піку (з моменту часу 0,1125 с) сила стрімко зменшується, повертаючись до близько нульових значень. Це відповідає завершенню етапу пресування та початку повернення пуансонів у вихідне положення.

Графік демонструє критичну фазу процесу формування таблетки, зокрема ефективність прикладання зусилля для забезпечення її стабільності та цілісності.

Рис. 3.2 відображає залежність Plastic Overlap (пластичне перекриття) від часу під час формування таблетки у таблетпресі.

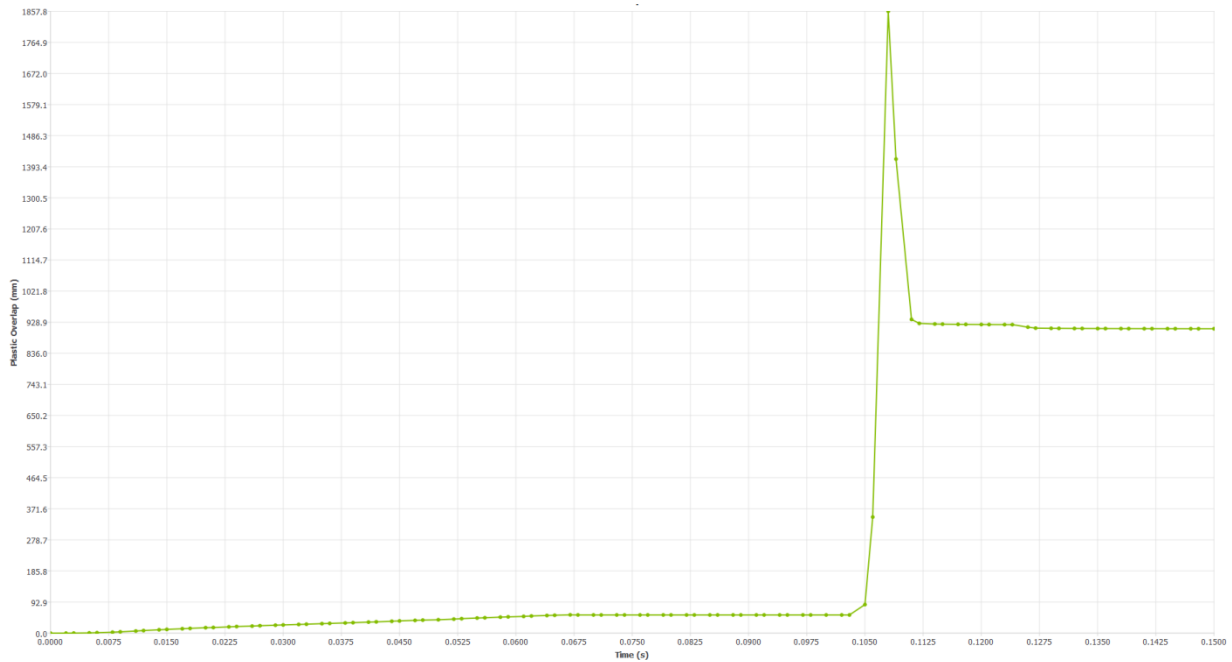


Рис.3.2. Зміна пластичного перекриття частинок протягом циклу пресування

Етапи формування таблетки:

- Початковий етап (0-0,105 секунд).

Опис процесу:

Пластичне перекриття поступово зростає, що свідчить про незначне стиснення порошкового матеріалу під впливом пуансонів. Це початкова стадія формування, де матеріал адаптується до зовнішнього тиску.

- Різде зростання (близько 0,105 секунд).

Опис процесу:

Спостерігається різкий стрибок пластичного перекриття. Це момент максимального тиску, коли пуансони інтенсивно стискають порошок, забезпечують ущільнення та формування таблетки. Такий стрибок характерний для переходу матеріалу в стан сильної пластичної деформації, необхідний для якісного формування таблетки.

- Стабілізація (після 0,112 секунд).

Опис процесу:

Після піку значення пластичного перекриття різко зменшується і стабілізується. Стабільність після піку свідчить про досягнення рівноваги між деформацією матеріалу та зусиллям таблетпресу. Це вказує на завершальний етап стискання, коли матеріал досягає максимальної щільності, а тиск зменшується через розвантаження пуансонів.

Ця залежність важлива для аналізу якості процесу формування таблеток, адже вона дозволяє контролювати пластичну деформацію матеріалу та уникати його руйнування.

На рис.3.3 представлено залежність швидкості (Velocity, м/с) від часу у процесі формування таблетки в таблетпресі.

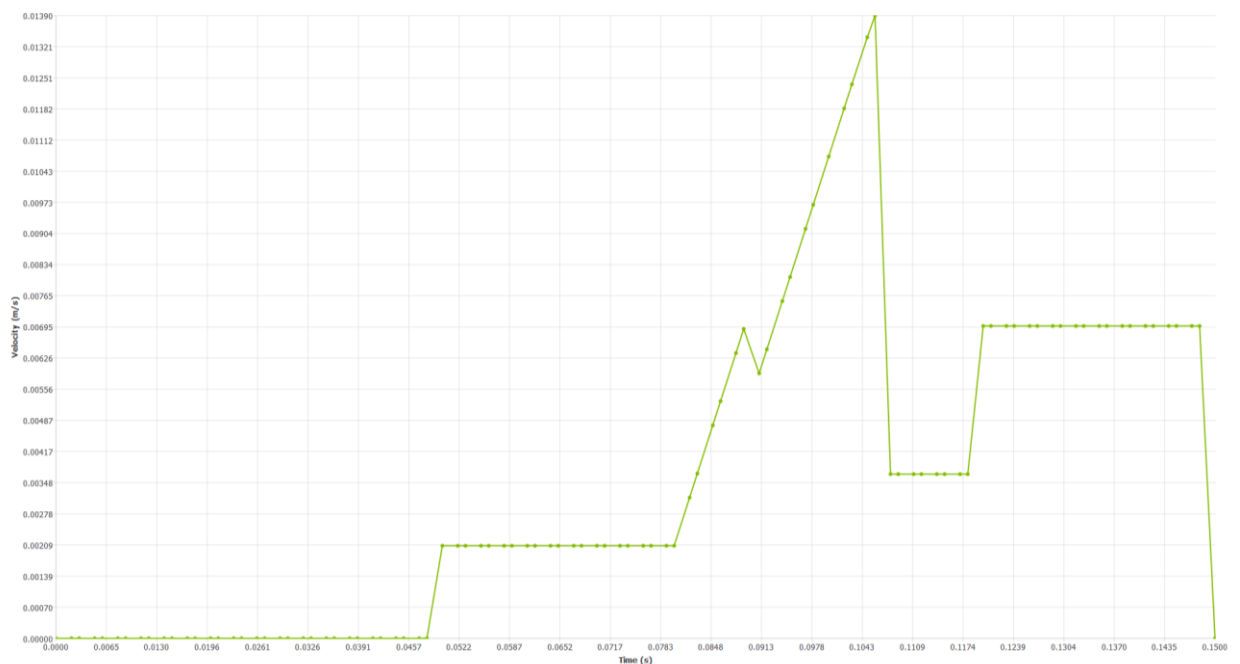


Рис. 3.3. Зміна в часі швидкості

Особливості графіка:

- Початковий етап (0-0,045 с).

Швидкість практично дорівнює нулю, що вказує на стадію встановлення пуансона в початкове положення та відсутність активного руху.

- Різкий стрибок швидкості (0,045-0,065с)

Відбувається стрімке зростання швидкості, яке відповідає початку стиснення порошку.

- Плато (0,065-0,091с).

Швидкість стабілізується на певному рівні, відбувається фіксація зусилля для формування таблетки при стабільному тиску.

- Другий стрибок і падіння (0,091-0,117 с).

Відбувається різке зростання швидкості, за яким слідує швидке падіння. Це може бути пов'язано з додатковим стисненням і вивільненням зусилля.

- Стабілізація (0,117-0,143 с).

Швидкість знову стає стабільною, ймовірно, підчас завершення формування таблетки.

- Кінець процесу (0,143-0,150 с).

Швидкість падає до нуля, що відповідає зупинці руху після завершення циклу.

Таким чином, динаміка графіка відображає етапи роботи таблетпреса: початковий рух, активне стиснення порошку для формування таблетки, фіксацію сили тиску та завершення процесу. Різкі зміни швидкості можуть свідчити про зміну фаз пресування або регулювання зусиль преса.

На рис.3.4 представлено залежність кількості контактів (Number of Contacts) між частинками порошку від часу, під час процесу подачі порошку до матриці таблетпреса і початку його формувань.

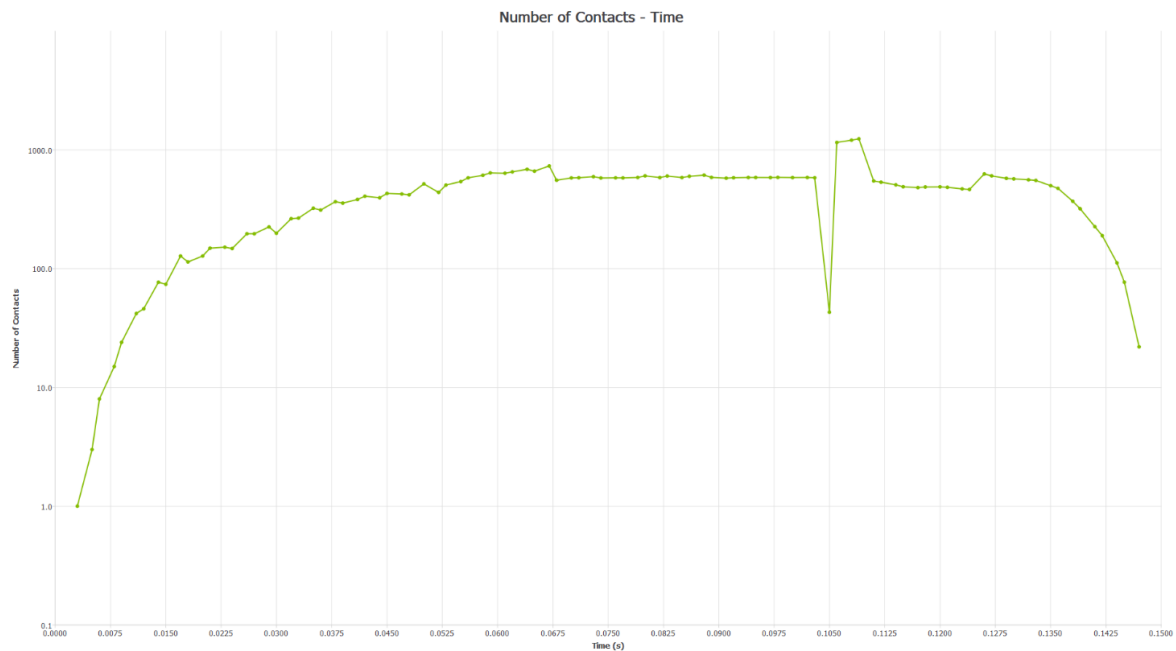


Рис. 3.4. Залежність кількості контактів між частинками

Особливості графіка:

- Початковий етап (0-0,002 с).

Кількість контактів між частинками швидко зростає з одиничного значень до сотень. Це відображає процес заповнення матриці порошком, коли частинки починають контактувати одна з одною через ущільнення під дією механічного подавання до обмеженого простору матриці.

- Фаза стабілізації контактів (0,02-0,10с).

Після початкового зростання кількості контактів стабілізується, це свідчить про рівномірне розподілення порошку в матриці, коли вже заповнили простір та утворили щільний шар.

- Різкий спад контактів (0,10-0,11с).

Помітний різкий спад контактів відповідає початку руху верхнього пуансона преса, який змінює розташування частинок або створює проміжок і їх контактах перед основним стисканням.

- Повернення до стабільного стану (0,11-0,14 с).

Кількість контактів повертається до високого рівня, що відображає процес стиснення порошку в матриці.

- Зниження кількості контактів (0,14-0,15 с).

У кінцевій фазі кількість контактів поступово зменшується, що відповідає розвантаженню матриці після завершення стиснення або вивільненню сформованої таблетки.

## РОЗДІЛ 4. Розрахунок обладнання для пресування таблеток

### 4.1. Технологічний розрахунок

Співвідношення кінематичного циклу  $T$  до кількості пуансонів  $m$  вказує час роботи одного циклу  $T_p$ , що визначає розрахункову продуктивність пресу:

$$T_p = \frac{T}{m}$$

Кількість періодів робочих операцій кінематичного циклу (дозування, пресування, штовхання, скидування):

$$T = t_{np} + t_{виш} + t_{скид} + t_{доз} + \sum t_{хол}$$

Мінімальний час в кінематичному циклі, дає досить високу продуктивність на виході.

Розміри роторної машини визначаються через ділильний радіус ротора  $R$ , кількість пуансонів  $m$ , що розташовані на цьому радіусі, а також кількість взаємодій пуансонів за один оберт ротора. Задачу можна вирішити двома способами: графічним або розрахунковим. У графічному методі спочатку будують розгортку ротора на ділильному колі, використовуючи формули для переміщення робочих елементів. Потім на розгортці розташовуються дозуючі пристрої та інші механізми для таблетування порошку. Під час розрахунку довжини ділянки, на кожній з них розміщується лише одна пара прес-інструментів.

Виходячи з отриманої довжини  $l$  розгортки, можна визначити радіус ротора за допомогою відповідної формули розрахунку довжини ділянки, на одній розміщується тільки одна пара прес-інструментів.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Дудко Д.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Розрахунок обладнання для пресування таблеток</b>	<b>230639.KP.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/12</b>

При розрахованій довжині  $l$  розгортки радіус ротора становить:

$$R = \frac{l}{2\pi} = \frac{1,288}{2 * 3,14} = 0,205 \text{ м}$$

Коли задано внутрішній діаметр  $d$  матриці (діаметр таблетки) і тиск пресування, розраховуються матрицю та пуансон (верхній та нижній), вибирається форма (з технічних характеристик) пуансонів. Далі визначається крок матриць по ділильному колу ротора. Конструкція повзуна визначається:

$$S_0 = (1,5 \div 3,5)d,$$

$d$  – максимальний діаметр таблетки, що пресується машиною.

$$S_0 = 2,3 * 0,013 = 0,03 \text{ м}$$

Кількість прес-інструментів:

$$m = \frac{2 * \pi * R}{S_0} = \frac{2 * 3,14 * 0,235}{0,03} = 42,93 \approx 43$$

За допомогою лінійної швидкості ротора знаходимо його кутову швидкість:

$$\omega_1 = \frac{v}{R} = \frac{1,072}{0,205} = 5,23 \text{ рад/с}^{-1} = 300 \text{ град/с}$$

$v$  – лінійна швидкість ротора по ділильному радіусу, м/с.

Отримавши кутову швидкості ротора провидиться кінематичний аналіз таблетпреса, визначається максимальний час, який відводиться на дозування і швидкість виштовхування.

Рух пуансона нижнього ряду в процесі проходження прижимного ролика пресування:

$$S_{np} = S_1 + S_2,$$

і час пресування відповідно:

$$t_{np} = t_1 + t_2$$

Вертикальне переміщення на ділянці I:

$$S_{1,2} = r_p \cdot (1 - \cos \gamma_{1,2})$$

де  $\gamma_1$  — кут тиску на прямолінійній ділянці копіра.

$$S_1 = 0,205 \cdot (1 - \cos 7,6^\circ) = 0,0018 \text{ м}$$

Вертикальне переміщення на ділянці II:

$$S_2 = 0,205 \cdot (1 - \cos 7,6^\circ) = 0,0018 \text{ м}$$

Час пресування пари верхніх і нижніх пуансонів :

$$t_{\text{пр}} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\omega} = \frac{7,6^\circ + 7,6^\circ}{300} = 0,051 \text{ с}$$

Радіус кривизни теоретичного профілю ролика пресування:

$$r = \frac{S_{\text{пр}}}{2 * \sin^2 \frac{\gamma}{2}} = \frac{0,036}{2 * \sin^2 \frac{7,6^\circ}{2}} = 4,1 \text{ м}$$

У цьому типі машини застосовується копір прямолінійного типу. Кут тиску та вертикальна швидкість пуансонів на стадії виштовхування таблетки, як правило, вищі, ніж на етапі пресування, оскільки копії мають компактні профілі, що дозволяє ефективно здійснювати процес у задані терміни.

Швидкість штовхування таблетки з матриці:

$$\begin{aligned} v_{\text{виш}} &= \frac{2R\pi \cdot \gamma_{\text{виш}}}{360^\circ} \cdot \text{tg} \gamma_{\text{виш}} \cdot \frac{\omega}{360^\circ} = \frac{2 \cdot 0,205 \cdot 3,14 \cdot 17,25^\circ}{360^\circ} \cdot \text{tg} 15,8^\circ \cdot \frac{300}{360^\circ} \\ &= 0,18 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Час, що затрачається на виштовхування таблетки:

$$t_{\text{виш}} = \frac{\gamma_{\text{виш}}}{\omega} = \frac{19,2^\circ}{300} = 0,064 \text{ с}$$

Час, необхідний для скидання таблетки з стола ротора, розраховується за умови, що кутова швидкість ротора дорівнює швидкості на ділільному радіусі ротора поблизу краю стола. Час скидання визначається за формулою:

$$t_{скид} = \frac{2\Delta R}{v \cdot ctg(15,8^\circ)} = \frac{2 \cdot 0,205}{1,072 \cdot ctg(15,8^\circ)} = 0,103 \text{ с}$$

На підставі роботи існуючих машин визначається час дозування. При збільшенні часу на дозування зменшується час циклу, але погрішність маси таблетки зменшується.

$$t_{доз} = 0,276 \text{ с}$$

Загальний час циклу  $T$ :

$$T = 0,051 + 0,051 + 0,056 + 0,103 + 0,276 + 0,577 = 1,2 \text{ с}$$

Кут повороту ротора, що відповідає кожній операції (результат на рис.4.1):

$$\alpha_i = \frac{t_i}{T} \cdot 360^\circ$$

$$\alpha_{np1} = \frac{0,051}{1,2} \cdot 360^\circ = 15,2^\circ$$

$$\alpha_{np2} = \frac{0,051}{1,2} \cdot 360^\circ = 15,2^\circ$$

$$\alpha_{виш} = \frac{0,056}{1,2} \cdot 360^\circ = 17,25^\circ$$

$$\alpha_{скид} = \frac{0,103}{1,2} \cdot 360^\circ = 31^\circ$$

$$\alpha_{доз} = \frac{0,276}{1,2} \cdot 360^\circ = 83^\circ$$

$$\alpha_{дон} = \frac{0,577}{1,2} \cdot 360^\circ = 173,19^\circ$$

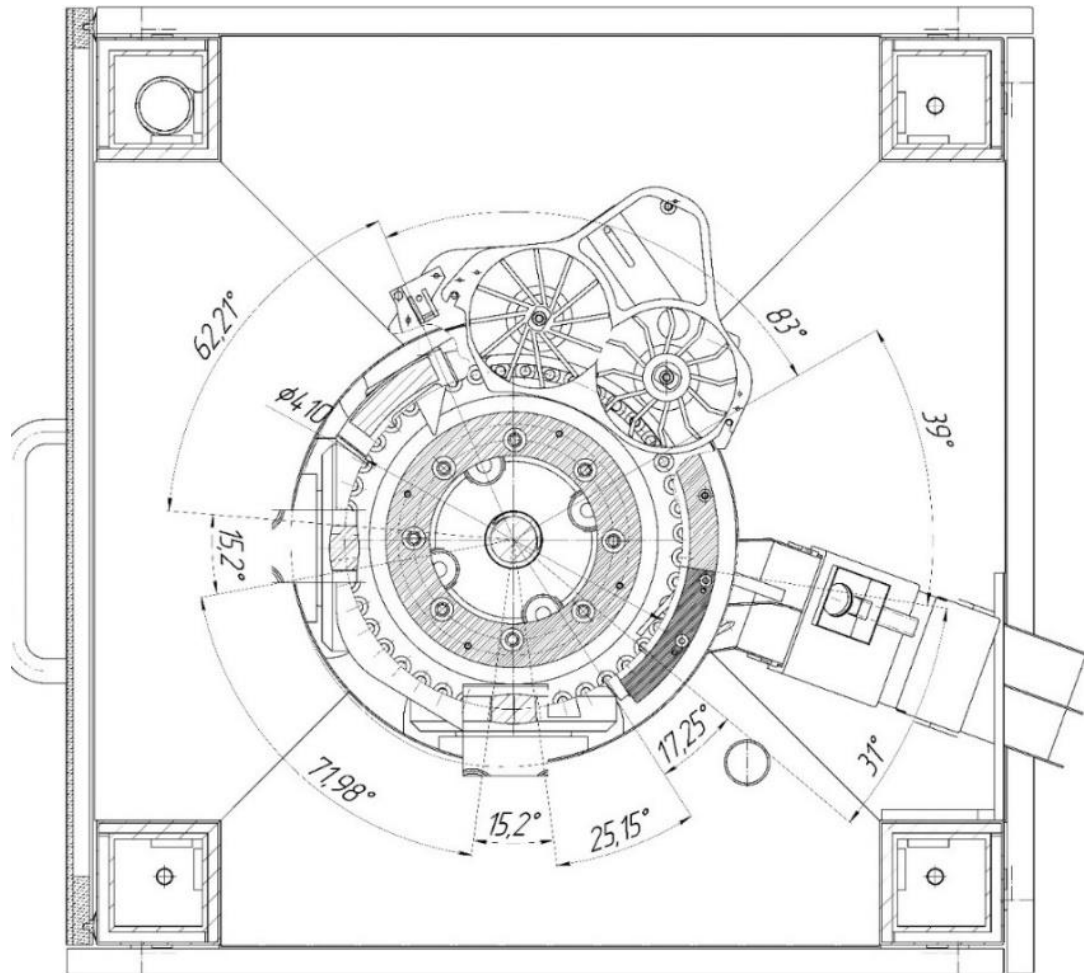


Рис 4.1. Кути на проходження кожних операцій

### Розрахунок продуктивності

Визначення забезпеченості плану виробництва таблетковим пресом Fette 2200i.

Визначаємо кількість виготовлених за рік таблеток.

Частота обертання ротора  $v = 77,5$  об/хв. Прес-інструментів  $m = 43$ .

Продуктивність  $Q_2$  машини в годину роботи (шт./год.):

$$Q_2 = 60 * v * m * z$$

$v$  – частота обертання ротора;  $m$  – кількість прес-інструментів;  $z$  – кількість потоків.

$$Q_2 = 60 * 77,5 * 43 * 1 = 20000 \text{ табл./год.}$$

Продуктивність  $Q_p$  машини за рік:

$$Q_p = 0,75 * n * t * Q_2 = 0,75 * 232 * 16 * 20000 = 359136 \text{ тис. табл./рік.}$$

Де  $n$  – кількість робочих днів на рік;  $t$  – кількість робочих годин на добу.

Масова продуктивність  $Q_M$  машини:

$$Q_M = Q_2 * b * \frac{1}{1000} = 200\,000 * 0,3 * \frac{1}{1000} = 60 \text{ кг/год},$$

де  $b$  – маса таблетки, г.

Об'ємна продуктивність  $Q_{об}$  преса:

$$Q_{об} = 7,85 \cdot 10^{-4} * H * d^2 * Q_2$$

де  $H$  – висота заповнення матриць, мм;  $d$  – діаметр матриці в роторі, мм.

$$Q_{об} = 7,85 * 10^{-4} * 15 * 12^2 * 129\,000 = 218\,732 \text{ мм}^3 / \text{год}$$

Продуктивність машини з урахуванням відбракованих таблеток:

$$Q = Q_p - Q_p * 0,03 = 359136 - 359136 * 0,03 = 348362 \text{ тис. табл./рік}$$

Згідно з проведеними розрахунками, можна зробити висновок, що річна продуктивність майже відповідає плану виробництва на рік. Для досягнення повного виконання плану слід вжити заходів щодо зниження відсотка браку таблеток, бажано до 2%.

#### **4.2. Розміри таблеток і визначення зусиль, що діють на робочі органи**

Для визначення притискного зусилля, необхідного для отримання таблетки з діаметром  $d$  та висотою  $h$ , спочатку обчислюємо тиск, що діє на верхній пуансон, використовуючи наступну залежність:

$$G = \frac{\pi d^2}{4} * h * \gamma$$

де  $\gamma$  – питома вага таблетки,

знаходимо

$$\gamma = \frac{4 * G}{\pi * d^2 * h} = \frac{4 * 0,68 * 10^{-3}}{3,14 * 0,012^2 * 0,003} \approx 2000 \text{ кг/м}^3$$

Вибираємо тиск на верхньому пуансоні в залежності від питомої ваги, що дорівнює  $q_s \approx 4000 \text{ кгс/см}^2 \approx 392,26 \text{ МН/м}^2$ .

При двосторонньому пресуванні тиск на верхню та нижню поверхні таблетки є однаковим:

$$P_в = P_н$$

Під час пресування грануляту виникає бічний тиск на стінки матриці, який спрямований перпендикулярно до основного пресуючого зусилля. Коефіцієнтом бічного тиску  $\xi$ :

$$\xi = \frac{q_{bz}}{q_z}$$

де  $q_{bz}$  – боковий тиск в точці  $z$ ;

$q_z$  – тиск пресування в точці  $z$ .

$$\xi = 0,4$$

Звідси  $q_b = \xi \cdot q$

Маємо бічний тиск на матрицю:

$$q_б = 0,4 \cdot 392,26 = 156,904 \text{ МН/м}^2$$

У нейтральному шарі, який проходить через середину висоти таблетки, тиск буде найменшим. Маємо, що тиск на верхніх пуансонах:

$$q_в = q'_н + 2 \frac{h}{d} * f * q_б$$

де  $q'_н$  – тиск у нейтральному шарі,  $h$  – висота таблетки,  $d$  – діаметр таблетки ( $d=12 \text{ мм}$ ),  $f$  – коефіцієнт тертя (середнє значення).

Замінюємо  $f \cdot q_б$  на  $\tau_T$ :

$$q_в = q'_н + 2 \frac{h}{d} * \tau_T * q_б$$

Приймаємо  $\tau_T = 2700 \text{ кг/см}^2 = 265 \cdot 10^6 \text{ Па}$

$$q'_н = 4000 - 2 * \frac{0,3}{0,012} * 260 = 500 \text{ кгс/см}^2 = 49,03 \text{ МН/м}^2$$

Зусилля пресування, що передається верхнім пуансоном:

$$P_{\epsilon} = \frac{\pi * d^2}{4} * q_{\epsilon} = \frac{3,14 * 0,012^2}{4} * 392,26 * 10^6 = 60383 \text{ Н} = 60 \text{ кН}$$

$$P_{\epsilon} = P_H = 60 \text{ кН}$$

Перевіряємо розміри таблеток, які пресуємо машиною:

$$d = \sqrt{\frac{4 * P_B}{\pi * q_B}} = \sqrt{\frac{4 * 60383}{3,14 * 392,26 * 10^6}} = 0,014 \text{ м}$$

$$h = \frac{q_B}{2 * \tau_T} * \sqrt{\frac{P_B}{3 * \pi * q_B}} = \frac{392,26 * 10^6}{2 * 265 * 10^6} * \sqrt{\frac{60383}{3 * 3,14 * 392,26 * 10^6}} = 0,003 \text{ м}$$

Дане зусилля підходить при виконанні пресування таблеток таблетпресом Fette 2200i.

Зусилля для виштовхування таблетки:

$$P_{\text{виш}} = \pi * d * h * \tau = 3,14 * 0,014 * 0,003 * 10 * 10^6 = 1319 \text{ Н} = 1,3 \text{ кН}$$

### 4.3. Кінематичні розрахунки

Кутова швидкість відносного обертання пуансонів у роторі визначається як:

$$v_1 = \omega_1 * R$$

де  $\omega_1$  – кутова швидкість обертання ротора преса;  $R$  – дільний радіус ротора.

$$v_1 = 5,23 * 0,205 = 1,072 \text{ м/с}$$

Прискорення повзуна визначається як зміна його швидкості за одиницю часу, яке можна обчислити за допомогою відповідної формули, що враховує сили, що діють на нього, та його масу:

$$a_1 = \omega_1^2 * R = 5,23^2 * 0,205 = 5,607 \text{ м/с}^2$$

Оскільки вектори кутової швидкості переносу та лінійної швидкості направлені паралельно, коріолісове прискорення не спостерігається.

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + v_{21}^2},$$

$$a_2 = \sqrt{a_1^2 + a_{21}^2}.$$

Кут тиску на ділянці підйому пуансона є змінною величиною, оскільки він залежить від взаємодії між пуансоном і порошковим матеріалом під час процесу пресування. Для його розрахунку використовується формула, яка враховує геометричні та фізичні характеристики преса, а також специфіку розподілу сили тиску на різних етапах руху пуансона:

$$\gamma = \arcsin \frac{R_a}{r}$$

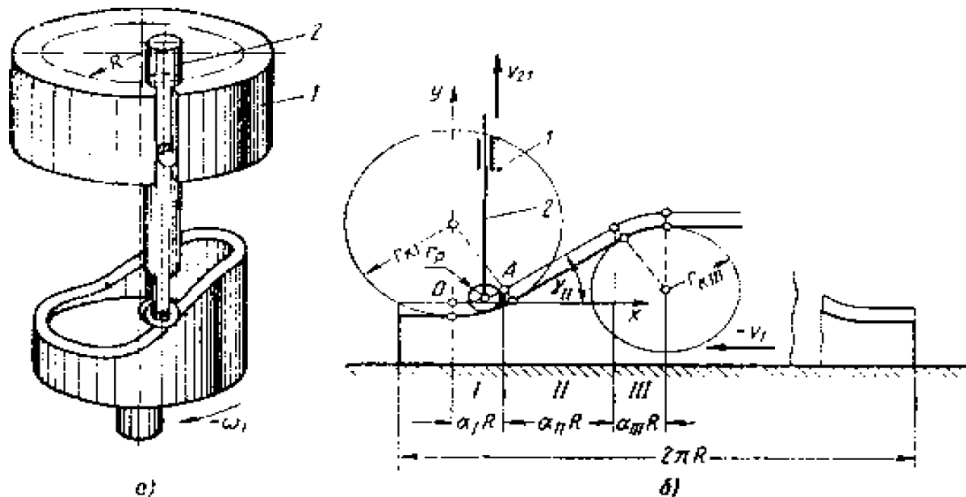


Рис. 4.2. Кінематична схема кулачкового механізму

Швидкість та прискорення пуансона в будь-якій точці ділянки підйому можуть бути виражені через кут тиску  $\gamma$ :

$$v_{21} = \omega_1 * R * \operatorname{tg} \gamma$$

$$a_{21} = \omega_1^2 * \frac{R^2}{r * \cos^3 \gamma}$$

де  $\gamma$  – кут тиску;  $r$  – радіус ролика пресування.

$$v_{21} = 5,23 * 0,205 * \operatorname{tg} 20^\circ = 0,39 \text{ м/с}$$

$$a_{21} = 5,23^2 * \frac{0,205^2}{0,125 * \cos^3 20^\circ} = 11,08 \text{ м/с}^2$$

На ділянках 1 та 2 пряма відповідає теоретичному профілю кулачка по ділянці 2, тому:

$$\sin \gamma_A = \sin \gamma_{II} = \frac{R * a_I}{r}$$

Отже,

$$a_I = \frac{r}{R} * \sin \gamma_{II}$$

де  $\gamma$  – кут тиску на ділянці 2.

$$a_1 = \frac{0,125 * \sin 20^\circ}{0,205} = 0,208$$

Відносна швидкість при переміщенні пуансона в роторі на початку ділянки 1 ( $a = 0$ )

$$(v_{21})_0 = 0$$

Швидкість в кінці ділянки 1 ( $a = a_1$ )

$$(v_{21})_A = \omega_1 * R * \operatorname{tg} \gamma_A = 5,23 * 0,205 * \operatorname{tg} 20^\circ = 0,39 \text{ м/с}$$

де  $\operatorname{tg} \gamma_A = \operatorname{tg} \gamma_{II}$

На початку ділянки 1 відносне прискорення при вертикальному переміщенні пуансона буде:

$$(a_{21})_0 = \omega_1^2 * \frac{R^2}{r} = 5,23^2 * \frac{0,205^2}{0,125} = 9,2 \text{ м/с}^2$$

Прискорення в кінці ділянки 1:

$$(a_{21})_A = \omega_1^2 * \frac{R^2}{r * \cos^3 \gamma_{II}} = 5,23^2 * \frac{0,205^2}{0,125 * \cos^3 20^\circ} = 9,79 \text{ м/с}^2$$

Швидкість в точці дотику на ділянці 2:

$$v_{21} = \omega_1 * R * \operatorname{tg} \gamma_{II} = 5,23 * 0,205 * \operatorname{tg} 20^\circ \cong 0,39 \text{ м/с}$$

В точці А присутній легкий удар, тому перевіряємо правильність розрахунку:

$$(a_{21})_A = \frac{(a_{21})_A}{(a_{21})_0} \leq 1,54 \Rightarrow \frac{9,2}{9,79} = 0,94 \leq 1,54$$

Пресування в таблетковому пресі за допомогою роликів відбувається при набіганні головки пуансона при обертанні ротора (Рис 4.3.)

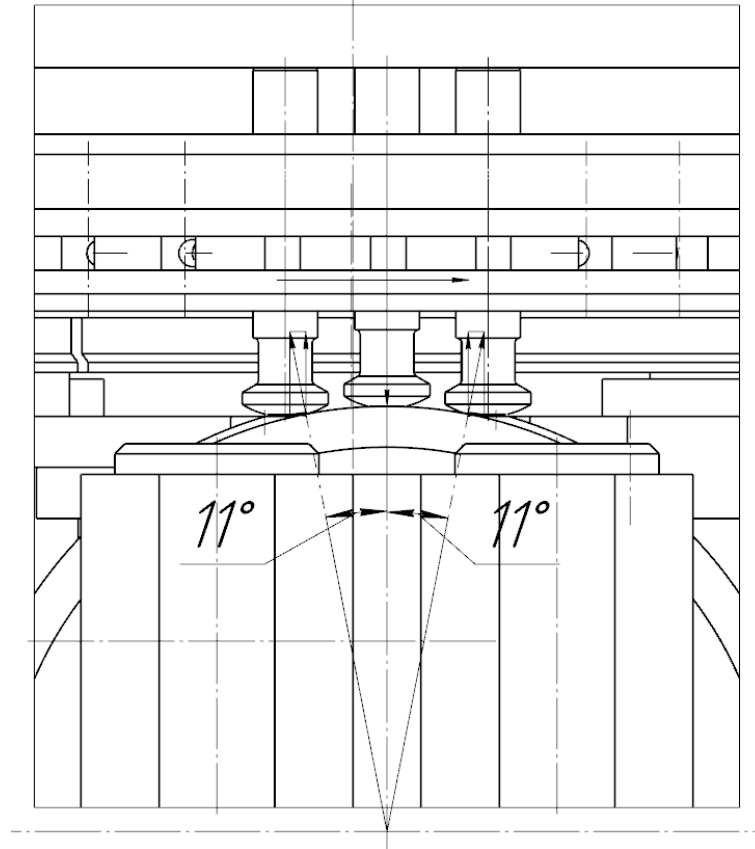


Рис. 4.3. Схема діючих сил.

де  $P$  – сила пресування,  $N$  – сила тяжіння,  $N_\tau$  – дотична.

#### 4.4. Механічні розрахунки

##### *Розрахунок прес-інструменту*

Комплект пресувального інструменту для таблетпресу включає матриці та верхні і нижні пуансони. Матриці фіксуються за допомогою індивідуального гвинта на столі ротора. Оскільки пуансони та матриці працюють під дією динамічних навантажень, їх виготовляють зі зносостійких матеріалів, що володіють високою в'язкістю та міцністю серцевини. Матриці часто виробляються з сталі У8А або легованих сталей, таких як ХВГ, ХГ, Х12, з твердістю 59–63 HRC, тоді як твердість пуансонів становить 55–59 HRC.

На знос інструментів і роботу машини впливає правильний вибір допусків, розмірів посадок та класу чистоти обробки. Пуансони виготовляються з точністю класу 2. На матрицях передбачають фаски глибиною 1–2 мм.

Для розрахунку матриця розглядається як труба з товстими стінками, на які діє тиск  $p$ . Максимальний бічний тиск  $q_b$  приймається як величина внутрішнього тиску.

Тангенціальне напруження в стінках матриці можна обчислити за формулою:

$$\sigma_i = p * \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} = 60 * \frac{0,024^2 + 0,012^2}{0,024^2 - 0,012^2} = 100 \text{ кН}$$

Радіальне напруження:

$$\sigma_r = -p$$

$$\sigma_r = -60 \text{ кН}$$

Еквівалентне напруження становить:

$$\sigma_{екв} = P * \frac{\sqrt{3D^4 + d^4}}{D^2 - d^2} = 60 * \frac{\sqrt{3 * 0,024^4 + 0,012^4}}{0,024^2 - 0,012^2} = 69 \text{ кПа}$$

і не перевищує допустимих напружень.

Матриці та пуансони виготовляються з одної марки сталі, проте загартовування пуансонів виконується на твердість HRC 50—55, твердість матриці досягається до рівня HRC 56—60.

Напруження стиску по осі пуансона буде:

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{60 * 10^3}{283,5 * 10^{-6}} = 212 \text{ МПа}$$

де  $F$  — площа поперечного перерізу пуансона:

$$F = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{3,14 * 0,019^2}{4} = 283,5 * 10^{-6} \text{ м}^2$$

## РОЗДІЛ 5. Застосування результатів дослідження

**Провівши моделювання маємо наступні результати, які можна рекомендувати для оптимізації виробничого процесу.**

### Оптимізація технологічних параметрів пресування

Дослідження надають можливість точно визначити оптимальні параметри процесу пресування, такі як:

тиск на пуансони – визначення величини тиску, який необхідно застосувати до порошкової суміші для досягнення необхідної щільності таблетки, без ризику її деформації або руйнування;

швидкість обертання ротора – оптимальний вибір швидкості обертання ротора забезпечує ефективне наповнення матриць порошком і забезпечує стабільність процесу пресування;

час пресування – точний розрахунок часу, необхідного для формування таблетки, дозволяє мінімізувати кількість дефектів і знизити навантаження на обладнання;

частота взаємодій пуансонів – для оптимізації розподілу порошку і забезпечення рівномірного тиску на кожну таблетку.

Ці параметри мають вирішальне значення для підвищення ефективності роботи преса і досягнення стабільної продуктивності на рівні 200 000 таблеток на годину.

### Поліпшення якості продукції

Одним із основних аспектів застосування результатів досліджень є забезпечення стабільної якості таблеток, що виробляються. Враховуючи такі фактори:

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Дудко Д.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Застосування результатів дослідження</b>	<b>230639.KP.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/4</b>

Однорідність маси таблетки – дослідження дозволяють забезпечити правильний розподіл порошку по всьому об'єму матриці, що мінімізує варіативність маси таблеток.

Твердість таблеток – в результаті оптимізації параметрів пресування досягається бажана твердість таблеток, що забезпечує їх механічну міцність, безпечність при транспортуванні та споживанні;

зовнішній вигляд таблеток – дослідження допомагають мінімізувати дефекти, такі як тріщини, нерівності та деформації, що можуть виникати через неправильні умови пресування.

### **Зменшення відсотка браку**

Одним із важливих аспектів є зниження відсотка браку, що може виникати через неправильний вибір параметрів пресування. Ретельно обґрунтовані параметри дозволяють:

- Мінімізувати деформацію або розтріскування таблеток під час пресування.
- Забезпечити точність дозування сировини, що зменшує ймовірність отримання таблеток з невідповідною масою.
- Поліпшити роботу системи управління пресом, автоматизуючи процеси виявлення дефектів і корекції налаштувань.

### **Підвищення ефективності та надійності обладнання**

- Ретельне дослідження параметрів роботи роторної машини дозволяє підвищити надійність пресувального обладнання, зменшити знос інструментів і продовжити термін їх експлуатації:
- Оптимізація сили пресування дозволяє зменшити навантаження на матриці та пуансони, що знижує їх знос і подовжує термін служби.
- Правильний вибір допусків і розмірів посадок забезпечує точність

- взаємодії між пуансонами та матрицями, що сприяє стабільній роботі преса і зменшує ймовірність поломок.
- Клас чистоти обробки визначає рівень точності виготовлення прес-інструментів, що є критичним для забезпечення тривалої і безперебійної роботи обладнання.

### **Економія матеріалів та енергії**

- Оптимізуючи параметри пресування, можна значно знизити витрати на матеріали і енергію:
- зменшення витрат порошку, що досягається точністю дозування та рівномірне заповнення матриць, що знижує кількість відходів;
- енергоефективність яка дає можливість вибору оптимальної швидкості обертання ротора і тиску зменшує споживання енергії, що є важливим для великих виробничих обсягів.

### **Інтеграція з автоматизованими системами управління**

Результати досліджень можна інтегрувати в системи автоматизації виробництва:

- Автоматичне регулювання параметрів процесу в реальному часі забезпечує постійну стабільність процесу пресування.
- Підключення датчиків контролю якості та систем моніторингу дозволяє оперативно коригувати параметри для досягнення необхідної якості продукції.

### **Вплив на процеси обслуговування та технічне обслуговування**

Завдяки точному налаштуванню параметрів процесу можна зменшити час, необхідний для обслуговування та ремонту обладнання:

- Зменшення частоти поломок і зносу інструментів дозволяє знижувати витрати на технічне обслуговування.
- Чітке планування заміни частин прес-інструментів і вдосконалення системи обслуговування підвищує ефективність виробництва.

Результати досліджень можуть бути використані для розробки нових, більш зносостійких матеріалів для пуансонів і матриць, що здатні витримувати високі навантаження під час пресування:

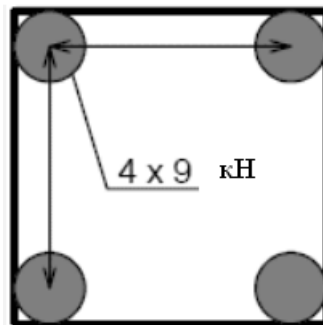
- Використання нових матеріалів з покращеними властивостями забезпечить довший термін служби інструментів і знизить витрати на їх заміну.

## 6. МОНТАЖ, РЕМОНТ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ

### 6.1. Транспортування, навантаження та вивантаження

Упаковка захищена від погодних впливів та придатна для транспортування морем. Транспортний контейнер із комірками має маркування, що відповідає DIN 55 402. При виконанні робіт, пов'язаних з транспортуванням, навантаженням та вивантаженням, потрібно переконатися, що сталеві або прядив'яні канати, які застосовуються, мають достатню несучу здатність. Канати кріпляться у певних точках, промаркованих на контейнері із комірками. При транспортуванні контейнера з комірками не слід прикладати силу до кутів контейнера.

Детальна інформація про навантаження (фундаменти). Установка 2200і створює рівномірне навантаження на фундамент, яке приблизно дорівнює 35 кН. Центр тяжіння знаходиться приблизно у центрі преса. Це призводить до того, що навантаження на кожну опору становить 5 кН.

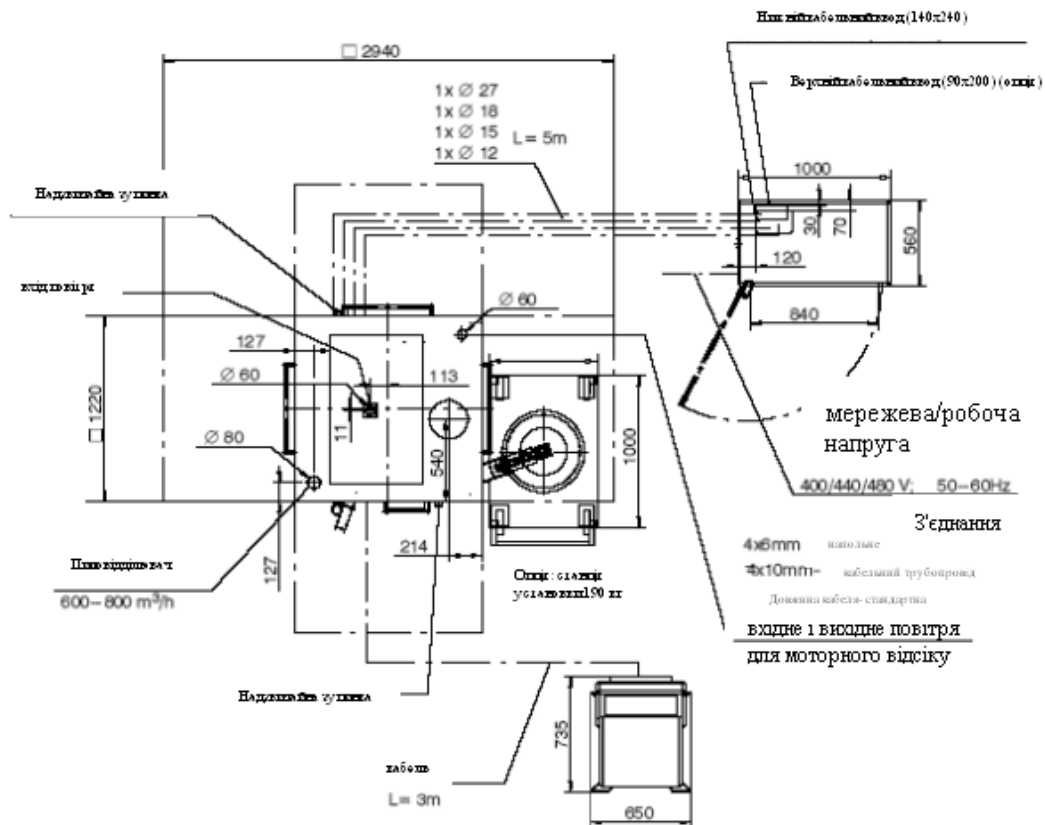


Діаметр опори антивібраційної прокладки становить приблизно 75 мм

Габаритні розміри установки 2200і становлять 1220×1220 мм. Пересувний термінал управління може бути встановлений у будь-якій позиції. Необхідна для терміналу управління номінальна площа поверхні становить приблизно 753 мм×650мм.

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Чепеляк О.М.	Вид документа <b>Пояснювальна записка</b>		Статус документа		
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Дудко Д.С.	Назва, додаткова назва <b>Монтаж, ремонт, експлуатація</b>	230639.KP.08.000 ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/11





## 6.2. Розпакування і монтаж

Насамперед, відкрутіть і зніміть дві торцеві стінки контейнера з комірками. Вони кріпляться по краях за допомогою гвинтів з шестигранною головкою і можуть бути демонтовані з використанням звичайних гайкових ключів.

Після цього, відгвинтіть і зніміть кришку контейнера з комірками.

Потім від днища контейнера з комірками відкручуються і знімаються бічні стінки. Вони кріпляться до днища контейнера з комірками за допомогою болтів з квадратним підголовком і повинні віджиматися з внутрішнього боку. Відокремте прес від днища контейнера з комірками, відгвинтивши і видаливши 4 кріпильні болти по кутах установки.



вирівняний для процесу виробництва, переважно за допомогою спиртового рівня, що додається до матричного тримача.

Після закінчення вирівнювання необхідно знову ввернути стопорні гайки.

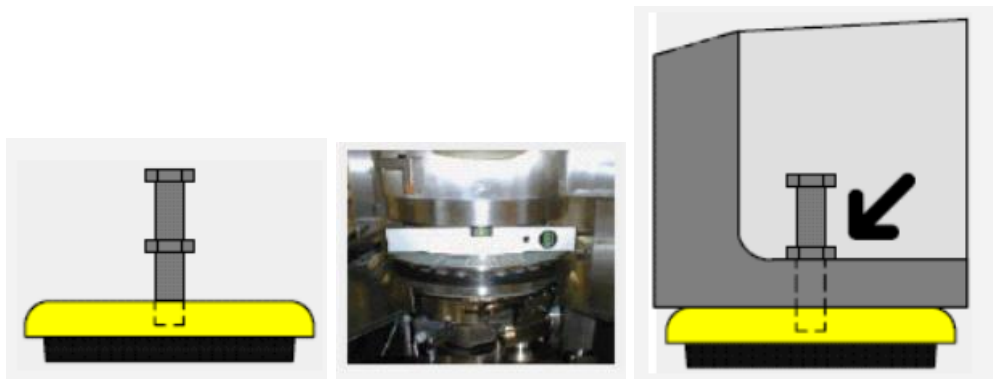


Рис. 7.2. Монтаж установки на опорах

Після транспортування, слід перевірити, щоб з'єднання та панелі захисного заземлення (33) у розподільчому щиті та установці були міцно приєднані.

Після розпакування необхідно перевірити все постачання на наявність будь-яких можливих ознак ушкодження під час транспортування; в разі виявлення будь-якого пошкодження, про це необхідно негайно повідомити транспортну компанію, відповідальну за здійснення постачання.

Крім того, необхідно впевнитись у цілісності постачання, провівши порівняння з відомістю постачання.

## 6.2. Очищення

До транспортування різні вузли та деталі зберігаються в законсервованому стані. Тепер ці вузли та деталі повинні бути промиті та очищені всіх видів консистентного мастила.

Як засіб для чищення рекомендується використовувати петролейний ефір чи метиловий спирт.

### 6.3. Початкове введення в експлуатацію

Перед першим запуском пристрою потрібно перейти до контрольних параметрів. Для цього виберіть параметр "test mode" ("тестовий режим"). У відкритому вікні виберіть параметр "mode" ("режим") або натисніть гарячу



клавішу "J". Для того, щоб перейти до контрольних параметрів, використовуйте набір функціональних кнопок «F6 Setup», «Machine function» або натисніть на гарячу клавішу «V».

При переході до контрольних параметрів, прес-форми мають бути порожніми.

Значення контрольних параметрів:

Циліндрична висота при основному пресуванні:  $17.00 \pm 0,02$  мм

Циліндрична висота при попередньому

пресуванні:  $17.00 \pm 0.02$  мм

Глибина заповнення:  $3.00 \pm 0.02$  мм

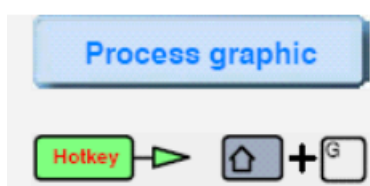
Перелік продукції відображає перелік збережених продуктів. До переліку



може бути внесено трохи більше 200 виробів.

Технологічна карта підсумовує основні параметри, необхідні для виробничого процесу. Жовті цифри відображають дійсні значення ("ACT.") відповідних параметрів. Номінальні значення ("NOM.") відображаються

цифрами сірого кольору.





#### 6.4. Встановлення та налагодження інструментальних засобів

Для того, щоб встановити інструментальні засоби, тобто верхні пуансони, прес-форми та нижні пуансони через отвори для встановлення та виїмки, потрібно відкрити вікна з боку лотка таблеток. Зніміть нижню заслінку корпусу для того, щоб мати можливість використовувати маховичок ручного керування.

Зніміть:

- механізм подавального пристрою для вивантаження, вилучення таблеток, викидач;
- зніміть кришку отвору для виймання пуансонів (2 важеля затиску, які відкидаються)

Після очищення отворів за допомогою очисника для очищення прес-форм, можна знову встановити прес-форми.

При встановленні прес-форм завжди застосовуйте одну і ту саму процедуру установки (завжди ставлячи мітку на верхній або нижній частині), оскільки можуть використовуватись обидві сторони прес-форми.

Встановлення круглих прес-форм:

Встановіть кожну прес-форму в отвір і обережно вдарте по ній монтажним інструментом для того, щоб запресувати її в отвір утримувача.

Затисніть гвинти прес-форми, докладаючи максимальне зусилля, рівне 10 Нм

Прес-форми завжди повинні бути урівень з верхньою кромкою матричного тримача.

Установка нижніх пуансонів:

- злегка змастіть вали та голівки;
- вставте нижні пуансони;
- переконайтеся, що пуансони мають вільний хід;
- Встановіть виштовхувач.

Установка верхніх пуансонів:

- злегка змастіть вали та голівки;
- по одному вставте пуансони;
- Встановіть монтажні планки.

Знову зберіть устаткування.

Установка керованих інструментальних засобів:

- видаліть частини, як описано;
- також видаліть фіксуючі планки монтажної станції (верхньої);
- проштовхніть кожну окрему прес-форму разом із верхнім пуансоном в отвір матричного тримача.

При провертанні установки за допомогою маховичка ручного керування, переконайтеся, що верхні пуансони піднімаються, вручну, доки вони плавно не вступають у зачеплення з наступною системою кулачків.

Решта процедур аналогічна процедурі з круглими інструментальними засобами.

Початок пресування нової продукції:

1. Поверніть головний перемикач (у розподільчому щиті) в положення "ON" ("Вкл"). Після завершення всебічного самотестування комп'ютерів, хід якого може відстежуватися на моніторі, на дисплеї відображається меню.

2. Реєстрація оператора у системі (клавіша «P»)

3. Після вибору режиму тестування (клавіша J):

- перейдіть до контрольних параметрів (клавіша V);
- та продовжіть встановлення на нуль (клавіша «W»);

4. Перейдіть у режим роботи від комп'ютера (клавіша «I»)

5. Введіть вид продукції зі списку.

6. Введіть обов'язкові параметри до списку параметрів:

- параметр «Parameter 1» Таблеток на годину (для початку виберіть невелике значення);

- параметр «Parameter 3» Швидкість механізму пристрою подачі;

- параметр "Parameter 6" Глибина заповнення;

- параметр «Parameter 18» Циліндрична висота при основному пресуванні;

- параметр «Parameter 19» Циліндрична висота при попередньому пресуванні;

- параметр «Parameter 20» Глибина проникнення при основному пресуванні.

Переконайтеся, що механічні установки

аналогічні заданим значенням. Потрібно ввести

значення для ручного налаштування.

- параметр «Parameter 20» Глибина проникнення при попереднє пресування;

Переконайтеся, що механічні установочні параметри аналогічні заданим значенням. Потрібно ввести значення для ручного налаштування.

- параметр «Parameter 35» Діаметр таблетки або параметри "Parameter 36" і "Parameter 37" для таблеток довгастої форми;
- параметр "Parameter 38" Форма таблеток;
- параметр "Parameter 39" Завантажувальні кулачки.

Переконайтеся, що встановлений кулачок для завантаження аналогічний заданому кулачку для завантаження. Необхідно ввести значення для ручного налаштування.

- параметр «Parameter 47» Цикл 1 впорскування мастила (сек)
- параметр «Parameter 48» Цикл 2 впорскування мастила у верхній частині (сек)
- параметр «Parameter 57» Кількість таблеток для статистичних даних
- параметр «Parameter 59» Контрольне число глибини заповнення
- параметр «Parameter 66 Кількість пуансонів ротора

7. Виберіть режим налаштування (клавіша К) або стандартний режим роботи (клавіша «L») (всі номінальні значення є наближеними).

8. Почніть пресування в режимі перекидання

Спочатку механізм подавального пристрою (клавіша F10), а потім ротор (клавіша F11)

9. Перемкніть установку у положення «ON» («Увімк.»).

Вимикання:

- Перемкніть установку на положення «STOP»
- Вимкніть режим роботи комп'ютера (клавіша «I»)
- Переключіть головний перемикач у положення «OFF» («Викл»)

Джерело безперебійного електроживлення дозволяє відключити комп'ютер у контрольованому режимі. Після цього комп'ютер відключається від мережі електроживлення.

## РОЗДІЛ 7. Охорона праці.

Використання цієї установки може становити небезпеку у випадку, якщо вона експлуатується не підготовленим персоналом неналежним чином або застосовується для цілей, не передбачених або не зазначених у цьому посібнику з експлуатації.

- Усі особи, які мають доступ до приміщення, де експлуатується установка, та залучені до діяльності, пов'язаної зі складанням, демонтажем та подальшим складанням, введенням в експлуатацію, експлуатацією або технічним обслуговуванням (обстеженням, доглядом, ремонтом) установки 2200i, повинні повністю прочитати цей посібник з експлуатації, і зокрема, прочитати та зрозуміти розділ «Забезпечення безпеки». Ми рекомендуємо, щоб користувач підтвердив це у письмовій формі.

- Таблетковий прес Fette 2200i призначений для експлуатації лише у передбаченій галузі застосування. Будь-яке використання обладнання поза цієї області має розцінюватися як не узгоджене. Виробник не повинен нести будь-якої відповідальності за будь-яке пошкодження, що виникає внаслідок такого використання, і всі ризики, які можуть виникнути у зв'язку з таким використанням, несе виключно користувач.

- Дотримання встановлених виробником вимог щодо збирання, демонтажу та подальшого збирання, введення в експлуатацію, експлуатації або технічного обслуговування також необхідно розглядати як частину погодженого використання.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Дудко Д.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Охорона праці</b>	<b>230639.KP.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/4</b>

- Роботи, пов'язані з експлуатацією, обслуговуванням та ремонтом установки 2200і повинні виконуватися тільки таким, що має доступ, навченим та належним чином проінструктованим персоналом. Такий персонал повинен отримати спеціальні інструкції щодо небезпек, які, ймовірно, можуть мати місце в процесі експлуатації та технічного обслуговування установки.

- Необхідно чітко встановити відповідальність за дотримання вимог до складання, демонтажу та подальшого складання, введення в експлуатацію, експлуатації або технічного обслуговування таким чином, щоб не виникало будь-якої невизначеності щодо областей компетентності та аспектів безпеки.

- При проведенні будь-яких робіт, що включають роботи зі складання, демонтажу та подальшого складання, введення в експлуатацію, експлуатації, регулюванні або технічному обслуговуванню, необхідно дотримуватися процедур відключення від джерел живлення, визначених у посібнику з експлуатації.

- Забороняється використовувати робочі технології, які спричиняють зниження аспектів безпеки.

- Користувач несе відповідальність за забезпечення того, щоб ніхто з невірних осіб не отримав доступу до експлуатації обладнання.

- Користувач зобов'язаний негайно повідомляти про будь-які зміни, що призводять до зниження безпеки установки.

- Користувачеві необхідно забезпечити, щоб установка 2200і завжди експлуатувалася лише у нормальних умовах.

- Забороняється проводити санкціоновані користувачем модифікації та зміни, що стосуються безпеки обладнання.

- Якщо говорити по суті, то робота на обладнанні повинна виконуватись тільки після повної зупинки.

- Перш ніж розпочати роботи з догляду за обладнанням або технічним обслуговуванням, слід потурбуватися про те, щоб вузли приводу та комплектуючі деталі не будуть приведені в дію з необережності.

- Після завершення ремонту перед новим введенням в експлуатацію необхідно переконатися, що всі захисні пристрої встановлені на свої місця.
- У випадку, коли йдеться про видалення та заміну механічних вузлів та деталей, необхідно звернути увагу на вагу даних частин.
- При проведенні робіт з очищення установки, необхідно дотримуватися примітки виробника (щодо використання засобів для чищення).
- Вантажопідйомність вантажопідіймальних пристроїв, які планується встановити, повинна бути щонайменше еквівалентна вазі вузлів та деталей у зборі.
- Дверця та заслінки не повинні відчинятися доти, доки установка не буде повністю зупинена.
- Обладнання та розподільний щит повинні бути закріплені лише за допомогою відповідних петельок.
- Після складання електричних блоків або проведення електроремонтних робіт, що мають важливе значення, повинні бути перевірені існуючі засоби захисту (наприклад, опір заземлення).
- При експлуатації установки 2200i, у кожному випадку, повинні застосовуватися місцеві правила з техніки безпеки та попередження нещасних випадків.

**Кожний користувач повинен дотримуватися 4 нижніх пункту:**

### **1. Заслінки для пресування**

Аварійні вимикачі, приєднані до заслінок, забезпечують доступ до області пресування обладнання. Ці вимикачі повинні перевірятися щодня перед запуском установки, щоб гарантувати, що вони перебувають у стані готовності до роботи. Якщо одна або більше заслінок відкриті, установка не може працювати і не може бути запущена. Якщо така заслінка відкривається в процесі роботи установки, це призводить до негайного її відключення.

### **2. Заслінки на нижній поверхні корпусу**

<i>Охорона праці</i>	<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i>	<i>Аркуш</i> 3
----------------------	-------------------	---------------------	-------------	-------------------

4 заслінки на нижній поверхні корпусу закриваються на шпингалетні замки та відкриваються за допомогою ключа. Цей ключ повинен знаходитись лише у осіб, які мають доступ до експлуатації установки. Перед тим, як відкрити заслінки на нижній поверхні корпусу, особа, яка має доступ до експлуатації установки, повинна відключити головний перемикач подачі електроживлення на пульті управління або в розподільчому щиті, який потім повинен бути закритий.

### **3. Штепсельні з'єднання**

Для того, щоб роз'єднати електричне з'єднання між установкою та шафою електрообладнання, необхідно вийняти штепселя. Однак, перш ніж повністю вийняти штепсель, необхідно повернути головний перемикач у положення "OFF" ("Вимкнути").

### **4. Перемикач аварійної зупинки**

Відповідно до релевантних положень VDE і TÜV, таблетковий прес 2200і оснащений перемикачами аварійного зупинки (EMERGENCY SHUTOFF). Після ввімкнення установки ці перемикачі необхідно знову розблокувати, повернувши їх на чверть оберту.

## Висновки

У кваліфікаційній роботі виконано моделювання процесу наповнення, пресування таблетки таблетковим пресом Fette 2200i, обґрунтовано раціональні конструкційні та режимні параметри механізму пресування.

Властивості порошкового матеріалу доцільно описувати моделлю Герца-Міндліна. При моделюванні важливо враховувати форму, розмір частинок, силу когезії між ними та адгезії до поверхонь обладнання.

В програмі SOLIDWORKS 2020 було створено 3д модель окремих деталей і виконано їх складання.

Для підвищення ефективності роботи обладнання за допомогою методом імітаційного моделювання було визначено раціональні показники роботи пресуючого механізму шляхом дослідження швидкісних параметрів руху пуансонів.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Дядько Д.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Список використаної літератури</b>	<b>230639.KP.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паспорт роторної таблетувальної машини Fette 2200i
2. Кутовая, О. В. К вопросу о производительности роторных таблеточных машин / О. В. Кутовая, И. В. Ковалевская, А. В. Шапов // Вестник фармации. – 2015. – №3 (69). – С. 6–11.
3. Кравчук В.В. Таблеткові машини для виробництва твердих лікарських форм / В.В. Кравчук, Г.І. Кузьміна // Промислова фармація, 2016. – С.378
4. Кольман-Иванов Э.Э. Таблеточные машины в медицинской промышленности. М., «Медицина», 1975. – 179 с.
5. Кольман-Иванов, Э.Э. Машины-автоматы химических производств. Теория и расчет / Э.Э. Кольман-Иванов. – М.: Машиностроение, 1972. – 296 с.
6. Таблеточные машины в медицинской промышленности / [Э.Э. Кольман-Иванов и др.]. – М.: Медицина, 1975. – 180 с.
7. Кольман-Иванов Э.Э. Конструирование и расчет машин химических производств. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
8. Тригубчак О. В. Вивчення режимів питомого тиску пресування на фармако-технологічні властивості таблеток кислотиацетилсаліцилової / О. В. Тригубчак // Фармацевтичний часопис. – 2012. – № 4. – С. 58–62.
9. Pawar, P. The effect of mechanical strain on properties of lubricated tablets compacted at different pressures / P. Pawar, H. Joo, G. Callegari [et al.] // Powder Technology. – 2016. – Vol. 301. – P. 657–664.
10. Обладнання технологічних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв : навчальний посібник / М.В. Стасевич, А.О. Миляннич, І.О. Гузьова та ін.; за ред. В.П. Новікова. – Вінниця: Нова книга, 2012.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Дядько Д.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Список використаної літератури</b>	<b>230639.KP.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> <b>1/2</b>

11. Jackson, S & Sinka, Iosif & Cocks, Alan. (2007). The effect of suction during die fill on a rotary tablet press. European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics: official journal of Arbeitsgemeinschaft für Pharmazeutische Verfahrenstechnik. V. 65. 253-6. 10.1016/j.ejpb.2006.10.008.

12. Stephen Byrn, Maricio Futran, Hayden Thomas, Eric Jayjock, Nicola Maron, Robert F. Meyer, Allan S. Myerson, Michael P. Thien, Bernhardt L. Trout, Achieving Continuous Manufacturing for Final Dosage Formation: Challenges and How to Meet Them May 20–21 2014 Continuous Manufacturing Symposium, Journal of Pharmaceutical Sciences, Volume 104, Issue 3, 2015, Pages 792-802

13. Düllea M. Influence of the feed frame design on the powder behavior and the residence time distribution / M. Düllea, H. Özcobanb, C.S. Leopolda // International Journal of Pharmaceutics. – 2019. – volume 565. – P. 523-532.

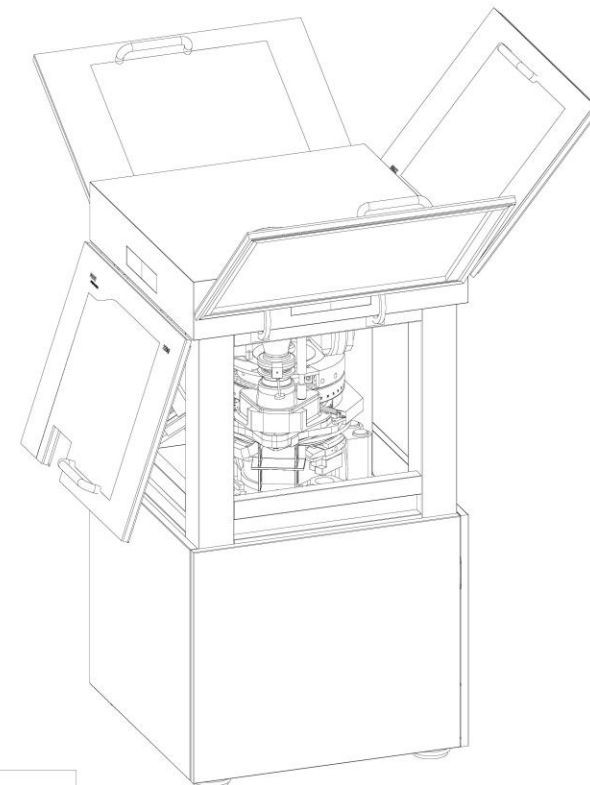
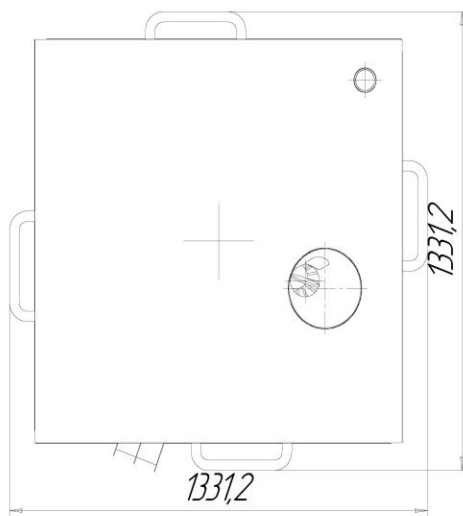
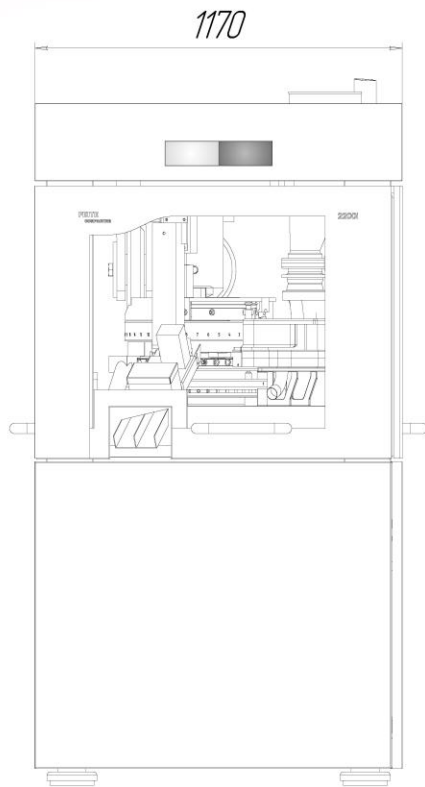
14. F. Bassam, P. York, R.C. Rowe, R.J. Roberts Young's modulus of powders used as pharmaceutical excipients, International Journal of Pharmaceutics, Volume 64, Issue 1, 1990, Pages 55-60.

15. Mazel V, Busignies V, Diarra H, Tchoreloff P. On the links between elastic constants and effective elastic behavior of pharmaceutical compacts: importance of poisson's ratio and use of bulk modulus. J PharmSci. 2013 Nov;102(11):4009-14. doi: 10.1002/jps.23710. Epub 2013 Aug 20. PMID: 23963744.

16. Giannis, K.; Schilde, C.; Finke, J.H.; Kwade, A. Modeling of High-Density Compaction of Pharmaceutical Tablets Using Multi-Contact Discrete Element Method. Pharmaceutics 2021, 13, 2194. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13122194>

17. Wu, C.-Y & Ruddy, O.M. & Bentham, A.C. & Hancock, B.C. & Best, Serena & Elliott, James. (2005). Modelling the mechanical behaviour of pharmaceutical powders during compaction. Powder Technology. 152. 107-117. 10.1016/j.powtec.2005.01.01

# ДОДАТКИ



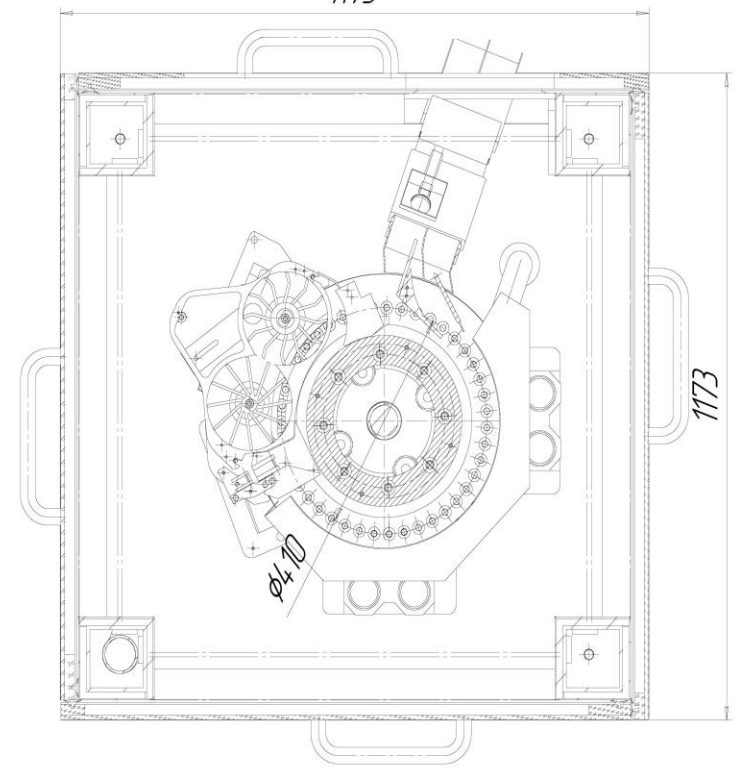
### Технічні характеристики

<i>Виробник:</i>	<i>Компанія FETTE GmbH</i>
<i>Модель:</i>	<i>2200i</i>
<i>Забойська табличка з паспортними даними:</i>	<i>Позаді панельної обшивки установки</i>
<i>Робоча напруга:</i>	<i>400/440/480 В, 50/60 Гц, 3 фази + захисне заземлення PE</i>
<i>Потужність (приблизно):</i>	<i>13 кВт</i>
<i>Повний захист плавкого запобіжника:</i>	<i>63 А</i>
<i>Подача стисненого повітря: (максимальна/при діаметрі труби, що підводить <math>\phi = 9</math> мм)</i>	<i>6 бар (10 бар)</i>
<i>Об'ємна витрата повітря (мінімальна):</i>	<i>5 дм<sup>3</sup>/с</i>
<i>Проектована площа:</i>	<i>1220 x 1220 мм</i>
<i>Висота установки: (з бункером Fulltrichter)</i>	<i>2031 мм (2083 мм)</i>
<i>Чиста вага (вага нетто) таблеткового преса:</i>	<i>Приблизно 3500 кг</i>
<i>Вага терміналу управління:</i>	<i>100 кг</i>
<b>Умови експлуатації:</b>	
<i>Відносна вологість (без урахування конденсату):</i>	<i>5 - 95 %</i>
<i>Температура експлуатації розподільного щита:</i>	<i>0 - 25°C</i>
<i>Температура експлуатації пульта керування:</i>	<i>0 - 25°C</i>
<i>Температура експлуатації установки:</i>	<i>5 - 35°C</i>

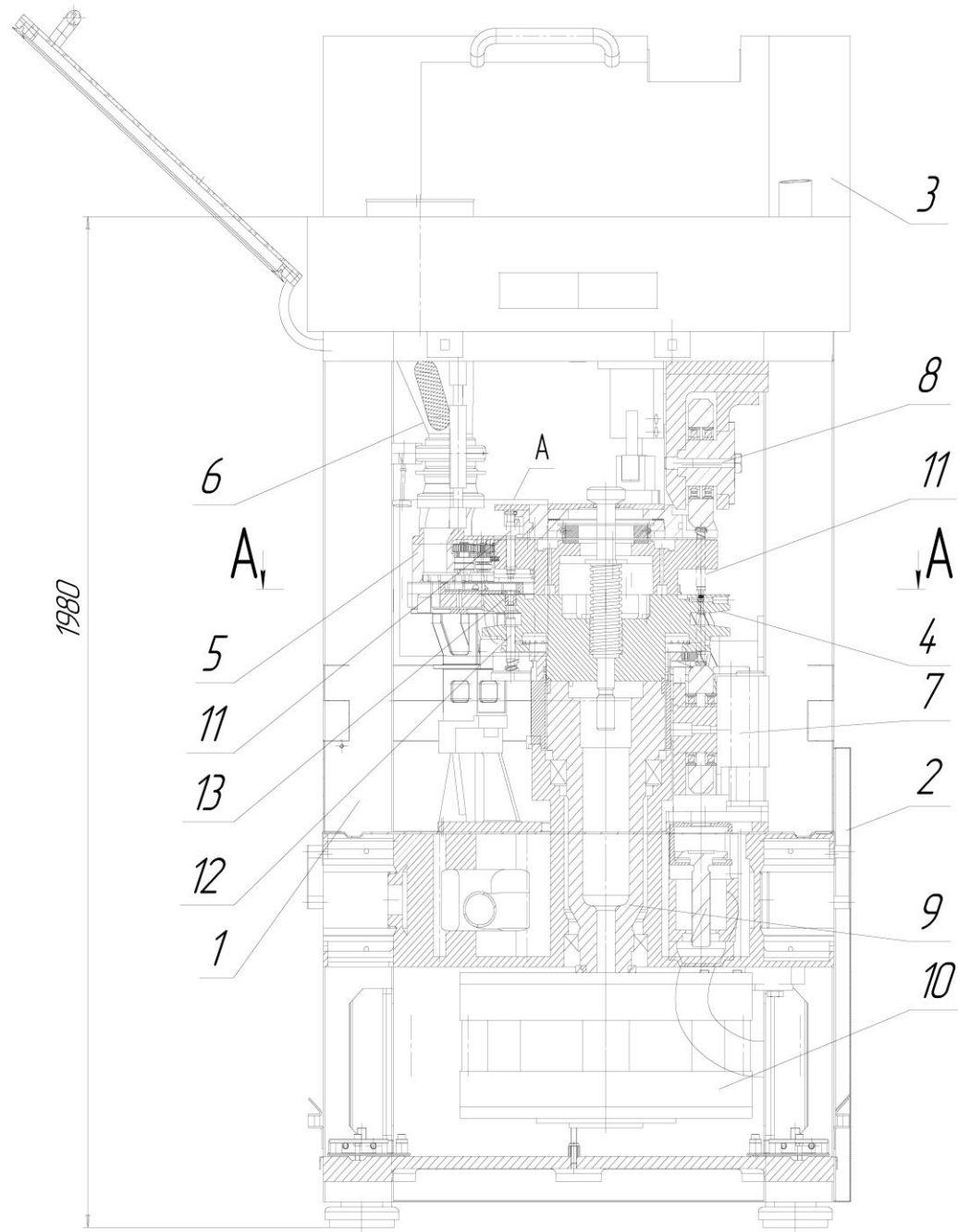
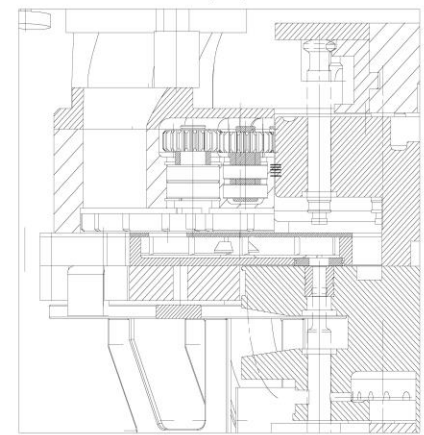
Відповідальна організація <i>НУХТ</i>	Технічне узгодження <i>Чепелек ОМ</i>	Розробник документів <i>Дудко ДС</i>	Документ затверджено <i>Габда ОМ</i>	Масштаб <i>М1:10</i>
Власник документів <i>НУХТ, ОФ-2-6М</i>		Складальне креслення Назва, код/матриця назва <i>Роторний таблетковий прес FETTE 2200i</i>		Статус документів <i>230639.KP.08.01.000.С6</i>
		інв. змін.	Дата видання	Номер <i>1</i>

A-A

1173



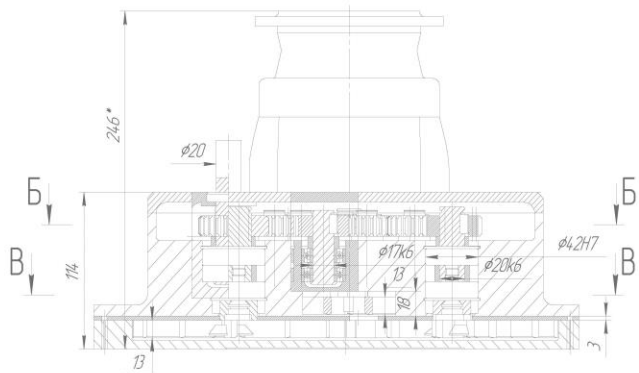
A(1:2)



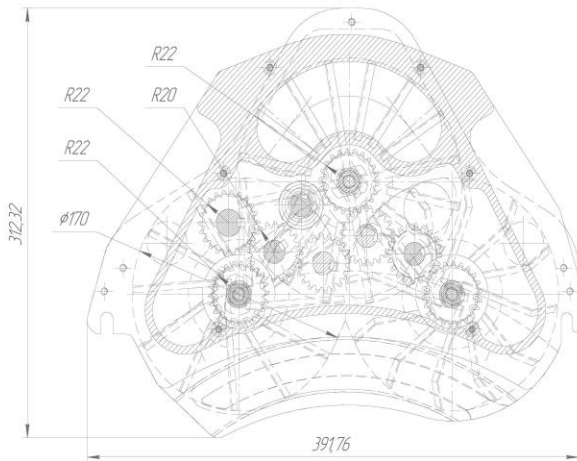
1980

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження <b>Чепелюк О.М.</b>	Розробник документа <b>Дудко Д.С.</b>	Документ затверджено <b>Габбо О.М.</b>	Масштаб <b>М1:5</b>
Вид документа	Складальне креслення			Сплатук документа
Власник документа <b>НУХТ, ОФ-2-6М</b>		Назва, відомство назва <b>Роторний пультендоби клас КС11К 2200</b>		230639КР.08.01.000 СБ
		№ змк.		Дата видання
		Мапа		Аркуш
				7

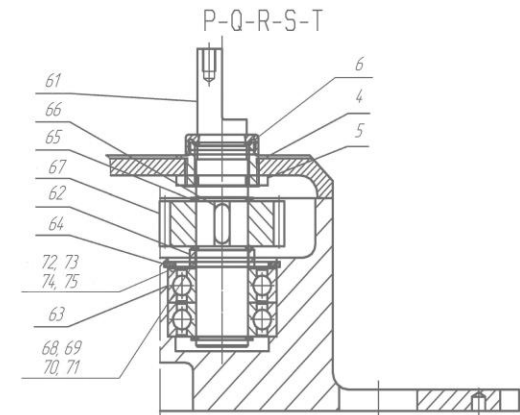
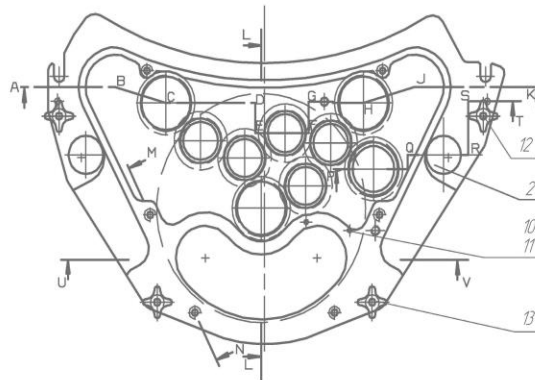
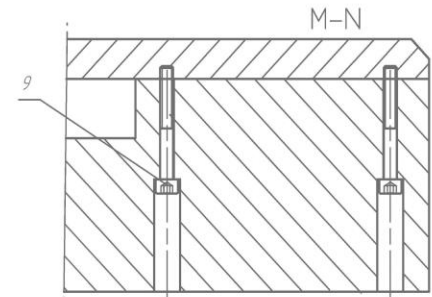
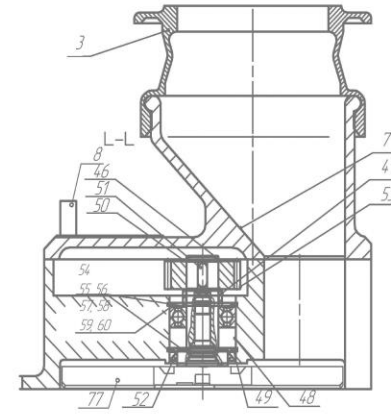
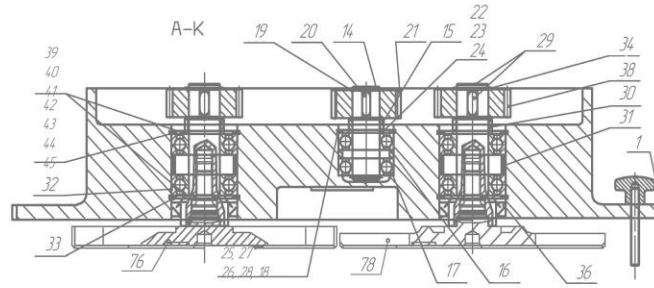
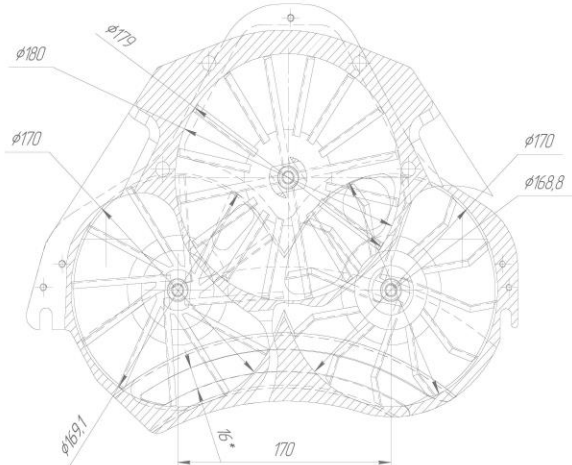
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-сть.	Примітка	
				<i>Документація</i>			
A1			230639.KP.08.01000.CБ	<i>Складальне креслення</i>			
				<i>Складальні одиниці</i>			
		1	230639.KP.08.02.000	<i>Станина</i>	1		
		2	230639.KP.08.03.000	<i>Кожух нижнього відсіка</i>	4		
		3	230639.KP.08.04.000	<i>Вікно</i>	4		
		4	230639.KP.08.05.000	<i>Ротор</i>	1		
		5	230639.KP.08.06.000	<i>Живильний пристрій</i>	1		
		6	230639.KP.08.07.000	<i>Бункер</i>	1		
		7	230639.KP.08.08.000	<i>Пристрій нижнього пресування</i>	2		
		8	230639.KP.08.09.000	<i>Пристрій верхнього пресування</i>	2		
		9	230639.KP.08.10.000	<i>Вал ротора</i>	1		
				<i>Деталі</i>			
		11	230639.KP.08.00.000	<i>Верхній пуансон</i>	43		
		12	230639.KP.08.00.000	<i>Нижній пуансон</i>	43		
		13	230639.KP.08.00.000	<i>Матриця</i>	43		
				<i>Покупні вироби</i>			
		10		<i>Двигун DST 215 C</i>	1		
Відповідальна організація <i>НУХТ</i>		Технічне узгодження <i>Чепелюк О.М.</i>		Розробник документа <i>Дудко Д.С.</i>	Документ затверджено <i>Гавва О.М.</i>		Масштаб <i>1:1</i>
Власник документа  <i>НУХТ, ОП-2-6М</i>				Вид документа <i>Специфікація</i>		Статус документа	
				Назва, додаткова назва <i>Роторний таблетковий прес FETTE 2200i</i>		<i>230639.KP.08.01.000 CБ</i>	
				Вид в розрізі		Інд. змін.	Дата видання
						<i>иц</i>	<i>1/1</i>



B-B



B-B

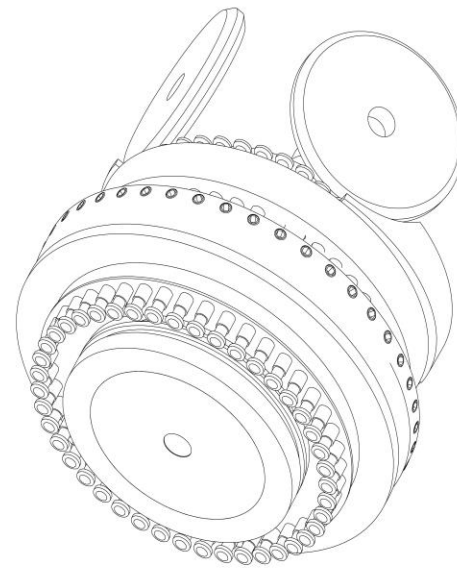
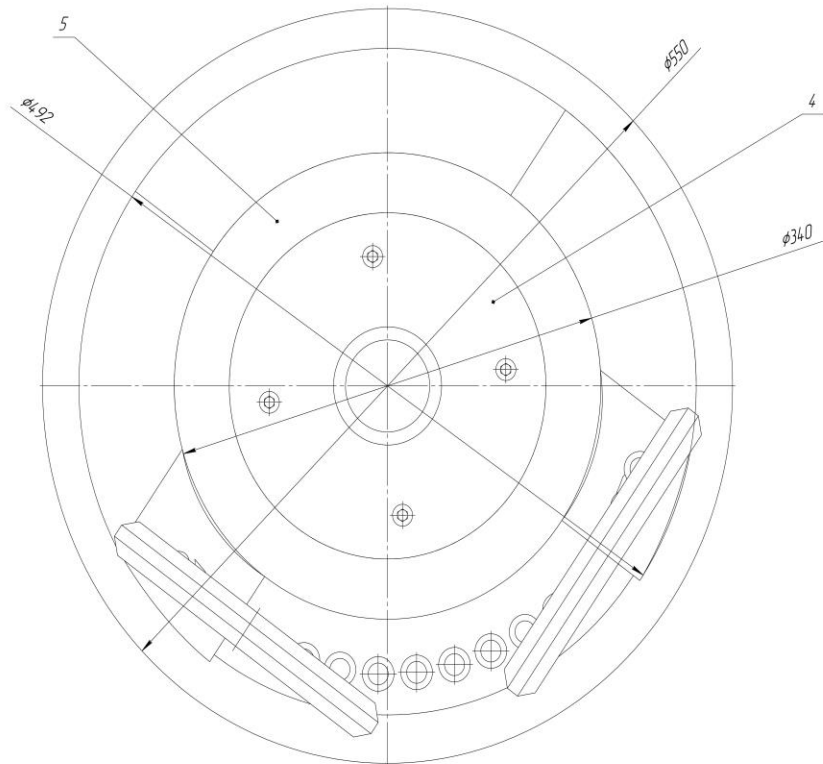
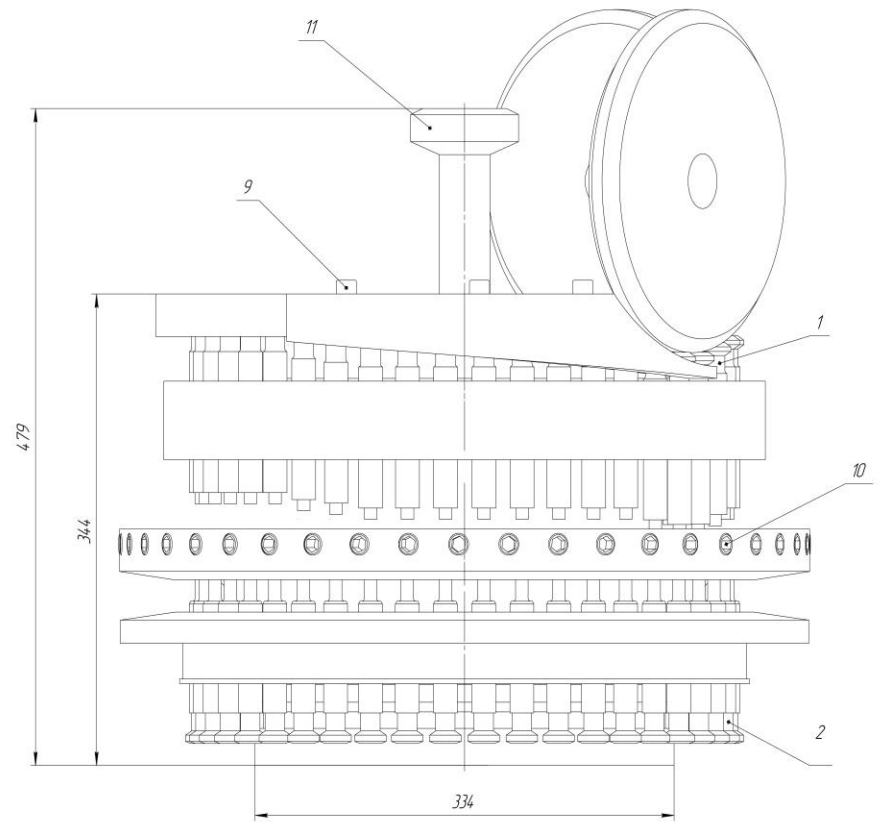
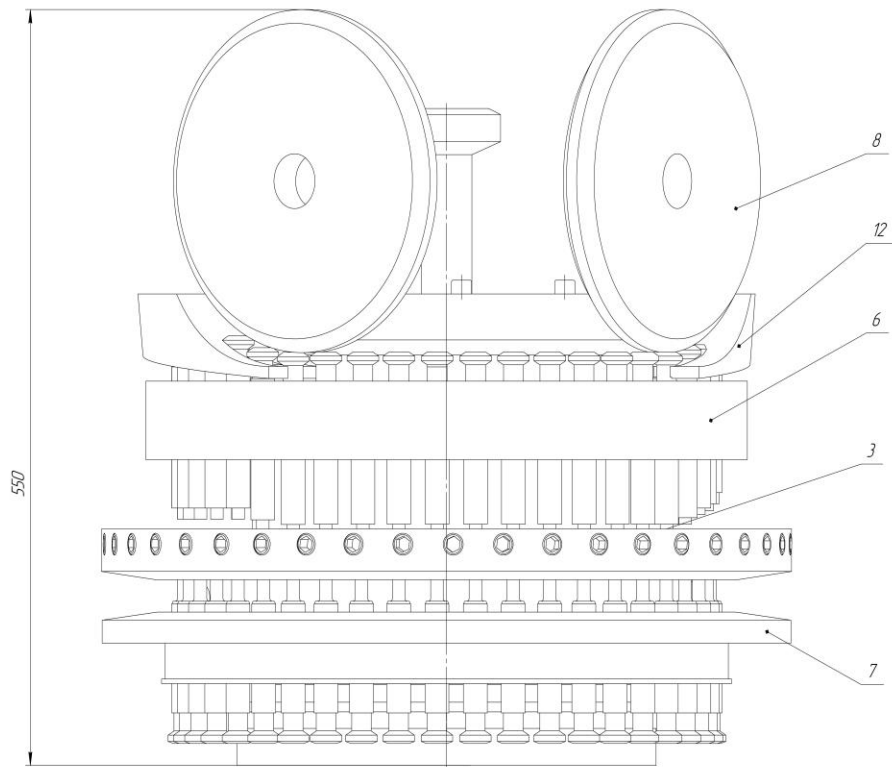


Видовищево одделение НУХТ	Техничко одделение Чепелек ОМ	Разработник Давидо ДС	Документ одобриено Габбо ОМ	М110
Власник документа НУХТ, ОФ-2-6М		Складовиште креслення Назив, видаткова набива Механизм живлення		
230639КР.08.01.000 СБ		Статус документа Дата издавање Модификација Лист 1		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-сть.	Примітка	
				<i>Документація</i>			
A1			230639.KP.08.01.000.CБ	Складальне креслення			
				<i>Деталі</i>			
		1	230639.KP.08.01.001	Нижня секція редукції d=170	1		
		2	230639.KP.08.01.002	Прозора лінза	2		
		3	230639.KP.08.01.003	Силікановий патрубок	1		
		4	230639.KP.08.01.004	Різьбове з'єднання	1		
		5	230639.KP.08.01.005	Контргайка, трудна різьба 21, латунь	1		
		6	230639.KP.08.01.006	Пильник (діаметр 19 мм)	1		
		7	230639.KP.08.01.007	Кришка редуктора	1		
		8	230639.KP.08.01.008	Кулачок	1		
		9	230639.KP.08.01.009	Гвинт M5x40x70	6		
		10	230639.KP.08.01.010	Скребок для живильника	2		
		11	230639.KP.08.01.011	Гвинт з потайною головою M4x8x70	2		
		12	230639.KP.08.01.012	Гвинт з ручкою M5x20	2		
		13	230639.KP.08.01.013	Гвинт з ручкою M5	2		
		14	230639.KP.08.01.014	Вал D = 17x54	4		
		15	230639.KP.08.01.015	Проставна втулка	4		
		16	230639.KP.08.01.016	Проставна втулка	4		
		17	230639.KP.08.01.017	Кульковий підшипник DIN625-6003-2RS-T1	8		
		18	230639.KP.08.01.018	Шплінт для валу DIN 472-35x1,5D	4		
		19	230639.KP.08.01.019	Шплінт для валу DIN 471-17x1	12		
		20	230639.KP.08.01.020	Шпонка DIN6885-A-5X5X14	4		
Відповідальна організація <i>НУХТ</i>			Технічне узгодження <i>Чепелюк О.М.</i>	Розробник документа <i>Дудко Д.С.</i>	Документ затверджено <i>Гавва О.М.</i>		Масштаб <i>1:1</i>
Власник документа  <i>НУХТ, ОФ-2-6М</i>				Вид документа <i>Специфікація</i>		Статус документа	
				Назва, додаткова назва <i>Ротарний таблетковий прес FETTE 2200i Вид в розрізі</i>		<i>230639.KP.08.01.000 CБ</i>	
						Інд. змін.	Дата видання
						<i>UA</i>	<i>1/3</i>

Формат	Зона	№	Позначення	Найменування	К-сть	Примітка		
		21	230639.KP.08.01.021	Колесо шестерня Z=20 m=2	4			
		22	230639.KP.08.01.022	Кільце прокладне DIN 988-17X24X0,1	4			
		23	230639.KP.08.01.023	Кільце прокладне DIN 988-17X24X0,2	4			
		24	230639.KP.08.01.024	Кільце прокладне DIN 988-17X24X0,3	4			
A1		25	230639.KP.08.01.025	Кільце прокладне DIN 988-25X35X0,1	4			
		26	230639.KP.08.01.026	Кільце прокладне DIN 988-25X35X0,2	4			
		27	230639.KP.08.01.027	Кільце прокладне DIN 988-25X35X0,3	4			
		28	230639.KP.08.01.028	Кільце прокладне DIN 988-25X35X0,5	4			
		29	230639.KP.08.01.029	Вал D=30x2.5	2			
		30	230639.KP.08.01.030	Проставна втулка	2			
		31	230639.KP.08.01.031	Проставна втулка	2			
		32	230639.KP.08.01.032	Кульковий підшипник DIN625-6004-2RS-T1	4			
		33	230639.KP.08.01.033	Шплінт для валу DIN72-4.2X1.75	4			
		34	230639.KP.08.01.034	Шплінт для валу DIN71-20X1.2	4			
		35	230639.KP.08.01.035	Шпонка DIN6885-A-6X6X14	2			
		36	230639.KP.08.01.036	Ущільнення 30X42X7	2			
		37	230639.KP.08.01.037	Дистанційне кільце d=42/35, Висота=3	2			
		38	230639.KP.08.01.038	Зубчасте кільце Z=22, проточка D20 мм	4			
		39	230639.KP.08.01.039	Проставна втулка 20X28X0,1	4			
		40	230639.KP.08.01.040	Проставна втулка 20X28X0,2	4			
		41	230639.KP.08.01.041	Проставна втулка 20X28X0,3	4			
		42	230639.KP.08.01.042	Кільце прокладне DIN988-30X42X0,1	2			
		43	230639.KP.08.01.043	Кільце прокладне DIN988-30X42X0,2	2			
		44	230639.KP.08.01.044	Кільце прокладне DIN988-30X42X0,3	2			
		45	230639.KP.08.01.045	Кільце прокладне DIN988-30X42X0,5	2			
		46	230639.KP.08.01.046	Вал d=32x64	1			
		47	230639.KP.08.01.047	Проставна втулка	1			
		48	230639.KP.08.01.048	Кульковий підшипник з глибокою канавкою DIN625-6004-2RS-T1	2			
		49	230639.KP.08.01.049	Шплінт для валу DIN4 72-4.2X1,75	2			
		50	230639.KP.08.01.050	Шплінт для валу DIN4 71-20X1,2	2			
		51	230639.KP.08.01.051	Шпонка DIN6885-A-6X6X14	1			
		52	230639.KP.08.01.052	Ущільнення валу 32X42X5	1			
230639.KP.08.01.000 СБ					Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 2/3





Відділення проєкції НБУХТ	Технічне відділення Чепелек О.М.	Розробник документа Душко В.С.	Ліцензійне закріплення Габбо О.М.	Масштаб 1:2
Важливі документи		Історія документа		Статус документа
НБУХТ, ОФ-2-6М		Складальний кресленик назва відомого кода		230639КР.08.01.000 СБ
№ змк	Дата видання	Різдво	Архів	1/1
		ua		

