

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
_____ Сергій Блаженко
(підпис) (прізвище та ініціали)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Олександр Гавва
(підпис) (прізвище та ініціали)

«___» _____ 2022 р.

«___» _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв

на тему: Моделювання процесу висушування гранул глютамінової кислоти в сушильному апараті з псевдозрідженим шаром одноразовим завантаженням 60 кг та обґрунтування конструктивних параметрів

Виконав: здобувач 2 курсу, групи 6М

_____ Черненко Дмитро Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник: Чепелюк Олена Олександрівна
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти _____
(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2022 р.

здобувачем (2-3 аркуші); креслення ключової деталі складальної одиниці у відповідності з технологією процесу її виготовлення (1 аркуш), специфікація

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація, зміст	03.11.2021	виконано
2	Вступ.	08.11.2021	виконано
3	Аналіз процесу дозування на роторних таблеткових пресах	14.11.2021	виконано
4	Об'єкти і методи досліджень	21.11.2021	виконано
5	Моделювання потоку дискретних частинок	28.11.2022	виконано
6	Розрахунок обладнання	09.01.2022	виконано
7	Вибір конструкційних матеріалів	09.01.2022	виконано
8	Монтаж, ремонт і експлуатація	15.01.2022	виконано
9	Охорона праці	16.01.2022	виконано
10	Висновки, список використаної літератури	18.01.2022	виконано
11	Графічна частина:	20.01.2022	виконано
12	Подача МР на кафедрі.	01.02.2022	виконано

Здобувач

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Дмитро Черненко

(прізвище та ініціали)

Олена Чепелюк

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В дипломному проекті модернізується сушильний апарат з псевдозрідженим шаром одноразовим завантаженням 60 кг, модернізація полягає у заміні візка, в якому розміщується матеріал, що висушується, на циліндро-конічну конструкцію, в якій використовується принцип роботи апарата Вурстера. Після модернізації зменшаться витрати енергії, що витрачалася на привод зворощувача, і підвищиться ефективність її роботи.

Проект складається з розділів, в яких наведено:

- огляд аналогічного обладнання;
- опис об'єктів, методики досліджень та результатів моделювання;
- опис будови і принципу дії апарата, який розглядається, розрахунок його основних вузлів;
- підбір конструкційних матеріалів;
- правила монтажу, ремонту та експлуатації обладнання;
- техніка безпеки і охорона праці при роботі з обладнанням для висушування у псевдозрідженому шарі.

В графічній частині подетально розкрито будову сушильного апарату з псевдозрідженим шаром, в тому числі окремих його вузлів.

Даний дипломний проект виконаний на 101 сторінці пояснювальної записки та на чотирьох аркушах А1 графічного матеріалу.

Ключові слова: сушіння, глютамінова кислота, псевдозріджений шар, апарат Вурстера.

ANNOTATION

The diploma project modernizes the fluidized bed dryer with a single load of 60 kg, Modernization is based on the replacement of the visor, in which the material that hangs is placed, on a cylindrical-conical design, in which the principle of Wurster's apparatus works. After modernization, the amount of energy that was spent on the drive of the voroshuvach will change, and the work efficiency will increase.

The project consists of sections, in which:

- review of structures of similar designation;
- description of objects, methods of follow-up and results of modeling;
- description of the structure and principle of the machine under consideration, calculation of its main units;
- selection of structural materials;
- rules for the installation, repair and operation of equipment;
- safety and labor protection when working with equipment for drying in a fluidized bed.

The graphic part details the structure of the dryer with a fluidized bed, including individual parts and knots, as well as a finished sheet.

This diploma project is executed on 101 pages of explanatory note and on four sheets of graphic material A1

Key words: drying, glutamic acid, fluidized bed, Wurster apparatus

ЗМІСТ

Вступ _____	7
1. Аналітичний огляд процесів і обладнання для висушування в псевдозрідженому стані _____	9
1.1. Опис процесу псевдозрідження _____	9
1.2. Порівняльний аналіз конструкцій обладнання _____	12
2. Об'єкти і методи дослідження _____	30
2.1. Характеристика матеріалу, що висушується _____	30
2.2. Опис запропонованого технічного рішення, принцип роботи сушильного апарата СП-60М _____	36
2.3. Методи досліджень _____	41
2.4. Постановка задачі моделювання _____	43
3. Результати моделювання _____	47
4. Вибір конструкційних матеріалів _____	52
5. Розрахункова частина _____	54
5.1. Технологічний розрахунок _____	54
5.2. Теплотехнічний розрахунок _____	58
5.3. Механічний розрахунок _____	62
5.4. Тепловий розрахунок _____	63
5.5. Гідродинамічний та гідравлічний розрахунок _____	64
5.6. Розрахунок калорифера для нагрівання повітря _____	67
5.7. Конструктивний розрахунок _____	70
6. Вимоги до монтажу, ремонту та експлуатації _____	94
7. Охорона праці _____	101
9. Системи управління _____	102
Висновки _____	104
Список використаної літератури _____	105
Додатки	

<i>Відповідальна організація ЦНУТ</i>	<i>Технічне узгодження</i>	<i>Вид документа</i> <i>Позначення зварюка</i>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> ЦНУТ	<i>Розробник документа</i> Документ затверджено	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст	200505.MP.00.000 ПЗ			
			<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова UA</i>	<i>Арку ш 1/1</i>

ВСТУП

Апарати киплячого шару широко використовуються у промисловості. У фармацевтиці вони слугують для нанесення для покриття на лікарські препарати для їхнього повільного розчинення в кишковому, висушування гранул.

З точки зору механіки процесу, рух частинок киплячого шару складно описати: теорія для опису руху гранульованої речовини ще не вироблена, переважна більшість робіт присвячена комп'ютерному моделюванню. При цьому киплячий шар є не просто розрідженим дискретним середовищем а двокомпонентним середовищем, яке складається з часточок і газу.

При пропусканні повітря крізь сипке середовище відстань між частинками збільшується, і вони починають поводитися подібно до рідини. При подальшому збільшенні швидкості газу відстань між частинками збільшується ще більше, а середовище набуває більш розрідженого вигляду і стає гранульованим газом. Рух частинок киплячого шару не є упорядкованим: внаслідок випадкового локального збільшення заселеності простору гранульованим середовищем потік повітря теж змінює траєкторію свого руху. В результаті рух системи має неупорядкований характер. Тому безліч нещодавно опублікованих робіт досліджує питання спонтанних утворень у киплячому шарі [2].

Завислий шар утворюється в гетерогенних системах при пропусканні з певними швидкостями потоку менш щільної фази знизу вгору через шар щільнішої фази. Рідина або газ можуть рухатися через шар гранульованого або пілоподібного матеріалу, проходячи через вільний об'єм, утворений порожнинами між твердими часточками. При цьому рух газу через шар сипкого матеріалу характеризується періодичними звуженнями і розширеннями окремих струмів, на які розбивається потік при вході в шар.

<i>Відповідальна організація ЧУУТ</i>	<i>Технічне узгодження</i>	<i>Вид документа</i> <i>Повноваження звітська</i>		<i>Статус документа</i>		
Власник документа ЧУУТ	Розробник документа	Назва, додаткова назва Вступ	200505.MP.00.000 ПЗ			
	Документ затверджено					

Характер руху потоку в шарі, розширення окремих струменів та його траєкторія визначаються пористістю шару, властивостями твердих часточок, формою апарату, властивостями потоку зріджувального агента (щільність, в'язкість).

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОЦЕСІВ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИСУШУВАННЯ В ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ СТАНІ

1.1. Опис процесу псевдозрідження

Сушіння в псевдозрідженому шарі – оптимальний спосіб контрольованого, щадного і рівномірного сушіння грануляту. Завдяки інтенсивному тепло/масообміну в киплячому шарі процес йде особливо ефективно і швидко. Ця технологія добре підходить для завершального сушіння гранулятів, отриманих розпиленням, а також екструдатів з низькою залишковою вологістю.

Незалежно від технології, за якою був виготовлений гранулят: – у встановленні псевдозрідженого шару або окатанням у змішувачі в періодичному або безперервному режимі – сушіння у псевдозрідженому шарі має йти в умовах термодинамічної рівноваги. Температуру припливного повітря слід підібрати таким чином, щоб з поверхні гранул випаровувалося та кількість вологи, яка надходить по капілярах зсередини. При занадто високій температурі повітря, що надходить в зону сушіння, на поверхні гранул може утворитися затверділий шар, який ускладнює або зовсім припиняє перенесення вологи з внутрішніх шарів гранул назовні. В результаті процес сушіння не прискорюється, а сповільнюється.

При використанні технології розпилення для грануляції, агломерації та нанесення покриттів необхідно контролювати процес таким чином, щоб не лише знизити вологість до заданого рівня, але й забезпечити безперервність сушіння під час розпилення. Занадто висока температура повітря, що надходить, може перешкодити утворенню рідинних містків, зробити структуру гранул нестійкою, а плівкове покриття – нерівномірним.

У всіх випадках завислий шар характеризується рівновагою сили тяжіння та підйомної сили (тертя газу об гранули та архімедовою силою).

Відповідальна організація ЦВУТ	Технічне узгодження	Вид документа <i>Посвідчення зовнішнє</i>		Статус документа			
Власник документа ЦВУТ	Розробник документа	Назва, додаткова назва АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОЦЕСІВ І ОБЛАДНАННЯ	200505.MP.00.001 ПЗ				
	Документ затверджено						Інд. змін

При цьому дисперсна фаза стає завислою у потоці легкої фази. Гранули твердого матеріалу перебувають у завислому стані в потоці легкої фази, коливаються, здійснюють вихрові рухи, але не залишають меж шару при значному збільшенні лінійної швидкості легкої фази внаслідок одночасного збільшення пористості об'єму.

Завислий шар неоднорідний, він пронизаний струменями легкої фази. При малих лінійних швидкостях безперервного потоку газу зернистий шар нерухомий (рис.1.1 а). По мірі зростання швидкості збільшується сила тертя газу об зерна, і шар починає розширюватися. При першій критичній швидкості (її називають швидкістю псевдозрідження - umf), вага шару врівноважується силою тертя газу в сукупності з архімедовою підйомною силою, тверді часточки зависають у потоці газу (рис.1.1 б). Через малі значення архімедової сили нею нехтують. Надалі зі збільшенням швидкості газу збільшується кількість газових бульбашок та його розміри (рис.1.1, в). Шар розширюється.

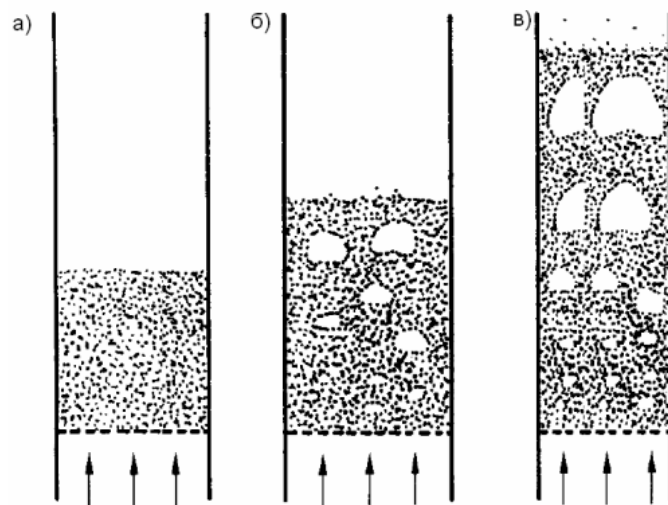


Рис.1.1. Етапи псевдозрідження шару

В результаті проходження повітряного потоку через матеріал його часточки швидко рухаються одна відносно одної, він стає вільним (переходить

у псевдозріджений стан), а потім проходить ще кілька стадій сушіння при безперервному або періодичному перемішуванні. Циркуляція повітря з усіх боків забезпечує рівномірне зневоднення, а підтримання помірної температури – збереження всіх біохімічних властивостей.


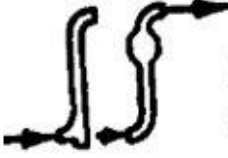


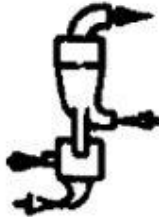
В якості додаткового обладнання в сушильному процесі також беруть участь сепараційні установки і пиловловлювачі, що забезпечують необхідний ступінь чистоти і однорідності одержуваного продукту.

Поява камер із псевдозрідженим шаром допомогла подолати багато труднощів, пов'язаних з процесом дегідратації термолабільних порошкових сумішей. Сьогодні у кожного фармвиробника є можливість провести процес сушіння дбайливо і ефективно, повністю зберігши хімічний склад лікарської сировини.

1.2 Порівняльний аналіз конструкцій обладнання

Розроблено багато конструкцій апаратів з псевдозрідженим шаром, які враховують технологічні умови протікання процесів, вимоги до якості продуктів та особливості взаємодіючих речовин. В табл.1.1 продемонстровані деякі схеми апаратів із псевдозрідженим шаром.

Таблиця 1.1. – Класифікація сушарок

Вид сушарки	Призначення	Схема	Приклад матеріалів, які висушуються
Циклонна сушарка ЦС	Добре сипкі <u>високопористі</u> матеріали з вільною або <u>слабозв'язаною</u> вологою		Блокові <u>аслістіроли</u> (ПСБ, ПСБС), <u>сополімер</u> стиролу з <u>діалбензолом</u>
<u>Одноступінчата</u> труба-сушарка ТС-1	Сипкі <u>крупнопористі</u> матеріали з вільною або слабо зв'язаною вологою		Мінеральні солі (хлористий калій, <u>кремнефтористий амоній</u>), фармацевтичні препарати
<u>Двохступінчата</u> труба-сушарка ТС-2	Сипкі матеріали з перехідними порами (розміром до 80А) з вільною і зв'язаною вологою		Суспензійний <u>полівінілхлорид</u> , фармацевтичні препарати
Комбінована циклонна сушарка КЦС	<u>Високовологі</u> матеріали з перехідними порами з вільною і зв'язаною вологою		Полістироли ПС-СУ, ПС-С, <u>сополімер</u> МС, <u>сополімер</u> А-15, <u>сополімер</u> формальдегіду, <u>резотропін</u> , <u>перборат</u> натрію, <u>сульгін</u>
Комбінована <u>аерофонтанна</u> сушарка КАС	<u>Високовологі</u> матеріали з перехідними порами (розміром до 60А) з вільною і зв'язаною вологою, що проявляють <u>адгезійно-когезійні</u> властивості		<u>Полівінілбутіраль</u> , <u>нафтенати</u> алюмінію, <u>стеарати</u>

Акт
Чтот

Акт
Чтот

Апарати розрізняють за принципом дії, вони бувають періодичної і безперервної дії. В апаратах безперервної відбувається взаємодія газового потоку із зернистим матеріалом, який постійно вводиться в апарат та виводиться з нього. Процес може здійснюватися в перехресній течії, протитечії та прямотечії.

У циліндричному протитечійному апараті постійної дії (рис. 1.2, а) газовий потік, що розріджує, надходить під газорозподільною решіткою знизу, а у верхній частині апарату – зернистий матеріал. Для підтримки певного рівня матеріалу на газорозподільній решітці та виведення матеріалу з апарату служать перетічні патрубки.

Вертикальні циліндричні силоси (рис. 1.2 б) використовуються для накопичення та усереднення великих партій зернових матеріалів. Псевдозріджений шар створений газом (повітрям), яке надходить у внутрішню порожнину поміж двома днищами, що розділені концентричною перегородкою на внутрішнє та зовнішнє кільця. Під зовнішнє кільце подається приблизно в 2 рази більше газу, ніж у внутрішнє. У зв'язку з різною кількістю газу, що подається у зовнішнє та внутрішнє кільця, в силосі утворюється спрямована циркуляція зернового матеріалу від периферії до осі апарату, яка сприяє його перемішуванню.

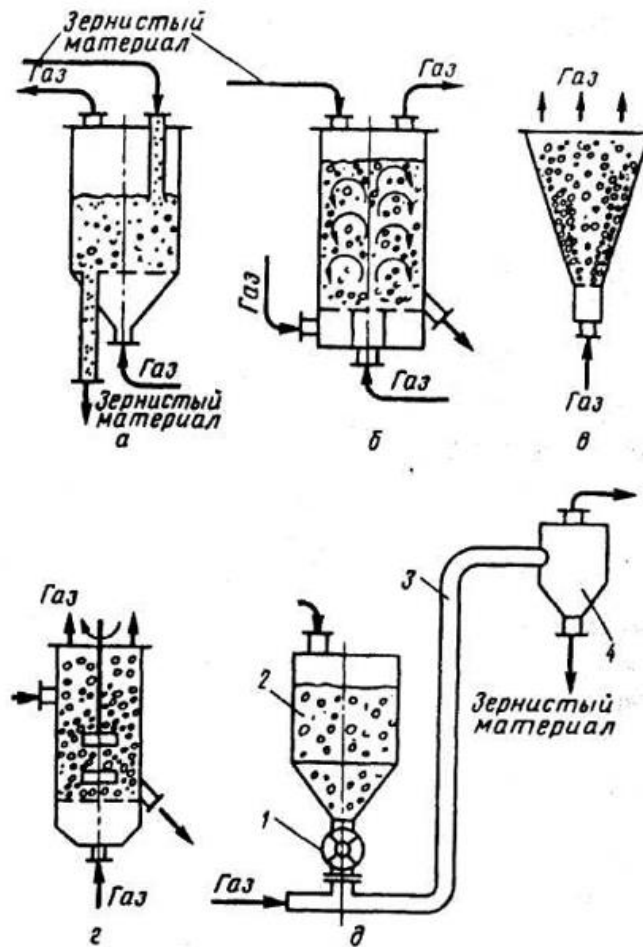


Рис. 1.2. Схеми апаратів з псевдозрідженим шаром:

а – циліндричний протитечійний безперервної дії; б – зі спрямованою циркуляцією (силоси); в – конічний; г – з пристроєм; д – пристрій для пневмотранспорту

Псевдозріджений шар забезпечує ефективність сушіння матеріалу. Принцип дії роботи сушарки з псевдозрідженим шаром полягає в тому, що часточки сушаться окремо, а не по всьому шару. Гаряче повітря, газ оточують повністю всі часточки, саме це забезпечує ефективність процесу сушіння матеріалу. Гаряче повітря або газ досягає кожної поверхні часточок (рис.1.3). Це забезпечує ефективність сушіння на 99,9% при повному збереженні теплоти. Як правило, термічний ККД сушарок з псевдозрідженням в три рази вище, ніж у інших звичайних систем сушіння.

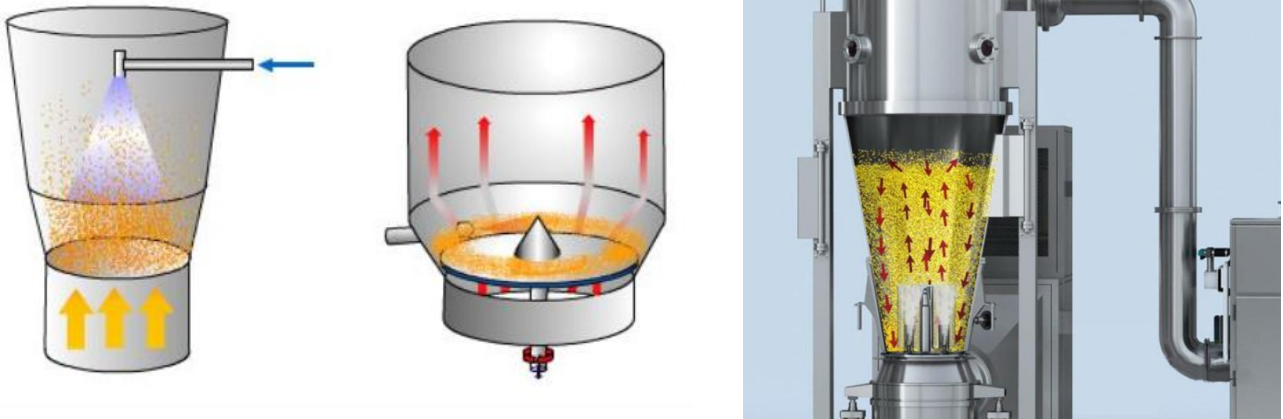


Рис.1.3. Схеми взаємодії часточок і теплоагента.

Найбільш поширені однокамерні сушарки сталого функціонування, але у сушарках такого типу з циліндричним корпусом простежується суттєва нерівномірність сушіння, зумовлена тим, що при насиченому перемішуванні у шарі термін перебування окремих частинок сильно відрізняється від середнього значення. Саме тому застосовуються сушарки з розширеним догори перерізом, прикладом цього є конічні сушарки. Швидкість газу внизу камери перевищує швидкість осадження найбільших частинок, а нагорі повинна бути менше швидкості осадження найдрібніших частинок. З такою формою камери досягається організованіша циркуляція твердих частинок, що піднімаються в центрі та опускаються біля периферії агрегату. Зі зниженням швидкості газів в міру їх підйому покращується поділ часточок по розмірах крупності та значно зменшується винесення пилу. Це підвищує рівномірність нагріву (більше дрібні частинки, які піднімаються вище, знаходяться в частині більш низьких температур) та зменшує висоту камери.

Односекційні апарати. Найпростішою є конструкція односекційного апарату. Здебільшого це вертикальний апарат, у нижній частині якого розташовуються газорозподільні ґрати, а дисперсний матеріал, подається у верхній частині апарату; матеріал вивантажується або з нижньої, прирешіткової зони або з верхнього рівня шару, щоб великі частинки або агломерати частинок не мали тривалого по часу контакту з гарячою решіткою. Також є можливе і

одночасне вивантаження дисперсного матеріалу з верхнього та з нижнього рівнів псевдозрідженого шару.

В апаратах такого роду круглого або прямокутного перерізу здійснюються найрізноманітніші технологічні процеси – від найпростіших процесів нагрівання (охолодження) дисперсних матеріалів незмінної форми та розмірів до найбільш складних, у сенсі організації сталого псевдозрідження процесів, гранулювання та сушіння пастоподібних та рідких у вихідному стані матеріалів

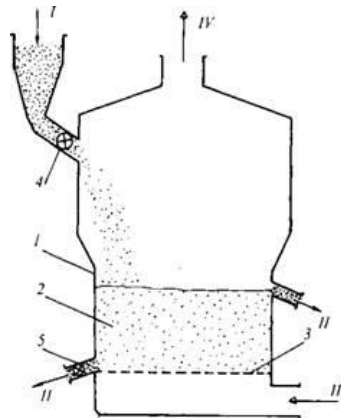


Рис.1.4 Схема апарату із псевдозрідженим шаром:

1 – корпус; 2 – псевдозріджений шар; 3 – газорозподільні ґрати;
4 – дозатор матеріалу, що завантажується; 5 - секторний дозатор матеріалу, що вивантажується; I, II - відповідно введення та виведення матеріалу; III, IV - відповідно вхід та вихід псевдозріджуючого агента

Конструкції апаратів з псевдозрідженим шаром незначно варіюються залежно від виду та властивостей псевдозріджуваних матеріалів. Найбільш простоті односекційні апарати циліндричної форми для проведення технологічних процесів, у яких розміри псевдозріджуваних частинок не змінюються (рис. 1.5).

Механічне перемішування комкуючих матеріалів може проводитися в апаратах циліндричної форми за допомогою, наприклад, мішалки, що обертається, поблизу газорозподільної решітки (рис. 1.5).

Чим вище вологість вихідного матеріалу, тим важливіше розподіляти його рівномірно на поверхні псевдозрідженого шару; інакше можливе локальне залягання частини вологого матеріалу. Тому в апаратах з шаром значної площі (більше 10^2м) можна використовувати два і більше живильників-закидачів частіше лопатевого типу, що обертається.

Подача вихідного матеріалу, якщо він знаходиться в рідкофазному стані (розчини твердих речовин, тонкодисперсні суспензії), може проводитись за допомогою механічних або пневматичних форсунок.

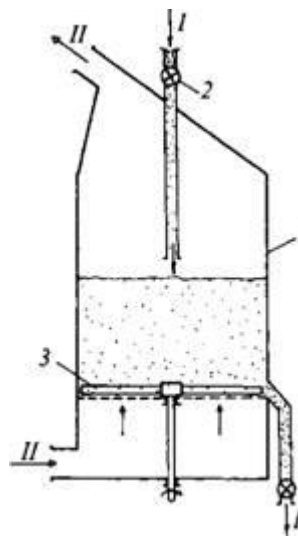


Рис. 1.5. Схема апарату для сушіння волокнистих та стружкоподібних матеріалів

1 – циліндричний корпус; 2 – секторний живильник-дозатор на лінії завантаження вологого матеріалу; 3 - мішалка, що обертається; I – подача та вивантаження матеріалу; II – вхід та вихід сушильного агента

Багатосекційні та комбіновані апарати. Інтенсивне перемішування дисперсного матеріалу в псевдозріджених і в фонтануючих шарах призводить до нерівномірної обробки окремих часточок (або порцій) матеріалу, що вивантажується з апарату, що тим істотніше, чим більша частка і значніший їх внутрішній опір процесам перенесення теплоти і маси. Цей негативний ефект

помітно знижується використанням секціонування псевдозріджених (фонтануючих) шарів. Часточки дисперсного матеріалу, послідовно переміщуючись через секції апарату, мають сумарний час перебування матеріалу в апараті

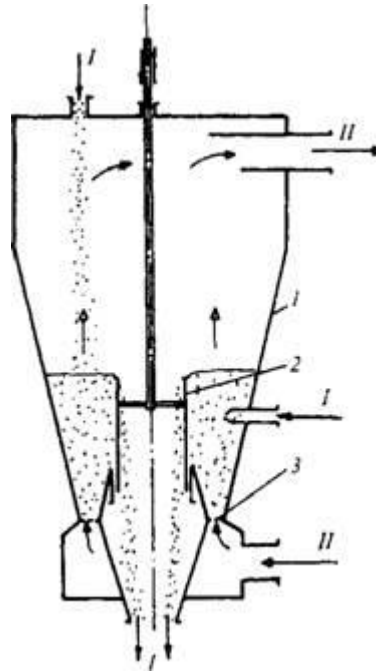


Рис. 1.6. Апарат з фонтануючим шаром кільцевої форми:

I – конічний корпус; 2 - центральна склянка, що регулює висоту шару; 3 - кільцеві грати; I – матеріал; II -сушильний агент.

Робота сушарки з псевдозрідженим шаром проста та менш трудомістка. Існують конструкції сушарок із псевдозрідженим шаром, які зручно переміщати з однієї точки в іншу. Це робить роботу з цими пристроями менш трудомісткою. Крім того, є колісна конструкція (рисунок 1.7), що робить їх переносним транспортним обладнанням.



Рис.1.7. Пересувна конструкція сушильного апарата з псевдозрідженим шаром

Конструкція сушарок з киплячим шаром різних розмірів

Існують конструкції сушарки з псевдозрідженим шаром, що відповідає умовам і вимогам великої промислової фармацевтичної компанії, а також лабораторні установки.

Сушарка з псевдозрідженим шаром в обслуговуванні має низьку вартість. У зв'язку з модульною структурою сучасних сушарок є можливість переробити або модифікувати обладнання сушарки за допомогою унікальних плит, та зменшити час простою. Сучасне обладнання, що оснащено за вимогами GMP, виготовляється з високою якістю корозійної стійкості. Автоматичним є процес миття та дезінфекції.

Однак, з використанням рідини для обробки матеріалів у фармацевтичній промисловості, є певні проблеми. Ці події включають:

Можливу втрату продукту. У рідкому стані часточки перебувають у турбулентному стані. За цього є велика ймовірність втрати продукту.

Електростатична ємність може бути високою. Крім того, підвищений рух може генерувати електростатичні заряди. Це спільне для органічних забруднень, тому сучасні рідкі очищувачі для фармацевтичної промисловості оснащені електричним підключенням.

Сухість липкого матеріалу різна. Принцип псевдозрідження потребує вільного руху частинок. Матеріали, які залишаються липкими довгий час, мають обмежену свободу пересування протягом тривалого часу, тому використовувати це обладнання неможливо.

Однією з проблем може бути великі перепади тиску, підвищена обробка газу або гарячого повітря, неоднорідна якість продукту, погане псевдозрідження.

На підприємствах України зазвичай використовуються сушарки з киплячим шаром німецького виробництва.

Гранулятор із псевдозрідженим шаром Bohle BFS (рис. 1.8) — одне з найкращих рішень для сушіння та грануляції у фармацевтичній промисловості. Не менше 6 фільтроелементів (рис. 1.8 б) можна очищати окремо один від одного, щоб потік повітря через виріб залишався безперервним. Для процесу сушіння BFS може бути оснащений системою вимірювання вологості за допомогою технології NIR (ближнього інфрачервоного випромінювання). Ця інновація дозволяє точно і відтворно визначати вологість у процесах грануляції та сушки.



Рис.1.8. Сушарка-гранулятор в псевдозрідженому шарі Bohle BFS:

а – загальний вид, б – система фільтрів, в – конусна напрямна

LV Bohle використовується процес Bohle Uni Cone BUC® для покращення технології псевдозрідженого шару. Запатентований BUC® Bohle Uni Cone включає в себе повітророзподільну пластину з конусним рухом (рис. 1.8 в). Така конструкція надає повне псевдозрідження частинок. Тангенціальний рух частинок дає можливість отримати однорідну плівку, наприклад на гранулах, без утворення двійників. Оскільки зріджені частинки або сегменти рухаються тангенціально на висоті відносно низькій псевдозрідження, для них не потрібен великий обсяг установки. Це зменшує необхідну висоту установки, заощаджуючи витрати та виробничі площі.

Технічні дані: сушарка-гранулятор з киплячим шаром Bohle

Серія BFS	BFS	BFS	BFS	BFS	BFS	BFS
	30	60	120	240	360	480

Кількість мішків фільтра продукту	4	6	9	12	10	
Приблизна висота псевдозрідженого шару, мм	1980	2930	3600	3920	4570	4990
Кількість форсунок (тангенційний спрей)	1	2	3	4	5	6
Система контролю	ПЛК, сенсорна панель					



Рис.1.9. Установка псевдозрідження GPCG, Glatt

Співпраця з фірмою «DMR технологічні процеси» дало можливість фірмі LÖDIGE process technology розробити сушарку киплячого шару періодичної дії LFP (рис.1.10), яка виконує щадне сушіння, гранулювання і нанесення покриттів найрізноманітніших сумішей продуктів. Основною галуззю використання цієї сушарки є фармацевтичне виробництво, але вона також може бути використана і в харчовій, хімічній промисловості. Завантаження сушарки: від 0,1 до 2000 кг, просте управління нею забезпечує система Turn-Key.

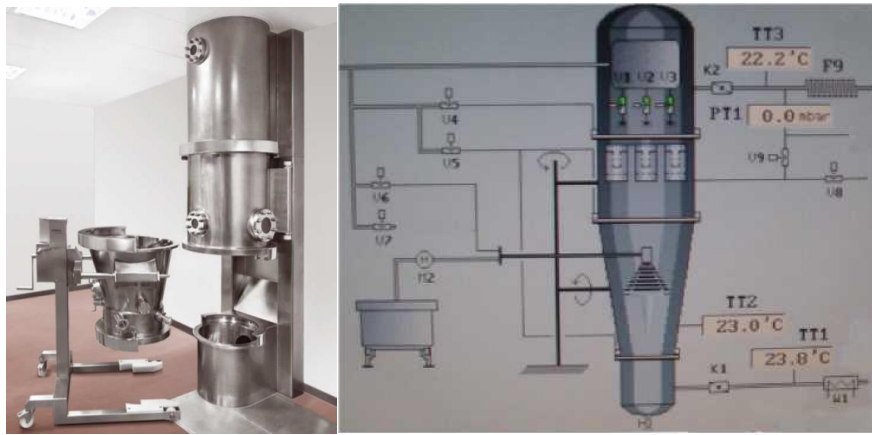


Рис.1.10. Сушарка киплячого шару LFP

Принцип дії. Відфільтрований газ (повітря або інертний газ) засмоктується всередину пристрою за допомогою вентилятора через спеціальні коністенційні днища. Виріб, що подається вручну або пневматично, приводиться в рух. Газ розбавляє продукт і утримує його у завислому стані для відмінної теплопередачі та швидкого висихання. Технологічне повітря після проходження видаляється за допомогою витяжного вентилятора. Температура повітря на вході контролюється заслінками за допомогою суміші гарячого/холодного повітря.

Установка із псевдозрідженим шаром HSCG Glatt (рис. 1.9) є справжнім «майстром»: усі варіанти технології псевдозрідженого шару, від простої сушки та гранулювання до гранулювання та складних процесів нанесення покриттів, виконуються з незмінно високою якістю. Розпилення можна проводити будь-яким способом: зверху, знизу або по дотичній, а вага оброблюваного продукту становить від 5 до 1500 кг.

Частинки продукту вловлюються вбудованими фільтрами (текстильними або металевими) і повертаються в процес шляхом безперервного очищення фільтра. Для припливного повітря використовується фільтр H13.

Спеціальна насадка для багаторазового розпилення забезпечує найтонше розпилення рідин у процесах грануляції та нанесення покриття. Управління, що складається з SES і панелі оператора або персонального комп'ютера, дозволяє

налаштувати і переглянути все, що стосується параметрів процесу. Робота з вибухонебезпечними порошками та гібридними сумішами здійснюється за допомогою пристрою, стійкого до тиску 10 бар і вибухозахищеного.



Рис.1.11. Конструктивні елементи сушарки LFP

а – вид зверху місткості з продуктом (для продукту вагою від 6 до 40 кг),

б – фільтрувальні елементи

Компанія Lödige також розробила сушарку LCF із псевдозрідженим шаром. У поєднанні з кільцевим змішувачем CoriMix® та технологією дозування, орієнтованою на клієнта, ця сушарка є комплексною лінією для безперервної грануляції: GRANUCON®.

Загальним недоліком безперервних процесів у псевдозрідженому шарі є нерівномірний розподіл часу перебування у пристрої. Розробники компанії Lödige усунули цей недолік і вбудували шнековий шнек у сушарку із псевдозрідженим шаром (рис. 1.12). Це дозволяє обмежити розподіл часу затримки. Індивідуальне очищення фільтруючих елементів із зміною об'єму повітря

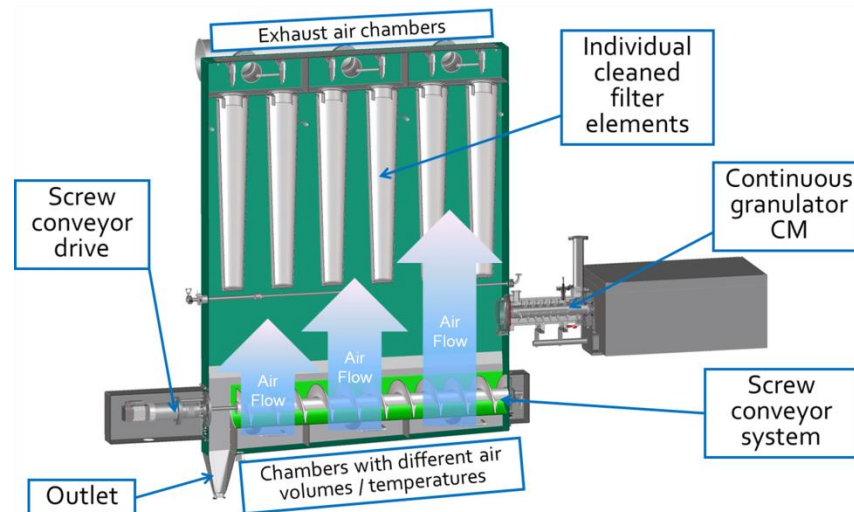


Рис. 1.12. Сушильний апарат безперервної дії фірми Lödige.

В Україні на деяких підприємствах встановлені сушарки з псевдозрідженим шаром українського виробництва.

Конструктивно така сушарка (рис. 1.13) являє собою суцільний зварний металевий корпус, що складається з двох відсіків. У першому (невеликому) відсіку знаходиться паронагрівач. Другий відсік — сушильна камера, на вході другого відсіку — повітряний фільтр. У нижній частині сушильної камери встановлюється візок з продуктом. Він оснащений підйомним механізмом з ручним керуванням, призначеним для притискання верхнього краю бака до нижнього ущільнювача горизонтальної перегородки. На бічній стінці корпусу розміщений привід мішалки з електродвигуном і черв'ячною коробкою передач і напівавтоматом. При перекочуванні візка в сушарці, муфта стискається спеціальним механізмом. Після того, як бак прокочується і піднімається, зчеплення відключається; є зчеплення горизонтальної осі каретки з приводом. У центральній частині сушарки є рукавний фільтр і перемішувальний пристрій, призначений для періодичного струшування рукавного фільтра, як під час роботи, так і після сушіння. У верхній частині сушарки розташований електропривід вентилятора, закріплений безпосередньо на валу двигуна, і повзунок з механізмом управління, призначений для регулювання потоку

повітря, що проходить через сушарку. Вентилятори високого тиску мають оригінальну конструкцію у вигляді литих або клепанних турбін з алюмінієвих сплавів і мають дуже плоску характеристику. Це дозволяє при необхідності змінити активність псевдозрідження шляхом зміни швидкості руху повітря. Привід вентилятора оснащений трифазним асинхронним двигуном. Амортизатор і механізм управління знаходяться на одній осі.

Сушарка має дверцята, що щільно закриваються, і запобіжні клапани, призначені для скидання тиску всередині сушарки в разі вибуху. Сушарка в зборі включає панель керування та управління. Для підтримки температури сушіння в діапазоні 288 – 373 К сушарка оснащена електронним автоматичним контролюючим пристроєм, який працює в комплекті з термометром опору, встановленим за нагрівачем. Для контролю температури теплоносія на вході і виході з сушарки вона оснащена індикаторними приладами – логометрами, які працюють разом з термометрами опору, встановленими вздовж повітря за нагрівачем і на виході з сушарки.

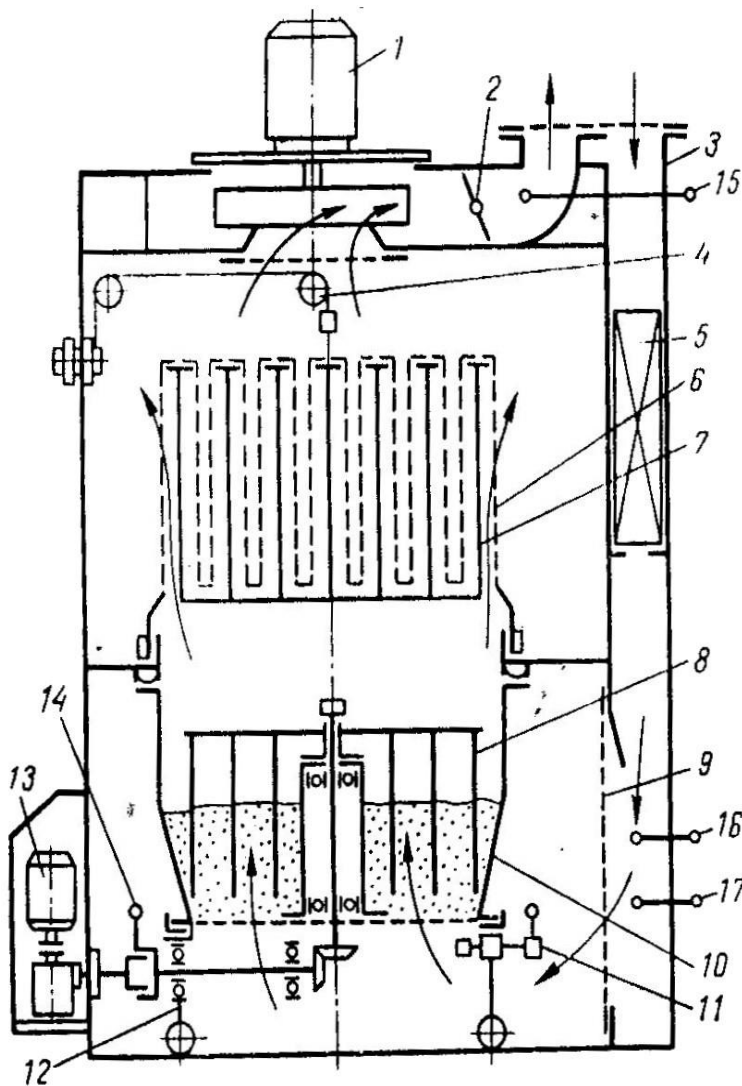


Рис.1.13. Порційна сушарка з псевдозрідженим шаром:

1 – електровентильатор, 2 – шибер, 3 – корпус сушарки, 4 - струшуючий пристрій, 5 – паровий калорифер, 6 – рукавний фільтр, 7 – каркас рукавного фільтра, 8 – ворошитель, 9 – повітряний фільтр, 10 – п одуктовий резервуар, 11 – підйомний пристрій, 12 – візок продуктового резервуара, 13 – привод ворошителя, 14 – з’єднуюча муфта, 15 – датчик температури, 16 – датчик температури при вході в шар, 17 – датчик регулятора температури.

У сушарках цього типу спостерігається значна нерівномірність висушування, що пояснюється тим, що при інтенсивному перемішуванні в шарі час перебування окремих частинок істотно відрізняється від його середнього значення. Також недоліком установок з псевдозрідженим шаром є підвищена витрата електроенергії, необхідної для створення псевдозрідженого шару, а

також складність підтримання режиму кипіння в поліфракційному складі матеріалу.

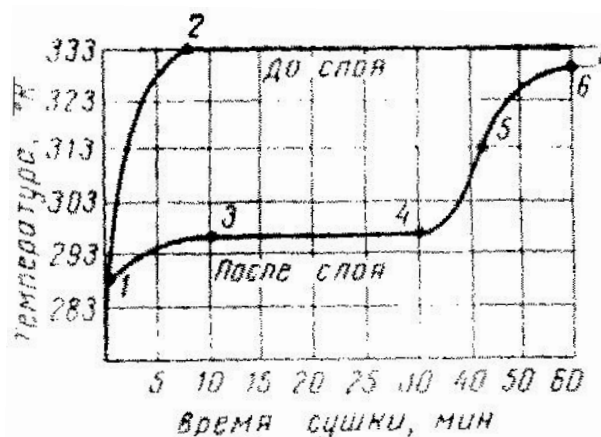


Рис.1.14. Зміна температури повітря в процесі сушіння

Зміна температури повітря під час сушіння показано на рис. 1.14. Температура на вході і виході з шару спочатку стабілізується (3-4). Під час висихання продукту температура на виході шару наближається до температури на вході шару. Зміна різниці температур спочатку відбувається швидко (4-5), але з часом стоє повільніше (5-6). Починаючи з точки 6, різниця температур Δt залишається сталою, що свідчить про закінчення випаровування і, відповідно, висихання. Значення Δt викликає втрати тепла в зоні регулювання температури.

Під час висихання гранул таблеток створюється помітний статичний заряд. Тому є замок, який гарантує, що сушарку неможливо включити без підключення спеціального пристрою для усунення статичної електрики.

Харчові резервуари мають перфороване дно з корозійно-стійкого сталевих листа, покритого сталеву сіткою з низьким ступенем пошкодження.

Форма резервуара пов'язана. Нижня частина має форму усіченого конуса, який розширюється догори, а верхня — циліндричної форми. Висота конічної частини відповідає середній висоті щільного шару сухих гранул.

Для забезпечення теплоізоляції зовнішні стінки сушарки, що стикаються з внутрішнім приміщенням з гарячим холодоагентом, утеплюються. В результаті температура робочих поверхонь не перевищує 313 К.

Сушарка працює так. Повітряний потік, що всмоктується вентилятором у верхній частині каркаса, нагрівається в нагрівачі до заданої температури, очищається у фільтрі і надходить безпосередньо в сушильну камеру, де проходить знизу вгору через контейнер для псевдозрідження продукту. Потім зволене повітря проходить через рукавний фільтр, очищається від дрібних частинок продукту і викидається в атмосферу.

2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Характеристика матеріалу, що висушується

Властивості глютамінової кислоти

Проведено процес сушіння гранул глютамінової кислоти $C_5H_9NO_4$ в сушарці з псевдозрідженим шаром. Глутамінова кислота в звичайних умовах являє собою білу кристалічну речовину, погано розчинну у воді, етанолі, нерозчинну в ацетоні та діетиловому ефірі.

Фармакологічна дія - нейромедіатор, що стимулює обмін речовин в ЦНС. Замінна амінокислота, яка надходить в організм з їжею, а також синтезується в організмі під час переамінування в процесі катаболізму білка. Бере участь в обміні білків і вуглеводів, стимулює окислювальні процеси, запобігає зниженню окисно-відновного потенціалу, підвищує опірність організму до гіпоксії. Він нормалізує обмін речовин, змінюючи функціональний стан нервової та ендокринної систем.

Глутамінова кислота є нейромедіаторною амінокислотою, яка стимулює передачу збудження в синапсах ЦНС. Бере участь у синтезі інших амінокислот, ацетилхоліну, АТФ, підтримує перенесення іонів калію, покращує діяльність скелетних м'язів (одним із компонентів є міофібрили). Має детоксикуючу дію, сприяє нейтралізації та виведенню аміаку. Він нормалізує процеси гліколізу в тканинах, має гепатопротекторну дію, пригнічує секреторну функцію шлунка.

Склад на 10 г гранул: глютамінова кислота 1,0 г; як сахароза, так і крохмаль: 4,5 г. В лабораторії подрібнити сахарозу в змішувально-розмельчальному апараті, розлити в капсулу. Додати пристрій до

подрібнити і змішати глютамінову кислоту і подрібнити, порціями додати подрібнену сахарозу з капсули, потім додати крохмаль і добре

Відповідальна організація ЦВУТ	Технічне узгодження	Вид документа <i>Пояснювальна записка</i>	Статус документа			
Власник документа ЦВУТ	Розробник документа	Назва, додаткова назва ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	200505.MP.00.002 ПЗ			
	Документ затверджено		Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш

перемішати. Порошкову суміш змочують крохмальним клейстером до отримання однорідної вологої маси і гранулюють шляхом розтирання маси в лабораторному грануляторі з отвором циліндра діаметром 2,5 мм. Отримані гранули сушать в сушарці з псевдозрідженим шаром при 50 °С до залишкової вологості 3,0%. Сухі гранули просіюють через сито з діаметром отворів 2 мм. Підготовлені гранули зважують для подальшого матеріального балансу.

За показниками, визначеними органолептичним методом, технічна L-глутамінова кислота повинна відповідати вимогам, наведеним у таблиці. 2.1.

Таблиця 2.1

Показники глутамінової кислоти, які визначаються органолептично

Назва показників	Характеристика
Зовнішній вид	Кристалічна маса коричневого кольору
Смак	Кислий специфічний
Запах	Специфічний
Розчинність	Легко розчинна в розведених кислотах, лугах і гарячій воді, важко розчинна у холодній воді і концентрованій соляній кислоті, майже нерозчинна в етиловому спирті, ефірі і ацетоні

За хімічними показниками технічна L-глутамінова кислота повинна відповідати вимогам, зазначеним в табл. 2. 2

Таблиця 2.2

Хімічні показники

Назва показників	Норми
Масова доля води, %, не більше	22,0
Масова доля L-глутамінової кислоти (в перерахунку на суху речовину), %, не менше	75,0
Масова доля хлоридів (СГ) (в перерахунку на суху речовину), %, не більше	10,0

Мікробіологічний синтез глутамінової кислоти

Найбільш перспективним і широко застосовуваним способом отримання глютамінової кислоти є мікробний синтез. Вперше японські вчені Кіношита, Асаї та інші повідомили в 1957 році про можливість отримання L-глютамінової кислоти безпосередньо з вуглеводів за допомогою мікроорганізмів у глибокій культурі.

Наразі було встановлено, що деякі штами дріжджів, мікроскопічних грибів і бактерій здатні виробляти глютамінову кислоту. Проте майже лише бактерії можуть синтезувати глютамінову кислоту з ефективністю не менше 40% від вихідного цукру чи іншої сировини. Тому промислове значення мають лише бактерії, що належать до родів *Micrococcus*, *Brevibacterium*, *Microbacterium*, *Corynebacterium*. Це переважно нерухливі паличкоподібні грампозитивні бактерії, які не утворюють спор. Специфічним для них є обов'язкова вимога до біотину або біотину і тіаміну. Сировиною для виробництва глютамінової кислоти, крім вуглеводів, можуть бути також різні вуглеводні, починаючи від природного газу (метан, етан) до n-парафінів або ароматичних речовин (бензиловий спирт, пірокатехін та ін.). Також можна використовувати дизельне паливо, оцтову кислоту, аміномасляну кислоту, фумарову кислоту та ряд інших продуктів.

Технологічна схема виробництва

Схема отримання глютамінової кислоти при використанні в якості джерел вуглецю глюкози або гідролізату крохмалю представлена на рис.3.1.

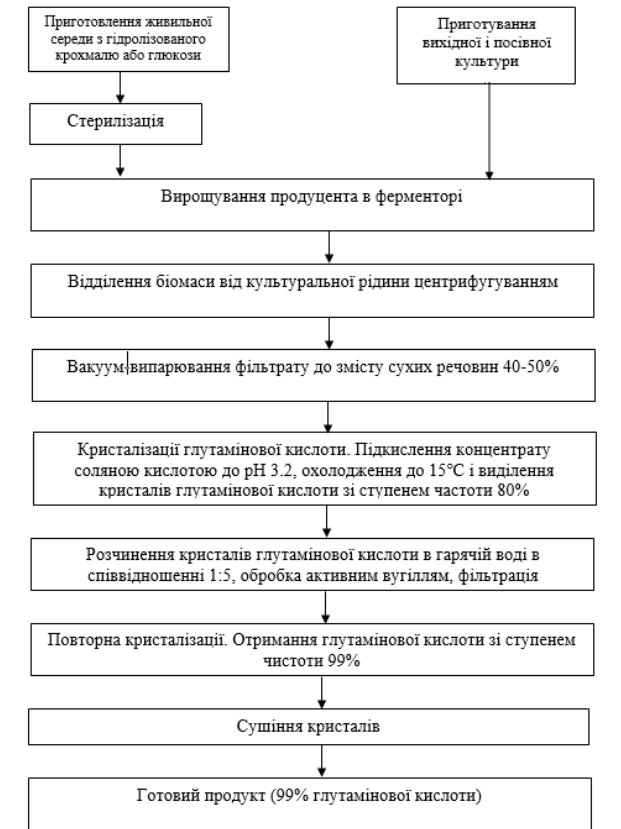


Рис.2.1. Схема отримання глутамінової кислоти

Основна технологічна схема виробництва глутамінової кислоти складається з наступних етапів: отримання насіння; приготування живильного розчину, його стерилізація, охолодження та посів готового насінневого матеріалу; вирощувати виробника в ферментері до накопичення максимальної кількості глутамінової кислоти; виділення глутамінової кислоти в кристалічній формі або у вигляді кристалів глутамату натрію, висушування кристалів, пакування та пакування.

Приготування поживного середовища

Для промислових штамів *Coryn. glutamicum* поживні середовища при виробництві посівного матеріалу, як правило, містять такі компоненти (у %):

Таблиця 3

Склад поживного середовища (у%)	
Меляса	8
Кукурудзяний екстракт	0,3
Хлорид амонія	0,5
Калія фосфат <u>двухзамішений</u>	0,05
Сульфат магнія	0,03
Вода	решта
<u>рН</u> середовища	7,0–7,2

Стерилізація поживного середовища, апаратів і комунікацій

Підготовка ферментерів (інокуляторів) до роботи починається з миття відпрацьованого обладнання, гарячої та холодної води, а потім обробки приладів і комунікацій гарячою парою. Стерилізація середовища проводиться традиційним способом, як і підготовка технологічного повітря. Розчинні компоненти середовища нагрівають до певної температури, потім витримують там, а потім охолоджують до температури бродіння.

Процес отримання глютамінової кислоти вимагає суворих асептичних умов, а особлива увага приділяється стерилізації не тільки навколишнього середовища, а й усіх реакторів, комунікацій, повітря, що подається.

Підготовка стартової та нової культури

Посадковий матеріал на кожному етапі його виробництва (від пробірок до сівалки) вирощується в суворих асептичних умовах протягом 24 годин. Склад середовища дещо змінюється при переході від одного штаму до іншого і залишається практично незмінним на кожній із проміжних стадій екстракції насіння. Тільки після того, як садівник виросте в посадковому апараті на живильному розчині, додайте до 0,1% стерильної синтетичної речовини для гасіння піни.

Накопичення біомаси до 6 - 8 м DIA на 1 л живильного розчину відбувається в аеробних умовах спочатку в 2 м³ інокуляторах, а потім у 5 м³ сівалок. Отриманий насінневий матеріал у кількості 5-6% (від об'єму

середовища виробничого апарату) стерильно направляють в основні ферментатори в кількості 50 м³. Коефіцієнт заповнення пристрою становить 0,7.

Вирощування продуцента у ферментаторі

Процес біосинтезу проводять у суворо асептичних умовах у ферментерах об'ємом 50 м³ і коефіцієнтом наповнення 0,7 протягом 48-52 годин. і інтенсивна аерація [80-85 мг Ог/(л-хв)], що відповідає витраті 1 об'єму повітря на 1 об'єм середовища за 1 хв. Температуру культури на всіх етапах підтримують на рівні 28-30 ° С. Після завершення процесу біосинтезу готова культуральна рідина містить до 45 м/л глютамінової кислоти. Вихід глютамінової кислоти по відношенню до спожитих цукрів становить 45-50%.

Оскільки виробництво глютамінової кислоти спрямоване на отримання високоочищених лікарських засобів, наступна технологічна схема передбачає виробництво продукції, що готується безпосередньо для використання в якості харчових добавок і у вигляді фармацевтичних форм.

Виділення глютамінової кислоти з культуральної рідини та її подальше очищення відповідно до вимог фармакопеї включає наступну послідовність технологічних операцій:

Попередня обробка культуральної рідини

Для цього додають до нього певну кількість негашеного вапна (або вапняного молока), а потім осаджують надлишок іонів кальцію фосфорною кислотою. Утворений осад сприяє кращому відділенню клітин-продуцентів та інших баластних домішок.

Відділення біомаси від культуральної рідини виконується центрифугуванням або фільтрацією під тиском.

Уточнення фільтрації

Він полягає в очищенні його від пігментних домішок, які забарвлюють нативний розчин у темний колір. Для цього фільтрат обробляють активованим вугіллям або піддають іонообмінній сорбції на аніонообмінній смолі ІА-1.

Концентрація освітленого розчину глютамінової кислоти

Його проводять випарюванням у вакуумі при 40-60 °С, при цьому від вихідного розчину глютамінової кислоти відганяють 50-80% води.

Осадження кристалів глютамінової кислоти в ізоелектричній точці

Цей етап здійснюється шляхом підкислення концентрату, отриманого на попередньому етапі, соляною кислотою при рН 3,2 (ізоелектрична точка глютамінової кислоти) і охолодженням розчину до 4-15 ° С. Одна операція забезпечує кристалізацію 77% глютамінової кислоти; після повторення врожайність зростає до 87%. Чистота отриманих кристалів становить 88%.

В результаті подальшої перекристалізації чистота отриманих кристалів може підвищитися навіть до 99,6%, що відповідає вимогам фармакопеї.

Відділення кристалів глютамінової кислоти від маточного розчину

Це досягається центрифугуванням з подальшим декантуванням і поверненням маточного розчину на етап вакуумного випарювання. Отримані кристали промивають підсоленою водою і сушать.

Сушіння кристалів глютамінової кислоти

Здійснюється у вакуумі або в потоці нагрітого повітря при 60-70 °С.

Відходи виробництва та охорона навколишнього середовища

При виробництві L-глютамінової кислоти в навколишнє середовище до складу конденсату і викидів з ферментера входять: бутиловий спирт, метилбутилкетон, фенол, крезол, піридин, циклогексиламін, ізомалієна кислота, пропіонова кислота та інші речовини.

Технологічні стоки та змивки, включаючи клітини-продуценти, амінокислоти та інші компоненти культуральної рідини, а також слідові кількості глютамінової кислоти, об'єднують, випарюють і сушать наповнювачем до залишкової вологості 10%. Отримують препарат, який використовують як кормовий продукт, він містить до 40% білка.

2.2. Опис запропонованого технічного рішення, принцип роботи сушильного апарата СП-60М

Порційна сушарка СП-60М призначена для сушіння сипучих матеріалів і таблеток, здатних до псевдозрідження гранул, які не містять органічних розчинників з вологістю не більше 50%.

Сушарка забезпечує сушіння порошкоподібних і сипучих матеріалів в діапазоні температур від 20 до 80 °С в автоматичному режимі і може застосовуватися в хімічній та фармацевтичній промисловості.



Сушарка виготовлена в кліматичних умовах РНЛ 4.2 (помірні та холодні макрокліматичні зони, при роботі в лабораторіях, капітальних будинках) згідно з ГОСТ 15150-69 «Машини, прилади та інші технічні вироби. Конструкція для різних кліматичних регіонів. Категорії, експлуатація, умови зберігання та транспортування залежно від кліматичних факторів зовнішнього середовища "і повинні бути встановлені в приміщенні Б згідно з НАПБ В.03.002-2007" Норми визначення категорій приміщень, будівель і зовнішніх установок за вибухо- та пожежною небезпекою "клас Б. -II згідно НПАОП 40.1-1.21-98. Принципи безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Опис сушарки СП-60М та її компонентів (рис. 2.1). Візки з мішалкою 1 і без мішалки 2 призначені для транспортування ємності з продуктом, а також для кріплення та кріплення бака в спеціальному відсіку сушильної коробки.

Візок оснащений чотирма спеціально роробленими колесами для маневреності, два задні колеса візка поворотні. На візку встановлений бункер для продуктів. Дно бака перфороване і утворює газорозподільну мережу. Бак виготовляється з мішалкою і без. Резервуар без мішалки оснащений пристроєм для зняття статичної електрики 13 у вигляді каркаса зі стрижнів.

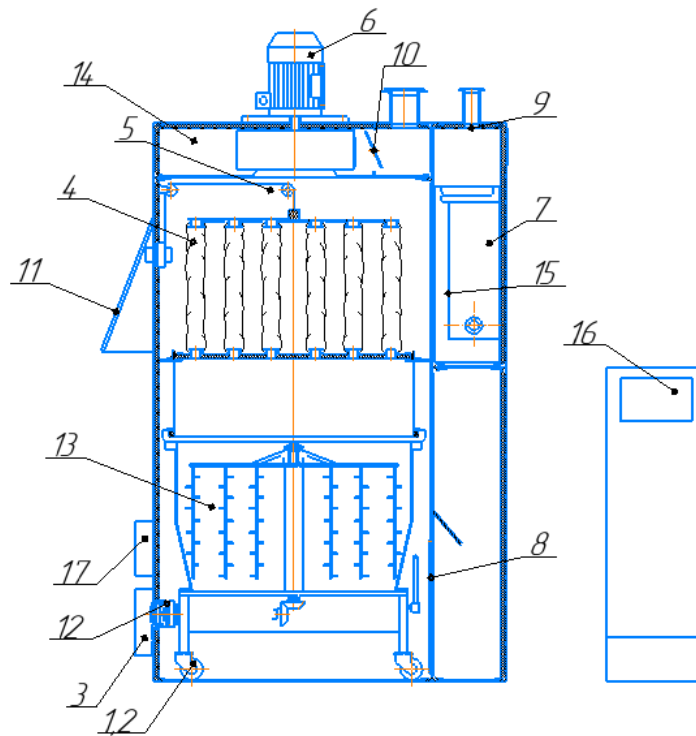


Рис. 2.1. Сушарка СП-60М

На рамі візка встановлений підйомний механізм кулачкового типу. На каретці з зворощувачем встановлений зубчастий механізм, який за допомогою зчпного механізму з'єднаний з приводом мішалки 3.

В інших випадках використовується візок без зворощувача.

Привід мішалки 3 є вертикально розташованим поворотним пневмоприводом і служить для приводу механізму мішалки.

Рушковий фільтр 4 виготовлений із тканини артикул 86013 ОСТ 17-452-84 циліндричні рукави, пришиті до низу тканини, кожен з яких за допомогою кілець прикріплений до підвіски перемішувального механізму 5. Нижня частина (низ) Рушковий фільтр із затиском кріпиться до корпусу. Рушковий фільтр призначений для видалення пилу з вихлопних газів. Для регенерації

рукавного фільтра під час роботи передбачений механізм перемішування. Після випробувань на стійкість фільтри з цієї тканини витримують повітряні удари, які в 2-3 рази перевищують діючі. Використання рукавних фільтрів Карпон дозволяє значно продовжити термін служби рукавних фільтрів, зменшуючи викиди пилу в повітря та зменшуючи втрати продукту.

Вентилятор 6 являє собою крильчатку, закріплену на валу електродвигуна і вбудовану в спеціальну камеру корпусу сушарки (черв'яка), зсередини обшиту акустичною ізоляцією з перфорованої вінілової стрічки і пінопласту. Вентилятор служить для створення потоку повітря - теплоносія в робочій камері сушарки.

Ударний механізм 5 являє собою пневматичний циліндр, встановлений вертикально на верхній частині корпусу сушарки 14 і з'єднаний важільною системою з підвісом рукавного відділення. Механізм регенерує (струшує) рукавний фільтр відповідно до встановленої циклограми.

Повітрянагрівач 7 являє собою блок нагрівачів, встановлений у спеціальній камері корпусу 14, він служить для підігріву повітря, що надходить для сушіння.

Фільтр 8 складається з фільтруючого матеріалу, встановленого між двома рамами з куточків, смужок і сіток і служить для очищення повітря, що надходить для сушіння. Фільтр встановлюється в отвір (вікно) корпусу 14 між сушильною камерою і камерою нагріву.

Заслонка 9 складається з пневмоциліндра, з'єданого важелем із заслінкою, встановленої на виході з сушарки, і служить для припинення подачі повітря до сушарки під час змішування рукавного фільтра 4.

Заслонка 10 встановлена на виході з сушарки і служить для регулювання потоку повітря в сушарній камері. Потік контролюється вручну за допомогою механізму управління заслінкою.

Запобіжний клапан 11 складається з двох листів вінілу, шарнірно прикріплених до корпусу сушарки, які закривають два вікна на задній стінці сушильної камери.

У разі надлишкового тиску в сушильній камері листи викидаються і розширюються.

Зчіпний механізм 12 (муфта) являє собою напівкруглий гак з двома штифтами, який шарнірно прикріплений до стінки корпусу сушарки з боку приводу мішалки. Поворотом ручки на 180° у вертикальній площині напівмуфта муфти з'єднується з тиском поворотного механізму з напівмуфтою на осі пневмопривода 3.

Пристрій для усунення статичної електрики:

а) 13 являє собою брускову раму, встановлену в резервуарі без мішалки і заземлену за допомогою штекерного з'єднання, встановленого на корпусі резервуара.

б) У баку з мішалкою функцію пристрою для усунення статичної електрики виконує шток мішалки.

Кожух 14 являє собою несучу конструкцію, виготовлену з повністю зварної листової сталі і укріплену зверху швелером і кутником. Корпус має відділення для візка 1 і 2, змішувальний механізм 5, привід вентилятора 6, повітрянагрівач 7, рукавний фільтр 8. На верхній частині корпусу є чотири підвісних вушка для перенесення сушарки за допомогою крана.

Двері 15 складаються з лівого і правого сталевих листа. Гільйотина оснащена скляними вікнами для контролю процесу сушіння, фіксатором з ручкою, ущільнювачем гумового шнура та петлями для кріплення до корпусу сушарки. Дверцята закривають камери для візка, рукавного фільтра та мішалки.

Панель управління 16 являє собою зварну конструкцію з кутника і листової сталі і використовується для зберігання електрообладнання та органів управління. На передній панелі розташовані кнопки керування та пристрої

візуального спостереження. Панель управління оснащена дверцятами, що закриваються на замок.

Пневмообладнання 17 складається з блоку очищення і блоку розподілу повітря. Блоки встановлюються на окремі пластини і кріпляться до корпусу сушарки.

2.3. Методики досліджень

Методом моделювання називається такий загальнонауковий метод дослідження, при якому вивчається не сам об'єкт пізнання, а його зображення у вигляді так званої моделі, але результат дослідження переноситься з моделі на об'єкт. Вивчення того чи іншого об'єкта проводиться за допомогою вивчення іншого об'єкта, в якому в відношенні подібного першому, з подальшим перенесенням на перший об'єкт результатів вивчення другої. Останній називають моделлю першого. Можна також розглядати метод або технологію процесу як модель належного, тобто нормативну модель, що втілює загальне уявлення про систему методичних прийомів. Моделювання лежить в основі процесів побудови моделей. Загальне уявлення про моделювання знаходить свою конкретизацію в проекті виробничої діяльності. Як правило, проект містить конкретні норми такої діяльності, адресовані практиці.

Під математичною моделлю реальної системи (процесу) розуміють сукупність співвідношень (формул, рівнянь, нерівностей, логічних умов, операторів тощо), які визначають характеристики станів системи залежно від її параметрів, зовнішніх умов (вхідних сигналів, впливів), початкових умов та часу. Загалом за визначенням В.М. Глушкова математична модель - це множина символічних математичних об'єктів і співвідношень між ними. За М.М. Амосовим, математична модель – це система, що відображає іншу систему.

Математичні моделі можна досліджувати такими методами:

а) аналітичними, що дають змогу отримати у загальному вигляді явні залежності для досліджуваних характеристик;

б) чисельними, що дають можливість одержати числові значення шуканих параметрів при конкретних початкових і межових умовах;

в) якісними, за допомогою яких можна визначити певні властивості розв'язку (стійкість, монотонність, характер змінювання, асимптотика тощо) без отримання його в явному вигляді;

г) аналоговими, що дають змогу вивчати властивості досліджуваної системи за допомогою певного реального об'єкта, наприклад електричної схеми, яку можна подавати за допомогою тієї самої математичної моделі.

Замість фізичних експериментів часто використовується комп'ютерне моделювання, яке робить імітацію технічних процесів і модернізацію обладнання.

Для створення креслень і 3Д моделей використовувалась програма КОМПАС 3D, а під час моделювання програма SolidWorks і EDEM.

“Компас 3D” вже стала стандартом для інженерів підприємств промислового виробництва завдяки простому інтерфейсу та широким можливостям моделювання для інженерів. Її часто використовують архітектори та будівельники для розробки креслень будівель та металоконструкцій. В основному орієнтована на промислове виробництво різноманітних приладів, пристроїв та апаратів.

“Компас 3D” – є комплексною системою автоматизованого проектування, спрямовану як на машинобудування, а й у розробку креслень, проектування кабельних систем та створення документів для інженерних проектів.

У 21 столітті CFD-моделювання стало невід'ємною частиною цифрового підприємства. За допомогою цього класу програмного забезпечення створюються віртуальні аеродинамічні лабораторії та дослідні басейни для повномасштабного випробування техніки. CFD рішення позбавлені недоліків лабораторій:

- Відсутні обмеження на масштаб моделі;
- Відсутні датчики та державки, що спотворюють реальну картину течії;

- Стає можливим вивчення процесів, які неможливо відтворити в лабораторії з необхідною достовірністю (наприклад, аварійні режими роботи атомних електростанцій або посадка космічного зонда в марсіанській атмосфері і при відповідному тяжінні).

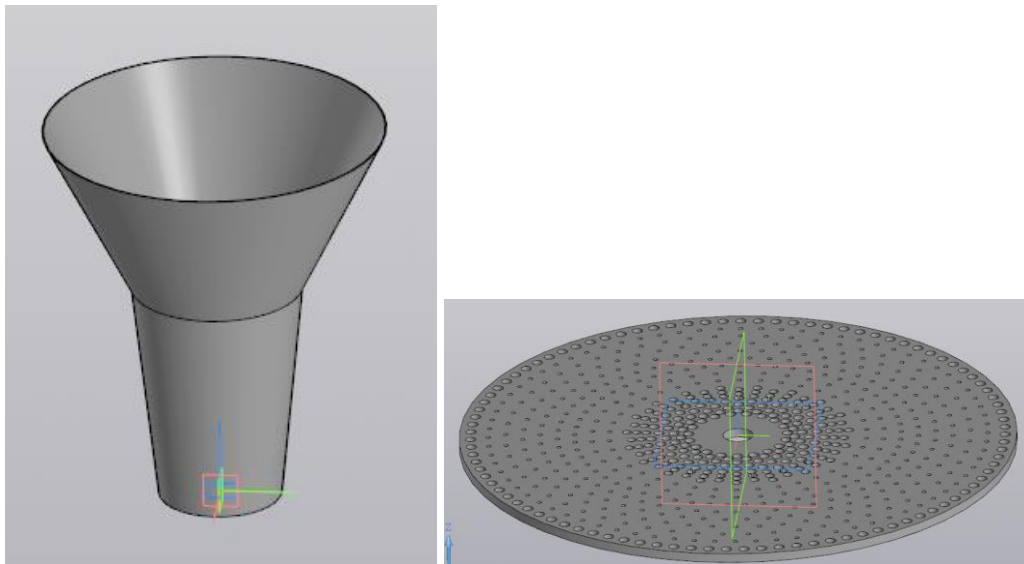
SolidWorks та подібні програми для обчислювальної гідродинаміки дозволяють заощадити час та кошти на створення лабораторного стенду, прототипу та проведення самих дослідів.

Часточки киплячого шару взаємодіють одна з одною переважно за допомогою контактів, тому для їх опису використовується метод дискретних елементів, який належить до групи методів опису руху великої кількості частинок розміру порядку мікрметра та крупніших. Існує певна подібність методу з методом молекулярної динаміки: рух частинок встановлюється за допомогою інтегрування рівнодіючої сили. Різниця полягає у введенні обертових ступенів вільності, контактних взаємодій і складної геометрії модельованих частинок – багатогранників. Також на відміну від положень молекулярної динаміки, де частинка представляє атом, дискретні елементи відповідають зернам матеріалу, які можна побачити неозброєним оком: піщинкам каменя, гранулам, краплинам рідини, яка розпилюється.

2.4 Постановка задачі моделювання

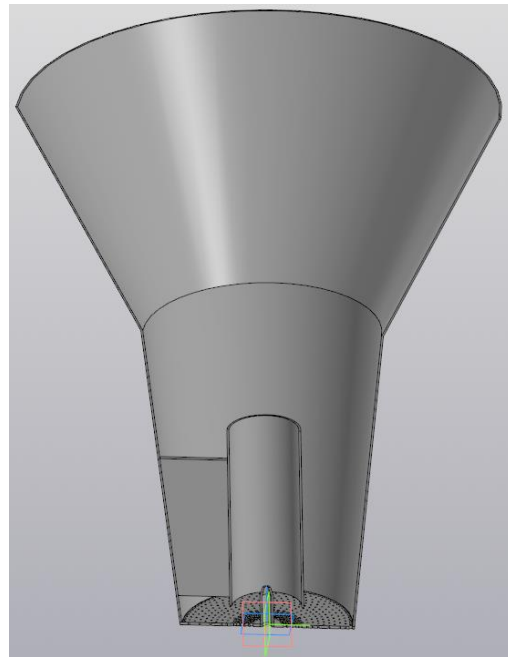
Задача руху частинок у псевдозрідженому шарі моделювалася у модулі Flow Simulation програмного комплексу Solid Works, де проаналізовано рух повітря, та програмі EDEM, в якій розглянуто рух частинок з урахуванням результатів, отриманих у Flow Simulation.

Дослідження процесів, що відбуваються у псевдозрідженому шарі, потребувало створення твердотільних моделей корпусу, газорозподільної решітки, труби Вурстера (рис.2.2).



а

б



в

Рис.2.3 3Д геометричні моделі:

а – корпус; б – газорозподільна решітка; в – обладнання в зібраному стані

На початку моделювання в програмі Flow Simulation задано речовину, рух якої моделюється – повітря.

Досліджується рух частинок в апараті Вурстера (рис.2.3), який відрізняється від інших апаратів псевдозрідженого шару наявністю роздільного циліндра, встановленого в центрі апарату на підтримуючій опорі. Між дном

апарату і цилиндром є регулюючий зазор шириною кількох діаметрів частинок. Камера являє собою циліндричну порожнину, яка має розширення зверху. У робочому режимі крізь розподільчу решітку, встановлену в дні камери, надходить потік повітря. Зверху камера нічим не обмежена, тому повітря виходить без протидії через верхню границю. Через складну геометрію газорозподільчої решітки вхідна швидкість повітря в різних частинах поверхні дна різна, а співвідношення швидкості встановлюється з дотриманням еквівалентності падіння при проходженні повітряного тиску по всій її поверхні.

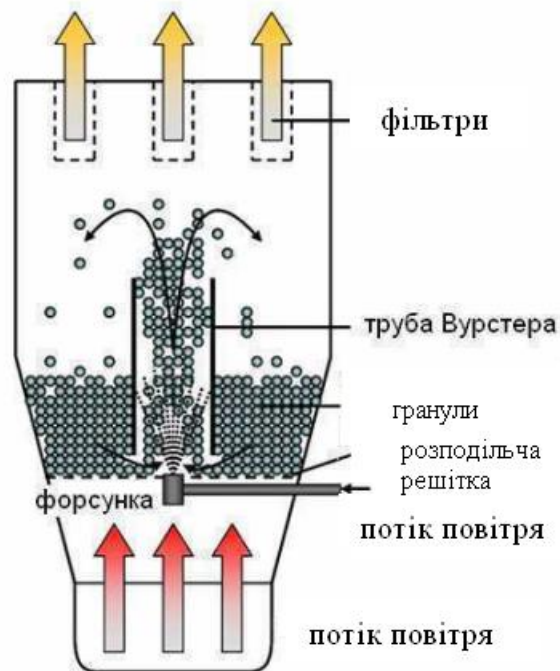


Рис. 2.3. Схема апарата Вурстера

Матеріалом стінок апарата прийнята сталь, механічні характеристики якої: густина 7800 кг/м^3 , модуль Юнга 210 ГПа , модуль зсуву $79,3 \text{ ГПа}$, коефіцієнт Пуассона $0,28$.

Характеристики матеріалу, необхідні для встановлення контактної взаємодії, наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Механічні властивості часточок, рух яких моделюється

Характеристика	Значення
Густина, кг/м^3	1140

Діаметр часточки, мм	2,8
Модуль Юнга, ГПа	2,7
Модуль зсуву, ГПа	1,04
Коефіцієнт Пуассона	0,3
Коефіцієнт відновлення при ударі об часточку	0,68
Коефіцієнт відновлення при ударі об стінку	0,68
Коефіцієнт тертя кочення	0,132

Для розрахунку була побудована сітка з расчета была прийнята сітка з 25343 тетраедричних елементів.

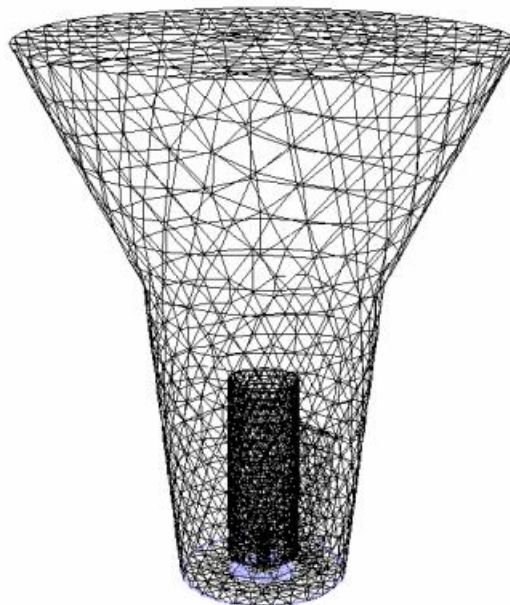


Рис.2.4. Прийнята для розрахунку сітка кінцевих об'ємів

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Для робочого режиму порожнього апарату розподіл швидкості газу представлено на рис.3.1. Помітна осьова симетрія поля, що є наслідком симетрії геометрії та граничних умов.

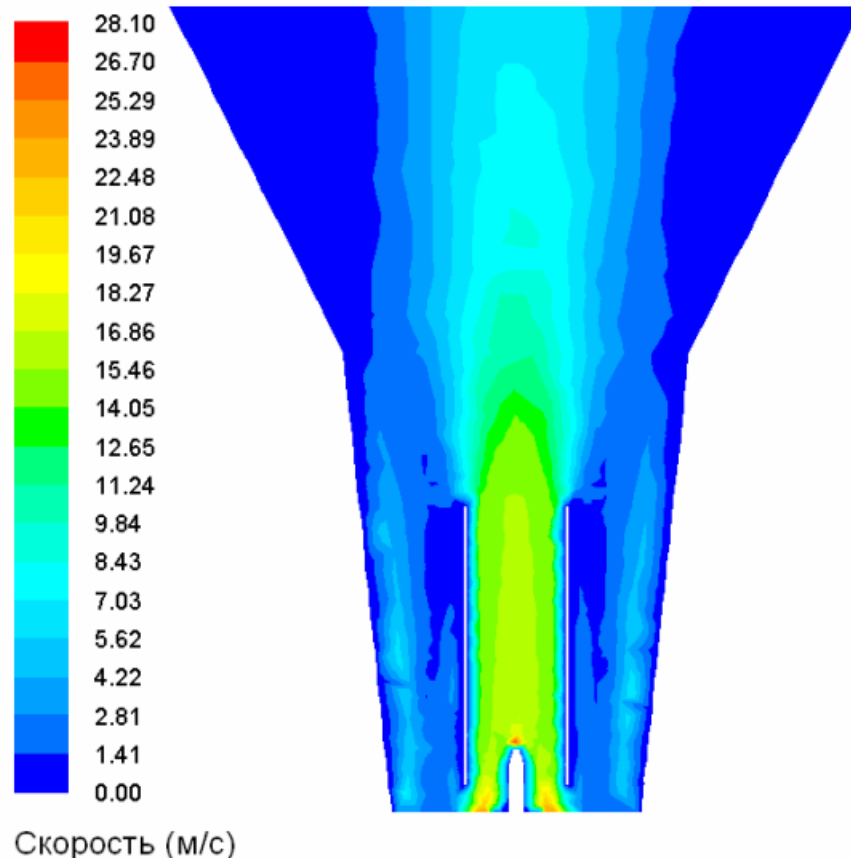


Рис.3.1. Розподіл швидкості повітря при проходженні через порожній апарат

Можна виділити три характерні зони дна: зона всередині циліндра – в ній швидкість вхідного потоку повітря достатньо велика, щоб частинки, потрапивши у нього, рухалися вгору; зона зовні циліндра – в ній швидкість повітря така, що маса речовини, яка осідає на дно, псевдооживується; і пристінна зона поряд із зовнішньою стінкою апарата – там швидкість газу досить велика, щоб в куті між стінкою і дном апарата не відбувалося

Відповідальна організація ІНУТ	Технічне узгодження	Вид документа <i>Посвідчення записки</i>	Статус документа			
Власник документа ІНУТ	Розробник документа	Назва, додаткова назва РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ	200505.MP.00.003 ПЗ			
	Документ затверджено		Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/5

осадження і накопичення часточок. У центрі апарату встановлена форсунка, крізь яку на високій швидкості надходить потік повітря.

Для опису руху дискретного середовища використовувався програмний пакет EDEM з ітераційним кроком за часом 10^{-6} сек. Використовувалася вбудована в оболонку контактна модель взаємодії частинок Hertz-Mindlin. Обмін даними між програмами відбувався за допомогою інструмента EDEM-Fluent Coupling, DEM Solutions.

Моделювання проводилося для 75000 сферичних частинок протягом 1.5 сек.

До кінематичних показників відносяться поля лінійної швидкості, кутової швидкості дискретного середовища, поле швидкостей суцільного середовища.

На рис.3.2 – 3.3 відображені поля швидкостей у центральному вертикальному перерізі камери.

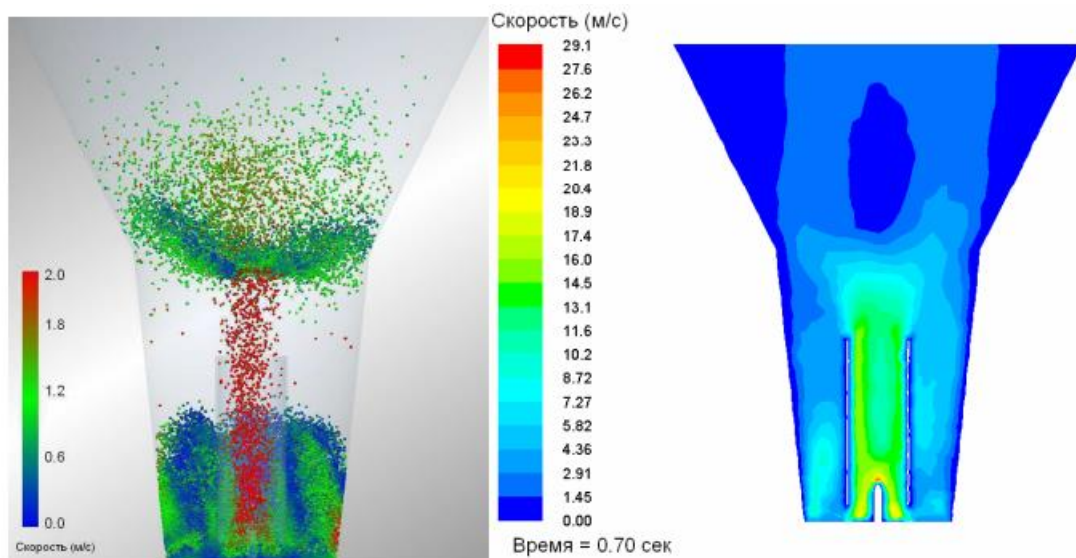


Рис. 3.2. Швидкості середовищ у момент $t = 0.7$ с
(ліворуч – дискретне середовище, праворуч – суцільне)

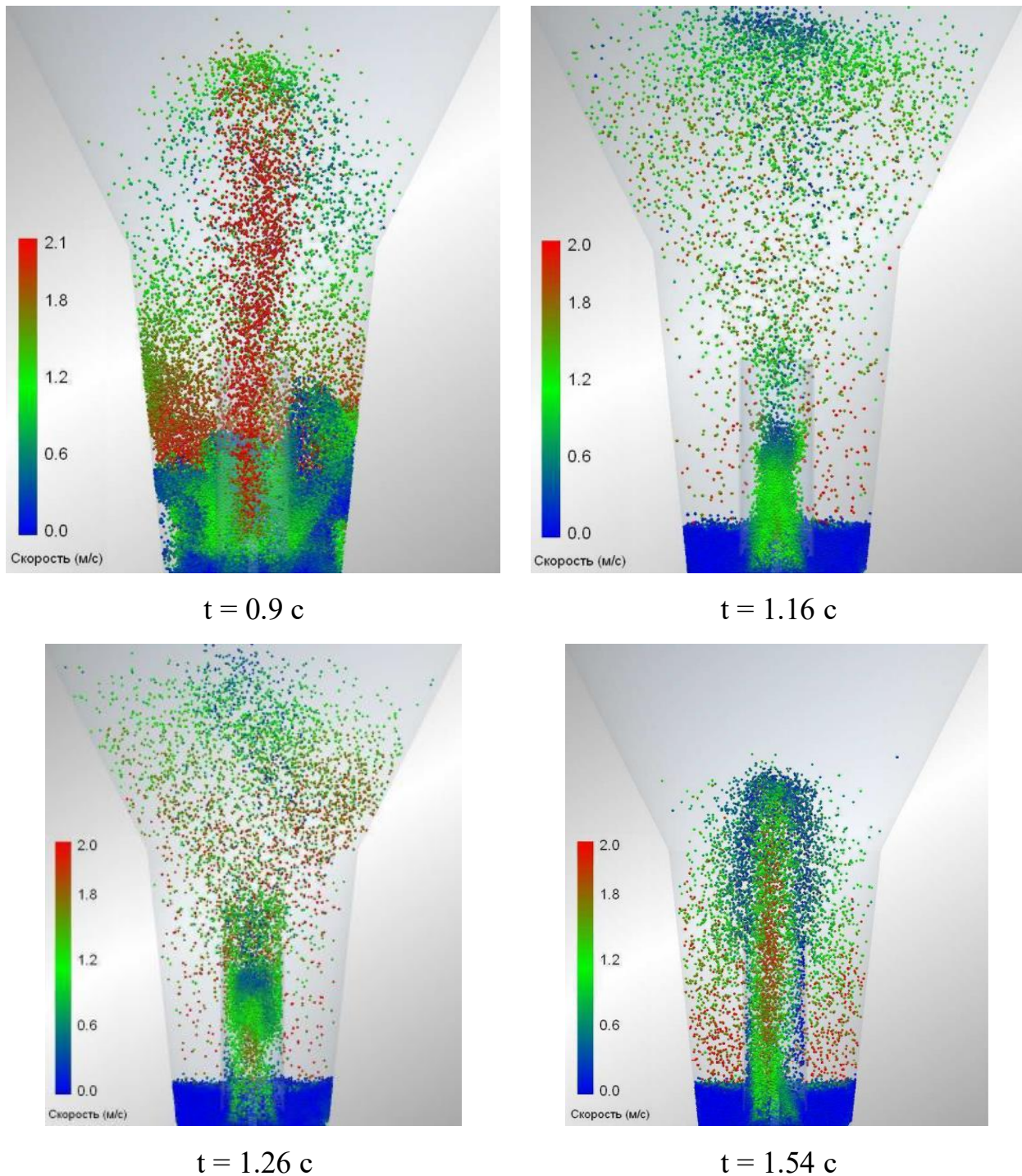


Рис. 3.3. Поле швидкостей дискретного середовища

Рух частинок відбувається таким чином: часточка, що впала на дно апарату, бере участь в активному перемішуванні внаслідок псевдозрідження, потрапляє через зазор між циліндром і дном всередину циліндра - концентрація часточок зовні циліндра значно більша, ніж усередині циліндра, тому відбувається постійна міграція частинок, що знаходяться поблизу дна, до центру апарату – потрапляє в зону потоку повітря високої швидкості,

підноситься, потрапляє в конус розпилення повітря з форсунки, набуває ще більшої швидкості, вилітає через верхню грань циліндра і осідає на дно.

Швидкість потоку часточок збільшується приблизно до 0,75 с (рис. 3.4), після чого в момент часу $t = 1$ с відбувається різке падіння швидкості, імовірно, у зв'язку зі стабілізацією маси частинок після вибуху на початку через накладання граничних умов. Але повної стабілізації немає.

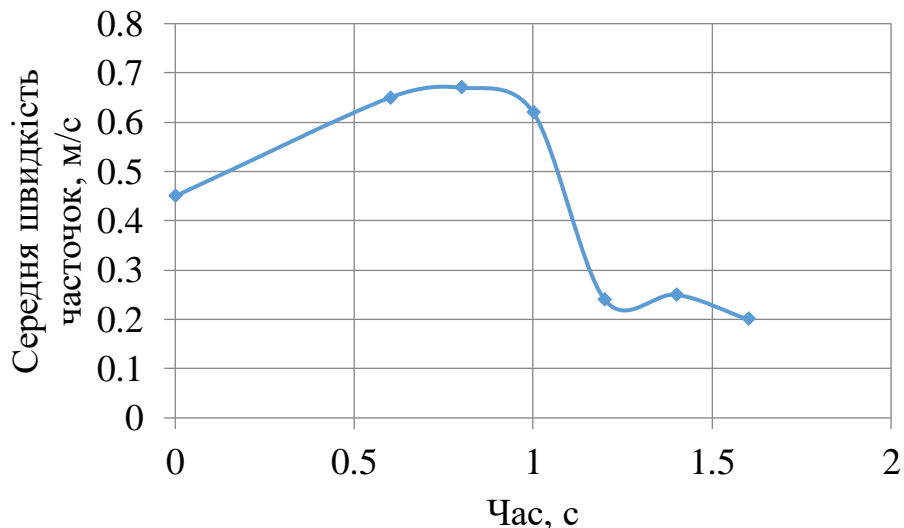
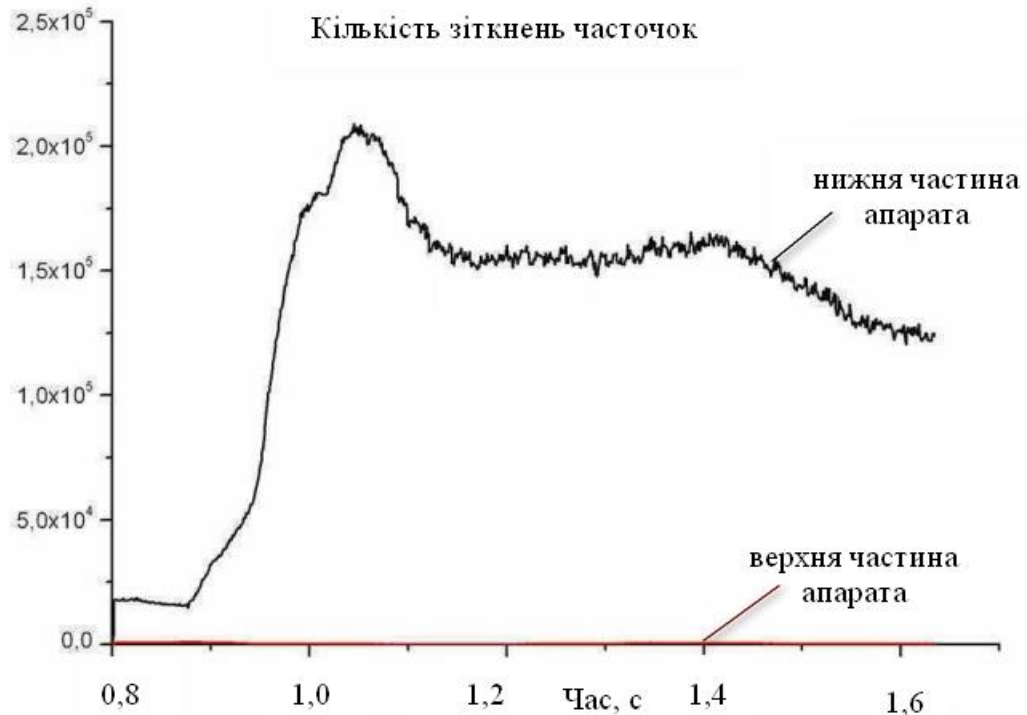


Рис.3.4. Зміна середньої швидкості потоку в часі

Оскільки контактна взаємодія часточок – основний спосіб зміни динаміки частинок у цій задачі, вивчення контактних показників становить чималий інтерес.

На рис.3.5 представлена залежність кількості зіткнень між частинками в одиницю часу.



3.5. Розподіл кількості зіткнень по об'єму камери

На дні камери відбувається величезна кількість контактів у щільному гранульованому середовищі, а у верхній частині, де частинки меншою мірою заселяють більший об'єм, довжина вільного пробігу часточок різко зростає, відповідно кількість зіткнень зменшується.

РОЗДІЛ 4. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

При виборі конструкційних матеріалів враховуються специфічні вимоги до вибору матеріалів при проектуванні технологічних пристроїв, властивості та безпека різних матеріалів при їх взаємодії з: корозійними біотехнологічними середовищами, мийними та дезінфікуючими засобами, високою температурою, високою витратою, значні перепади тиску тощо.

Однією з основних вимог до матеріалів, що використовуються для технологічних пристроїв, є їх висока стійкість до корозії. Більше того, ці матеріали знищуються органічними методами. При виборі будівельного матеріалу, що контактує з навколишнім середовищем, слід враховувати токсичність матеріалу, а також згоду санітарних органів на його використання в безпосередньому контакті з конкретним технологічним середовищем фармацевтичного виробництва; стійкість до корозії до тривалого впливу на матеріал реальних мікробіологічних середовищ, підвищених температур і тиску, а також очисних і дезінфікуючих розчинів; механічна стійкість при виконанні необхідних циклів роботи деталей, вузлів і механізмів машини; економічна ефективність.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що термін служби пристрою в першу чергу буде визначатися властивостями обраних матеріалів, їх зносостійкістю. Тому одним з основних способів збільшення терміну служби і надійності пристрою є правильний підбір будівельних матеріалів.

Матеріал деталей сушарки з псевдозрідженим шаром вибирається залежно від середовища, з яким вони контактують. Оскільки середовищем є проміжний продукт фармацевтичного виробництва – глютамінова кислота, ми використовуємо високолеговану корозійностійку сталь 12X18H10T ГОСТ

Відповідальна організація ЦМУТ	Технічне узгодження	Вид документа <i>Посвідчення зариски</i>		Статус документа			
Власник документа ЦМУТ	Розробник документа	Назва, додаткова назва ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ	200505.MP.00.004 ПЗ				
	Документ затверджено						

Матеріалом для корпусу сушарки є сталь 45, оскільки ця сталь відносно дешева, проста в роботі і витримує високі температури.

Труби кожухотрубного теплообмінника повинні бути виготовлені з корозійностійкої високолегованої сталі 10X17H13M2T (AISI 316 L)

Шлангові фільтри виготовлені з технічного капрону.

Пінополіуретан у вигляді пористих пластин служить фільтруючим матеріалом для очищення холодоагенту на вході в осушувач. Матеріал стійкий до сполук різних класів і зберігає свої властивості до температури 423 К. Перед установкою в сушарку його піддають багаторазовій обробці концентрованими лугами. Для регенерації після засмічення пилом пластини фільтра промивають гарячою водою з миючими засобами.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Вихідні дані:

Продуктивність сушильного апарату $G_k = 0,166$ кг/с.

Вологість:

початкова $\omega_1 = 8\%$.

кінцева: $\omega_2 = 0,3\%$.

Температура повітря:

данні при вході в сушарку: $t_1 = 110^\circ\text{C}$

данні при виході з сушарки: $t_1 = 70^\circ\text{C}$

Початкова температура матеріалу: $t_{m1} = 10^\circ\text{C}$

Кінцева температура матеріалу: $t_{m2} = 65^\circ\text{C}$

5.1. Технологічний розрахунок

Продуктивності сушарки по сирому матеріалу G_n розраховується враховуючи масу матеріалу, який одночасно завантажується ($m=60$ кг), і тривалість основних ($\tau_1=120$ с) та допоміжних операцій ($\tau_2=210$ с):

$$G_n = \frac{m}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{60}{122 + 210} = 0,18 \text{ кг/с.}$$

По висушеному матеріалу продуктивність сушарки

$$G_k = G_n \frac{100 - W_1}{100 - W_2} = 0,18 \cdot \frac{100 - 8}{100 - 0,3} = 0,167 \text{ кг/с}$$

де G_n, G_k – продуктивність сушарки по висушеному і вологому матеріалу, кг/с;

W_1, W_2 – вологість матеріалу на вході в сушарку і на виході з неї, %.

Відповідальна організація ІНУТ	Технічне узгодження	Вид документа <i>Посвідчення зарплати</i>		Статус документа			
Власник документа	Розробник документа	Назва, додаткова назва РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА		200505.MP.00.005 ПЗ			
ІНУТ	Документ затверджено						

Кількість вологи що випарувалась:

$$W = G_H - G_K = 0,18 - 0,167 = 0,013 \text{ кг/с.}$$

Визначення витрати повітря, діаметра сушарки і швидкості газів.

Розраховуємо витрати вологи, що видаляється з висушеного матеріалу:

$$W = G_k \frac{w_H - w_k}{100 - w_H}, \text{ кг/с}$$

$$W = 0,166 \cdot \frac{8 - 0,3}{100 - 8} = 1,14 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с.}$$

Розрахунок внутрішнього теплового балансу сушильного апарата:

$$\Delta = c \cdot \theta_1 + q_{\text{доп}} - (q_m + q_M + q_n), \text{ кДж/кг}_{\text{вологи}},$$

де Δ – різниця між питомими приходом і витратою тепла в самій сушильній камері,

c – теплоємність повітря, $1,01 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$

$q_{\text{доп}}$ – питоме додаткове підведення тепла в сушильній камері, $q_{\text{доп}} = 0 \text{ кДж/кг}$,

q_m – питомі витрати тепла

q_M – питомі витрати теплоти та нагрівання матеріалу

$$q_M = G_k \cdot c_M \cdot \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{W},$$

де c_M – теплоємність висушеного матеріалу, $c_M = 0,8 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$,

θ_1 – температура повітря, $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$,

q_n – питомі витрати тепла безпосередньо в навколишнє середовище, $\text{кДж/кг}_{\text{вологи}}$.

$$\Delta = 1,01 \cdot 10 - \frac{(35 - 16) \cdot 0,8 \cdot 0,166}{1,98 \cdot 10^{-5}} - 15 = 1,3 \text{ кДж/кг}_{\text{вологи}}.$$

На діаграмі $I - x$ по заданим параметрам $t_0 = 10^\circ\text{C}$ і $\phi = 80\%$ знаходимо ентальпію та вологовміст ($x_0; i_0$) свіжого повітря: $x_0 = 0,006 \frac{\text{кг}_{\text{вологи}}}{\text{кг}_{\text{сух.повітря}}}$, $i_0 = 28 \text{ кДж/кг}$. При нагріванні повітря в калорифері до $t_0 = 100^\circ\text{C}$ при $x_0 = x_1$, $i_1 = 118 \text{ кДж/кг}_{\text{с.п.}}$. Щоб визначити параметри відпрацьованого повітря необхідно на

діаграмі $I - x$ побудувати робочу лінію процесу сушіння. Вологовмісту повітря задаємо довільним значенням.

$x = 0,02$. Температура повітря після калорифера $t_2 = 45^\circ\text{C}$, $i_0 = 68\text{кДж/кг}_{\text{с.п.}}$,
 $x_2 = 0,023\text{кг/кг}_{\text{сух.пов.}}$.

Рівняння лінії процесу сушіння:

$$i = i_1 + \Delta(x - x_1)$$

$$i = 118 - 3,4(0,02 - 0,006) = 113\text{кДж/кг.}$$

$$L_{\text{с.п.}} = \frac{W}{x_2 - x_1} \text{кДж/с,}$$

Витрати повітря L на сушіння:

$$L_{\text{с.п.}} = \frac{1,16 \cdot 10^{-3}}{0,023 - 0,006} = 0,138 \text{кДж/с.}$$

Середня температура $t_{\text{ср}}$ повітря в сушильному апараті:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2}{2},$$

$$t_{\text{ср}} = \frac{110 + 70}{2} \approx 90^\circ\text{C.}$$

Середнє значення вологовмісту $x_{\text{ср}}$ в сушильному апараті:

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_1 + x_2}{2},$$

$$x_{\text{ср}} = \frac{0,006 + 0,023}{2} = 0,0145 \frac{\text{кг}_{\text{вол.пов.}}}{\text{кг}_{\text{с.п.}}}$$

Середня густина повітря $\rho_{\text{ср}}$ і водяних парів $\rho_{\text{в.п.}}$:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{M_{\text{с.п.}}}{\nu_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{ср}}},$$

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{29}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 90} = 1,02\text{кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{в.п.}} = \frac{\mu_{\text{в.}}}{\nu_0} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{ср}}},$$

$$\rho_{\text{в.п.}} = \frac{18}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 90} = \frac{0,63\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Середня об'ємна продуктивність по повітрю V :

$$V = \frac{L}{\rho_{cp}} + \frac{x_{cp} \cdot L}{\rho_{в.п.}}$$

$$V = \frac{0,138}{1,02} + \frac{0,0145 \cdot 0,138}{0,63} = 0,138 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Далі розраховуємо фіктивну швидкість початку псевдозрідження:

$$w_{пс} = \frac{Re \mu_{cp}}{\rho_{cp} d_e}$$

де $Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$ – критерій Рейнольдса,

$Ar = d_e^3 \rho_{cp} g \rho_{ч} / \mu_{cp}^2$ – критерій Архімеда,

де μ_{cp} – в'язкість повітря при середній температурі $t_{cp} = 90^\circ\text{C}$.

$$Ar = \frac{(0,8 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1,02 \cdot 9,81 \cdot 1450}{(2,08 \cdot 10^{-5})^2} = 1,72 \cdot 10^4,$$

$$Re = \frac{1,72 \cdot 10^4}{1400 \cdot 5,22\sqrt{1,72 \cdot 10^4}} = 8,25,$$

$$w_{пс} = \frac{8,25 \cdot 2,08 \cdot 10^{-5}}{1,02 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}} = 0,21 \text{ м/с}.$$

Для часточок глютамінової кислоти діаметром d_e вираховуємо Критерій Архімеда:

$$Ar = \frac{(0,8 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 1,02 \cdot 9,81 \cdot 1450}{(2,08 \cdot 10^{-5})^2} = 1,72 \cdot 10^4.$$

Швидкість винесення найбільш легких часточок:

$$w_{с.в.} = \frac{\mu_{cp}}{d \rho_{cp}} \cdot \left(\frac{Ar}{18 + 0,575\sqrt{Ar}} \right),$$

$$w_{с.в.} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5}}{0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1,02} \cdot \left(\frac{1,72 \cdot 10^4}{18 + 0,575\sqrt{1,72 \cdot 10^4}} \right) = 4,7 \text{ м/с}.$$

Число критичного псевдозрідження:

$$K_{\text{пр}} = \frac{4,7}{0,21} = 22,4.$$

Робоча швидкість ω сушильного агента приймається в межах від $w_{\text{пс}}$ до $w_{\text{с.в.}}$. Ця швидкість залежить від граничного числа псевдозрідження $K_{\text{пр}} = w_{\text{в.с.}}/w_{\text{пс}}$: якщо $K_{\text{пр}}$ більше 40 – 50, то робоче число псевдозрідження $K_w = w/w_{\text{пс}}$ рекомендується приймати в інтервалі від 3 до 7; якщо ж, як у нашому випадку, $K_{\text{пр}}$ менше 20 – 30, то значення K_w потрібно вибрати в інтервалі від 1,5 до 3. Приймаємо $K_{\text{пр}} = 1,5$.

Швидкість сушильного агента в робоча дорівнює:

$$\omega = K_w \cdot w_{\text{пс}}, \text{ м/с}$$

$$w = 2,3 \cdot 0,21 = 0,483 \text{ м/с.}$$

Діаметр сушильного апарата:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \text{ м}$$

$$d = \sqrt{\frac{0,166}{0,785 \cdot 0,483}} = 0,66 \text{ м.}$$

5.2. Теплотехнічний розрахунок

Висота псевдозрідженого шару

Висота псевдозрідженого шару матеріалу, що висушується, може бути визначена на основі експериментальних даних по кінетиці, як тепло-, так і масообміну.

$$\text{Прийнявши } dM = \omega \rho_{\text{ср}} S dx = \beta_y (x^* - x) dF,$$

де M – продуктивність по випаруваній волозі, кг/с;

S – поперечний переріз сушильного апарата, м²;

x, x^* – робочий і рівноважний вологовміст повітря, $\frac{\text{кг}_{\text{вол.пов.}}}{\text{кг}_{\text{с.п.}}}$;

F – поверхня матеріалу, що висушується, м²;

$\rho_{\text{ср}}$ – густина сухого повітря при середній температурі в сушильному апараті, кг/м³.

За умови утворення грудочок часточок замінимо поверхню висушуваного матеріалу dF на $dF = [6(1 - \varepsilon)/d_e]Sdh$, де h – висота псевдозрідженого шару, м. Проінтегрувавши отриманий вираз та розділивши змінні, при умові сталої температури часточок по висоті шару знайдемо:

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \exp\left(-\frac{\beta_y}{\omega\rho_{cp}} \cdot \frac{6(1 - \varepsilon)}{d_e} h\right).$$

Рівноважний вміст води в сушильному агенті x^* визначаємо за $I - x$ діаграмою, як абсцису точки, що перетину робочу лінію сушіння з лінією постійної відносної вологості $\phi = 100\%$.

Величина $x^* = 0,033$ кг/кг. Тоді як ліва частина дорівнює:

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \frac{0,033 - 0,025}{0,033 - 0,0058} = 0,184.$$

При відомому значенні робочої швидкості порозність псевдозрідженого шару ε :

$$\varepsilon = \left(\frac{18 Re + 0,36 Re^2}{Ar}\right)^{0,21},$$

Критерій Рейнольдса: $Re = \frac{\omega d_e \rho_{cp}}{\mu_{cp}}$;

$$Re = \frac{0,483 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1,02}{2,08 \cdot 10^{-5}} = 18,9.$$

Критерій Архімеда: $Ar = 1,72 \cdot 10^4$,

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot 18,9 + 0,36 \cdot 18,9^2}{1,72 \cdot 10^4}\right)^{0,21} = 0,468 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}.$$

Коефіцієнт масовіддачі β_y визначаємо на основі емпіричних залежностей, при випаровуванні поверхневої води він розраховується так:

$$Nu'_y = 2 + 0,51 Re^{0,52} Pr'_y{}^{0,33};$$

де $Nu'_y = \frac{\beta_y d_e}{D}$ – дифузний коефіцієнт Нуссельта,

$Pr'_y = \frac{\mu}{\rho D}$ – дифузний критерій Прандтля.

Коефіцієнт дифузії водяних парів в повітрі при середній температурі в сушарці:

$$D = D_{20} \left(\frac{T_0 + t_{cp}}{T_0} \right)^{3/2}, \text{ де } D_{20} = 21,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$D_{20} = 21,9 \cdot 10^{-6} \left(\frac{273 + 73}{273} \right)^{3/2} = 3,12 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$\text{Тоді } Pr'_y = \frac{2,08 \cdot 10^{-5}}{1,02 \cdot 3,12 \cdot 10^{-5}} = 0,65.$$

Коефіцієнт масовіддачі β_y :

$$\beta_y = \frac{D}{d_e} 2 + 0,51 \cdot Re^{0,52} Pr'_y{}^{0,33};$$

$$\beta_y = \frac{3,12 \cdot 10^{-5}}{0,8 \cdot 10^{-3}} (2 + 0,51 \cdot 18,9^{0,52} \cdot 0,65^{0,33}) = 0,157 \text{ м/с}.$$

Розрахунок висоти псевдозрідженого шару матеріалу, який необхідний для випарювання вологи:

$$\frac{x^* - x_2}{x^* - x_0} = \exp \left(- \frac{\beta_y}{\omega \rho_{cp}} \cdot \frac{6(1 - \varepsilon)}{d_e} h \right),$$

$$0,184 = \exp \left(- \frac{0,157}{0,483 \cdot 1,02} \cdot \frac{6(1 - 0,486)}{0,8 \cdot 10^{-3}} h \right).$$

З цього слідує $h = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

$$dQ = \omega \rho_{cp} c S dt = \alpha (t - t_m) dF,$$

$$\frac{t_2 - t_m}{t_1 - t_m} = \exp \left[- \frac{\alpha}{\omega c \rho_{cp}} \cdot \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d_e} h \right],$$

де $t_m = 35^\circ\text{C}$, $Re < 200$,

$$Nu = 1,6 \cdot 10^{-2} \left(\frac{Re}{\varepsilon} (1)^{1,3} Pr^{0,33} \right)$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = 1,6 \cdot 10^{-2} \frac{\lambda}{d_e} \left(\frac{Re}{\varepsilon} (1)^{1,3} Pr^{0,33} \right)$$

$$\text{де } \lambda = 0,029 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}.$$

$$\alpha = 1,6 \cdot 10^{-2} \frac{0,029}{0,8 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{18,9}{0,468} \right)^{1,3} 0,83^{0,33} = 6,68 \cdot 10^{-5},$$

$$\text{де } Pr = \frac{c\mu}{\lambda} = \frac{1160 \cdot 2,08 \cdot 10^{-5}}{0,029} = 0,83,$$

$$\frac{45 - 35}{100 - 35} = \exp \left(- \frac{6,68 \cdot 10^{-5}}{0,483 \cdot 1160 \cdot 1,02} \cdot \frac{6(1 - 0,486)}{0,8 \cdot 10^{-3}} h \right),$$

Критерій Прандтля:

$$Pr = c\mu/\lambda_t = 1000 \cdot 20,7 \cdot 10^{-6} / 0,02978 = 0,69$$

где $\lambda_t = 0,02978 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ – теплопровідність повітря.

Критерій Нуссельта:

$$Nu = 0,4(Re_p/\varepsilon)^{0,67} Pr^{0,33} = 0,4 \cdot (221,4/0,6)^{0,67} \cdot 0,69^{0,33} = 18,6.$$

Коефіцієнт теплообміну:

$$\alpha = Nu\lambda_t/d = 18,6 \cdot 0,02978 / 0,00085 = 652 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$$

Число одиниць перенесення:

$$m_0 = \ln \frac{t_{B1} - t_{M2}}{t_{B2} - t_{M2}} = \ln[(180 - 65)/(70 - 65)] = 3,1.$$

Об'єм киплячого шару:

$$V_{\text{ш}} = L \cdot c_B \cdot m_0 / [\alpha \cdot S_{\text{уд}} \cdot (1 - \varepsilon)],$$

де $S_{\text{пит}} = 6/d = 6/0,00085 = 7060 \text{ м}^{-1}$ – питома поверхня.

$$V_{\text{ш}} = 7,5 \cdot 1000 \cdot 3,1 / (329 \cdot 7060 \cdot (1 - 0,6)) = 0,025 \text{ м}^3.$$

Висота шару:

$$H_{\text{ш}} = V_{\text{ш}}/S_p = 0,025/1,45 = 0,017 \text{ м}$$

Зазвичай приймають висоту шару за даними, отриманими на практиці,

$$H_{\text{ш}} = 80d_0,$$

де $d_0 = 2,0 \text{ мм}$ – діаметр отворів.

$$H_{\text{ш}} = 80 \cdot 2,0 = 160 \text{ мм}.$$

Загальна висота апарату $H = 5 \cdot H_{\text{ш}} = 5 \cdot 160 = 800 \text{ мм}$.

5.3. Механічний розрахунок

Розрахунок діаметрів отворів розподільчої решітки

На основі знань з експлуатації апаратів з псевдозрідженим шаром встановлено, що висота шару H повинна бути приблизно:

$$H \approx 4H_{\text{ст}},$$

$$H_{\text{ст}} = 20d_0,$$

$$H = 80d_0,$$

де d_0 – діаметр отворів газорозподільчої решітки.

За ГОСТ 6636-69 $d_0 = 2,0\text{мм}$, тоді

$$H = 80 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} = 0,16\text{м}.$$

Кількість отворів у розподільчій решітці:

$$\Pi = \frac{4SF_C}{\pi d_0^2} = \frac{d^2 F_C}{d_0^2} = \frac{0,8^2 \cdot 0,02}{2,0^2} = 3500,$$

де S – переріз розподільчої решітки,

F_C – частка живого перерізу решітки (0,02...0,1).

Визначимо поперечний і повздовжній крок:

$$t' = 0,95d_0\phi^{-5}, t'' = 0,866t'.$$

$$\text{Поперечний крок } t' = 0,95 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02^{-5} = 0,0127\text{м},$$

$$\text{Повздовжній крок } t'' = 0,866 \cdot 0,0127 = 0,011\text{м}.$$

Висоту сепараційного простору приймають в 4 – 6 разів більшу за висоту псевдозрідженого шару:

$$H_C = 5H = 5 \cdot 0,16 = 0,8\text{м}.$$

Гідравлічний опір сушильного апарата

Гідравлічні опори псевдозрідженого шару $\Delta P_{\text{ПС}}$ і решітки $\Delta P_{\text{Р}}$ складають основну частку загального гідравлічного опору сушарки ΔP :

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ПС}} + \Delta P_{\text{Р}},$$

$$\Delta P_{\text{ПС}} = \rho_{\text{ч}}(1 - \varepsilon)gH,$$

$$\Delta P_{\text{ПС}} = 1450 \cdot (1 - 0,468) \cdot 9,81 \cdot 0,16 = 1211 \text{ Па.}$$

Для задовільного розподілення газового потоку потрібно виконувати співвідношення гідравлічного опору решітки та шару. Мінімальний допустимий опір решітки $\Delta P_{\text{мін}}$ розраховується за формулою:

$$\Delta P_{\text{мін}} = \Delta P_{\text{ПС}} \frac{K_{\omega}(\varepsilon - \varepsilon_0)}{(K_{\omega}^2 - 1)(1 - \varepsilon_0)},$$

де $\varepsilon = 0,4$;

$$\Delta P_{\text{мін}} = 1211 \frac{1,5 \cdot (0,468 - 0,4)}{(1,5^2 - 1)(1 - 0,468)} = 279 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір вибраної решітки:

$$\Delta P_{\text{р}} = \xi \left(\frac{\omega}{F_c} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{\text{ср}}}{2};$$

$$\xi = 1,5;$$

$$\Delta P_{\text{р}} = 1,5 \left(\frac{0,483}{0,05} \right)^2 \cdot \frac{1,02}{2} = 446 \text{ Па.}$$

Значення $\Delta P_{\text{р}} > \Delta P_{\text{мін}}$, тоді загальний гідравлічний опір сушарки дорівнює:

$$\Delta P = 1211 + 446 = 1657 \text{ Па.}$$

5.4. Тепловий розрахунок

Витрати тепла

$$Q = Q_{\text{вип}} + Q_{\text{наг}} + Q_{\text{вт}} = 1,15 \{ W[r_0 + c_{\text{п}}(t_{\text{в2}} - t_{\text{м1}})] + G_{\text{к}}c_{\text{м}}(t_{\text{м2}} - t_{\text{м1}}) \},$$

де $Q_{\text{вип}}$ – тепло, витрачене на випаровування вологи,

$Q_{\text{наг}}$ – тепло, витрачене щоб нагріти матеріал,

$Q_{\text{вт}}$ – втрати тепла в навколишнє середовище, рахуються рівними 15% від перших двох додатків,

$r_0 = 2439$ кДж/кг – теплота випаровування за 0°C ,

$c_{\text{п}} = 1,97$ кДж/(кг·К) – теплоємність водяної пари,

$c_m = 1,42 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ – теплоємність матеріалу що висушується ,

$t_{m1} = 10^\circ \text{ C}$ – температура матеріалу, що входить в сушильний апарат,

$t_{m2} = 65^\circ \text{ C}$ – температура матеріалу, що виходить з сушильного апарату.

$$Q = 1,15 \cdot \{0,16[2439 + 1,97 \cdot (70 - 10)] + 2,7 \cdot 1,42 \cdot (65 - 10)\} = 831 \text{ кВт}$$

Питома витрата теплоти

$$q = Q/W = 831/0,16 = 4155 \text{ кДж}/\text{кг вологи}$$

Втрати сухого повітря

$$L = Q/[c_b(t_2 - t_1)] = 831/(1 \cdot (110 - 70)) = 7,5 \text{ кг}/\text{хв},$$

де $c_b = 1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ – теплоємність сухого повітря.

Питомі втрати сухого повітря:

$$l = L/W = 7,5/0,16 = 37,5 \text{ кг}/\text{кг}.$$

Початковий вологовміст повітря: $x_1 = 0,01 \text{ кг}/\text{кг}.$

Вологовміст повітря який є на виході з сушильного апарату:

$$x_2 = x_1 + l = 0,01 + 1/37,5 = 0,036 \text{ кг}/\text{кг}.$$

5.5. Гідродинамічний та гідравлічний розрахунок

Властивості повітря на виході з сушильного апарату

Густина повітря на виході з сушильного апарату:

$$\rho_t = 1,293 \cdot 273 / (273 + 70) = 1,03 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

В'язкість повітря при 70° C :

$$\begin{aligned} \mu_t &= \mu_0 \frac{273+C}{T+C} \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2} = 17,3 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 124) (343/273)^{3/2} / (343+124) = \\ &= 20,7 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}, \end{aligned}$$

де $\mu_0 = 17,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ – в'язкість повітря при 0° C ,

$C = 124$ – допоміжний коефіцієнт.

Кінематична в'язкість повітря:

$$v_t = \mu/\rho_t = 20,7 \cdot 10^{-6} / 1,03 = 20,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Робоча швидкість повітря

Критерій Архімеда:

$$Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_M - \rho_t}{\rho_t} = 9,8 \cdot 0,00085^3 / (20,1 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (1770 - 1,03) / 1,03 = 25584$$

де $\rho_M = 1770 \text{ кг/м}^3$ – щільність матеріалу.

Розрахунок критерій Рейнольда для робочого режиму:

$$Re_p = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} =$$

$$= 25584 \cdot 0,60^{4,75} / [18 + 0,61 \cdot (25584 \cdot 0,60^{4,75})^{1/2}] = 48$$

Робоча швидкість повітря:

$$v_p = Re_p \nu / d_t = 48 \cdot 20,1 \cdot 10^{-6} / 0,00085 = 1,13 \text{ м/с}.$$

Діаметр апарата біля газорозподільної решітки.

Площа газорозподільної решітки:

$$S_p = L(1+x_2) / (\rho_t V_p) = 7,5 \cdot (1+0,036) / (1,03 \cdot 5,2) = 1,45 \text{ м}^2.$$

Діаметр апарата:

$$D = \sqrt{S_p / 0,785} = (1,45 / 0,785)^{1/2} = 1,16 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр апарата 1,2 м.

Кількість отворів в решітці:

$$n = d^2 F_c / d_o^2 = (1,45^2 \cdot 0,05) / 0,002^2 = 3500$$

F_c - частка живого перерізу (0,02-0,1)

d_o - діаметр отворів розподільної решітки

Крок у поперечному напрямку:

$$t_1 = 0,95 \cdot d_o \cdot F_c^{-0,5} = 0,95 \cdot 0,002 \cdot 0,05^{-0,5} = 0,0085 \text{ м}$$

Крок у повздовжньому напрямку:

$$t_2 = 0.866 \cdot t_1 = 0.866 \cdot 0.0085 = 0.0073 \text{ м}$$

Перевірка умови винесення з апарата дрібних часточок

Мінімальний діаметр часточок приймаємо за 0,5 мм

Критерій Архімеда для часточок із мінімальним діаметром:

$$Ar \frac{gd_{min}^3}{\nu^2 \rho_M - \rho_t} = 9,8 \cdot 0,0005^3 / (20,1 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (1770 - 1,03) / 1,03 = 5207.$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re_{\text{вит}} = \frac{Ar}{18 + 0,61 \sqrt{Ar}} = 5207 / (18 + 0,61 \cdot 5207^{1/2}) = 84$$

Швидкість витання часточок:

$$v_{\text{вит}} = 84 \cdot 20,1 \cdot 10^{-6} / 0,0005 = 3,37 \text{ м/с}$$

Використовуємо апарат циліндричної форми, так як швидкість витання часточок більша робочої швидкості повітря.

Перевірка умови псевдозрідження часточок максимального розміру

Максимальний діаметр частинок приймаємо за 1,2 мм

Швидкість повітря біля решітки:

$$v_{\text{реш}} = v_p(273+t_1)/(273+t_2) = 1,13 \cdot (273+180)/(273+70) = 1,5 \text{ м/с.}$$

Швидкість повітря в отворах решітки:

$$v_{\text{от}} = v_{\text{реш}} / \varphi = 1,5 / 0,05 = 30 \text{ м/с,}$$

де $\varphi = 0,05$ – частка живого перерізу решітки

Швидкість псевдозріджених часточок максимального розміру:

$$v_{\text{кр(от)}} = v_{\text{от}} / k = 30 / 2,5 = 12 \text{ м/с,}$$

де $k = 2,5$ – число псевдозрідження.

Критерій Архімеда для часточок максимального розміру

$$Ar \frac{gd_{max}^3}{\nu^2 \rho_M - \rho_t} = 9,8 \cdot 0,0012^3 / (32,6 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (1770 - 0,78) / 0,78 = 36142.$$

При 180 °С параметри повітря біля решітки:

- щільність $\rho_t = 1,293 \cdot 273 / (273 + 180) = 0,78 \text{ кг/м}^3$

- в'язкість $\mu_t = 17,3 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 124) (453/273)^{3/2} / (453 + 124) = 25,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$,

- кінематична в'язкість $\nu_t = \mu_t / \rho_t = 25,4 \cdot 10^{-6} / 0,78 = 32,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Критерій Рейнольдса:

$$Re_{\text{вит}} = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}} = 36142 / [18 + 0,61 \cdot (36142)^{1/2}] = 270$$

Швидкість газу, необхідна для зрідження часточок максимального розміру:

$$v_{\text{кр(max)}} = Re_{\text{max}} \nu_t / d_{\text{max}} = 270 \cdot 32,6 \cdot 10^{-6} / 0,0012 = 7,33 \text{ м/с}$$

Так як $v_{\text{кр(от)}} > v_{\text{кр(max)}}$, то буде мати місце псевдозрідження часточок максимального розміру.

Гідравлічний опір сушильної установки

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сл}} + \Delta P_{\text{реш}} + \Delta P_{\text{ц}}$$

де $\Delta P_{\text{ц}} = 700 \text{ Па}$ – опір циклона.

$\Delta P_{\text{сл}}$ – опір псевдозрідженого шару,

$\Delta P_{\text{реш}}$ – опір решітки,

$$\Delta P_{\text{сл}} = H(1-\varepsilon)(\rho_m - \rho)g = 0,160(1-0,6)(1770-1,03)9,8 = 1110 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{реш}} = \xi(V_p/f)^2 \rho_l / 2,$$

де $f = 0,05$ – коефіцієнт вільного перерізу решітки,

$\xi = 1,75$ – коефіцієнт опору решітки .

$$\Delta P_{\text{реш}} = 1,75 \cdot (1,13/0,05)^2 \cdot 0,78 / 2 = 348,6 \text{ Па}$$

$$\Delta P = 1110 + 348,6 + 700 = 2159 \text{ Па}$$

5.6. Розрахунок калорифера для нагрівання повітря

Розрахунок проводимо при максимальній витраті тепла в час зимового періоду. Кількість повітря, що нагрівається 497 кг/год, початкова температура $t_0 = 10^\circ\text{C}$, температура повітря що нагрілось $t = 110^\circ\text{C}$.

Витрати теплоти на те, щоб нагрівати повітря:

$$Q = L \cdot c(t - t_0) = 497 \cdot 1,01 \cdot (110 - 10) = 50197 \text{ кДж/год,}$$

де c – середня масова теплоємність повітря, $c = 1,01 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \cdot \text{град.}$

$$Q = \frac{497}{3600} \cdot 1,01 \cdot 1000 \cdot (110 - 10) = 13944 \text{ Вт.}$$

Площа живого перерізу для проходу повітря:

$$f_k = \frac{L}{3600 \cdot W} = \frac{497}{3600 \cdot 8,4} = 0,016 \text{ м}^2.$$

Звідси, будемо приймати калорифер марки КП 2-1-СК 01 УЗ.

Розрахунок фільтра

Мінімальна площа перерізу активної зони електростатичного фільтра:

$$f_3 = \frac{K \cdot V_n}{w_n} = \frac{1,1 \cdot 0,305}{0,84} = 4,2 \text{ м}^2$$

де V_n – об'ємна витрата повітря $\text{м}^3/\text{с}$;

$K=1,1$ – коефіцієнт запасу;

$w_n=0,8 - 2 \text{ м/с}$ – швидкість повітря у електростатичному фільтрі.

Ступінь очищення повітря у електростатичному фільтрі:

$$\eta = 1 - \exp(-w_q \cdot a)$$

де w_q – швидкість руху заряджених частинок в напрямку осаджувальних пластин;

a – коефіцієнт що характеризує геометричні розміри електростатичного фільтра і швидкість руху повітря в ньому.

$$a = \frac{L \cdot \Pi}{f_3 \cdot w_n} = \frac{0,275 \cdot 1,43}{4,2 \cdot 0,84} = 0,111$$

L – довжина осаджувального електрода, м;

Π – активний периметр осаджувального електрода, м.

Швидкість руху заряджених частинок у напрямку осаджувальних пластин:

$$w_{\text{ч}} = \frac{6 \cdot 10^{-2} \cdot E^2 r_{\text{ч}}}{\mu_{\text{п}}} = \frac{6 \cdot 10^{-8} \cdot 6000 \cdot 2 \cdot 10^3}{2,03} = 0,36 \text{ м/с};$$

де E – напруженість електричного поля;

$r_{\text{ч}}$ – середній радіус часточок, мкм;

$\mu_{\text{п}}$ – в'язкість повітря, Па·с.

Отже, ступінь очищення повітря у електростатичному фільтрі:

$$\eta = 1 - \exp(-w_{\text{ч}} \cdot a) = 1 - \exp(-0,36 \cdot 0,111) = 0,989$$

Підбір вентилятора

Об'ємні витрати повітря на виході:

$$Q = L/\rho_2 = 7,5 / 1,03 = 7,3 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

По гідравлічному опорі і об'ємним витратам обираємо газодувку 1Г24-60-2В при продуктивності 10,2 м³/хв, потужність електродвигуна 11 кВт, з кількістю обертів 3000 об/хв., габаритні розміри 1440×515×630 мм.

Газодувка – двороторна компресорна машина об'ємної дії, яка приводиться в дію електродвигуном за допомогою пружної муфти. Складається власне з електродвигуна та газодувки, встановлених на загальній фундаментній плиті. Принцип дії газодувки заснований на механічному перенесенні газу поршнями з боку всмоктування на сторону нагнітання, де тиск газу швидко підвищується до тиску нагнітання.

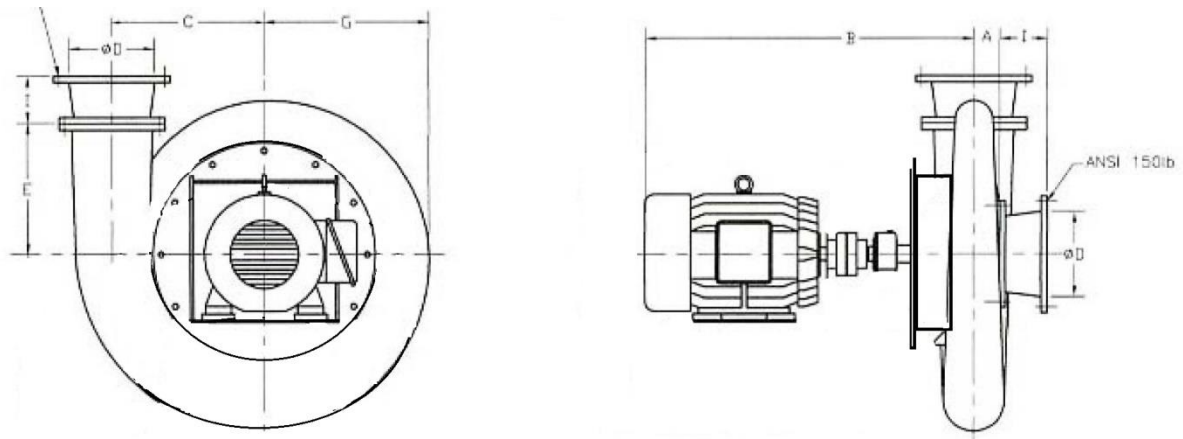


Рис. 6.1. Схема вентилятора з приводом

5.7. Конструктивний розрахунок

Товщина обичайки

$$\delta = DP/2\sigma\varphi + C_k,$$

де $D = 2,0$ м – діаметр нагрівальної камери апарата;

$P = 0,2$ МПа – тиск граючої пари;

$\sigma = 138$ МН/м² – допустиме напруження для сталі

$\varphi = 0,8$ – коефіцієнт ослаблення крізь зварний шов

$C_k = 0,001$ м – поправка на корозію.

$$\delta = 1,6 \cdot 0,2 / 2 \cdot 138 \cdot 0,8 + 0,001 = 0,002 \text{ м.}$$

Беремо товщину обичайки $\delta = 10$ мм.

Розрахунок фланцевих з'єднань.

Розміри приварних фланців для апаратів беремо з таблиць.

Діаметр вісі отворів під болти розраховуємо за формулою:

$$D_6 = \varphi \cdot D_B^{0,933}$$

де D_B – внутрішній діаметр апарату

φ – коефіцієнт, що залежить від робочого тиску:

якщо $P \leq 1,6$ МПа, $\varphi = 1,11$

якщо $1,6 \leq P \leq 25$ МПа, $\varphi = 1,25$

$$D_6 = \varphi \cdot D_B^{0,933} = 1,25 \cdot 1600^{0,933} = 1220 \text{ мм}$$

Діаметр болта визначаємо за формулою

$$d_6 \leq \frac{D_6 - (D_6 + 46)}{2} \text{ мм}$$

Але беремо діаметр болтів невеликі 16...22 мм.

Приймаємо діаметр 18 мм

Зовнішній діаметр фланцю

$$D_3 = D_6 + a = 1220 + 40 = 1260;$$

де a – величина, що залежить від діаметру болта.

d_6 мм	16	18	20	22	24	28	30	36	42	48	56
A мм	35	40	40	45	45	50	55	60	80	90	100

Зовнішній діаметр прокладки D_3 .

$$D_3 = D_6 - l = 1220 - 40 = 1180 \text{ мм};$$

де l – залежить від конструкції прокладки, для плоских прокладок $l = 35 - 50$ мм.

Середній діаметр прокладки

$$D_{\text{срр}} = D_3 - v = 1180 - 15 = 1165 \text{ мм}$$

де v – ефективна ширина прокладки, що залежить від діаметру самого апарату

якщо $1000 \leq D_B \leq 2000$ мм, $v=15 - 25$ мм.

Якщо $D_B \geq 2000$ мм, $v=20$ мм

Кінематичний і силовий розрахунок приводу ворошителя та вибір електродвигуна

Вихідні дані:

Крутний момент, $T_{\text{вих}} = 0,53$ кН·м

Частота обертання, $n_{\text{вих}} = 20$ хв⁻¹

Термін служби 5 років

Число (за добу) робочих змін – 2

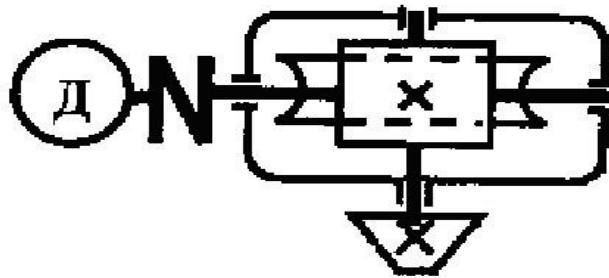


Рис.6.2. Привод механізму перемішування

1.Потужність на вихідному валу привода:

$$N_{\text{вих}} = T_{\text{вих}} \cdot \omega_{\text{вих}},$$

де $T_{\text{вих}}$ – крутний момент на вихідному валу;

$$T_{\text{вих}} = 0,6 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$\omega_{\text{вих}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{вих}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 10}{30} = 1,05 \text{ с}^{-1}$$

$n_{\text{вих}}$ – частота обертів вихідного валу,

$$n_{\text{вих}} = 10 \text{ хв}^{-1}$$

$$\text{Тоді } N_{\text{вих}} = 530 \cdot 1,05 = 556,5 \text{ Вт} = 0,5565 \text{ кВт}$$

2.Розрахункова потужність на валу двигуна:

$$N_{\text{дв.розр}} = \frac{N_{\text{вих}}}{\eta_{\text{прив}}},$$

де $\eta_{\text{прив}}$ – коефіцієнт корисної дії привода

$$\eta_{\text{прив}} = \eta_{\text{муф}} \cdot \eta_{\text{черв.}} \cdot \eta_{\text{кон.}} \cdot \eta_{\text{п.підш.}}^2$$

де $\eta_{\text{муф}}$ – коефіцієнт корисної дії муфти

$$\eta_{\text{муф}} = 0,99 \quad (2, \text{ стор.15, табл.1.1})$$

$\eta_{\text{черв.}}$ – коефіцієнт корисної дії закритої черв'ячної передачі

$$\eta_{\text{черв.}} = 0,83 \quad (2, \text{ стор.15, табл.1.1})$$

$\eta_{\text{п.підш.}}$ – коефіцієнт корисної дії пари підшипників

$$\eta_{\text{п.підш.}} = 0,993 \quad (2, \text{ стор.15, табл.1.1})$$

$$\eta_{\text{прив}} = 0,99 \cdot 0,83 \cdot 0,993^2 = 0,81$$

$$\text{Тоді } N_{\text{дв.розр.}} = \frac{556,5}{0,81} = 687,04\text{Вт}$$

3. З каталогу обираємо трьохфазний асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором – 4А80В4У3.

$$N_{\text{дв.кат.}} \geq N_{\text{дв.розр.}} \quad N_{\text{дв.кат.}} \approx N_{\text{дв.розр.}}$$

Характеристики двигуна:

$$N_{\text{дв.кат.}} = 1,5\text{кВт} \quad \frac{T_{\text{пуск}}}{T_{\text{ном}}} = 2,0 \quad \frac{T_{\text{макс}}}{T_{\text{ном}}} = 2,2$$

$$n_{\text{дв.асинхр.}} = 1415\text{хв}^{-1}; \eta_{\text{дв}} = 77,0\%; \cos \phi = 0,83$$

4. Передаточне число привода:

$$u_{\text{прив}} = \frac{n_{\text{двиг}}}{n_{\text{вих}}} = \frac{1415}{10} = 141,5$$

Передаточні числа окремих ступенів привода

$$u_{\text{прив}} = u_{\text{черв.}} \cdot u_{\text{кон.}}$$

$$u_{\text{черв.}} = 20$$

Передаточне число закритої зубчастої передачі:

$$u_{\text{кон.}} = \frac{u_{\text{прив}}}{u_{\text{черв.}}} = \frac{141,5}{20} = 7,075$$

5. Потужності на деяких валах привода:

$$N_1 = N_{\text{дв.розр.}} = 687,04\text{Вт}$$

$$N_2 = N_1 \cdot \eta_{\text{муф}} = 687,04 \cdot 0,99 = 680,2\text{Вт}$$

$$N_3 = N_2 \cdot \eta_{\text{черв.}} \cdot \eta_{\text{п.підш.}} = 680,2 \cdot 0,83 \cdot 0,993 = 560,6\text{Вт}$$

6. Частота обертання валів привода:

$$n_1 = n_{\text{дв.асинх.}} = 1415\text{хв}^{-1}$$

$$n_2 = n_1 = 1415\text{хв}^{-1}$$

$$n_3 = \frac{n_2}{u_{\text{черв.}}} = \frac{1415}{20} = 70,75\text{хв}^{-1}$$

7. Кутові швидкості на деяких валах привода:

$$\varpi_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1415}{30} = 148,1 \text{ c}^{-1}$$

$$\varpi_2 = \varpi_1 = 148,1 \text{ c}^{-1}$$

$$\varpi_3 = \frac{\varpi_2}{u_{\text{черв}}} = \frac{148,1}{20} = 7,41 \text{ c}^{-1}$$

8. Крутні моменти на валах привода:

$$T_1 = \frac{N_1}{\varpi_1} = \frac{687,04}{148,1} = 4,64 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \eta_{\text{муф}} = 4,64 \cdot 0,99 = 4,59 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$T_3 = T_2 \cdot u_{\text{черв}} \cdot \eta_{\text{черв}} \cdot \eta_{\text{п.підш.}} = 4,59 \cdot 20 \cdot 0,83 \cdot 0,993 = 75,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

РОЗДІЛ 6. ТЕХНОЛОГІЯ МАШТНОБУДУВАННЯ

Машинобудування займає чільне місце в народному господарстві нашої держави.

Машинобудівний комплекс охоплює два десятки спеціалізованих виробництв. До нього входять майже всі галузі машинобудування. У сучасних умовах машинобудування відіграє надзвичайно важливу роль у прискоренні науково-технічного прогресу.

Виробляючи знаряддя праці для різних галузей народного господарства, машинобудування впроваджує досягнення науково-технічного прогресу, забезпечує повну механізацію й автоматизацію виробництва.

Вибір заготовки

Заготовка відрізається від прутка діаметром $D=60$ мм. Розміри заготовки L 880 мм, тобто припуск по ширині становить від 2 до 15 мм на сторону.

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_M = \frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{заб}}} = \frac{V_{\text{дет}}}{V_{\text{заб}}} = \frac{35 \cdot 10^6 (\text{мм}^3)}{60 \cdot 10^6 (\text{мм}^3)} = 0.583$$



Відповідальна організація ЦНУТ	Технічне узгодження	Вид документа <i>Пояснювальна записка</i>	Статус документа			
Власник документа ЦНУТ	Розробник документа	Назва, додаткова назва	200505.МР.00.002 ПЗ			
	Документ затверджено	ТЕХНОЛОГІЯ МАШТНОБУДУВАННЯ				

Рис.6.1. Відрізання заготовки.

Визначення типу виробництва

В машинобудування можна розділити на три види виробництва: серійне, серійне та разове.

У масовому виробництві продукція виробляється безперервно протягом кількох років. Особливістю масового виробництва є виконання операції на кожному робочому місці. При масовому виробництві випускається ряд виробів, виробництво яких регулярно повторюється через певний проміжок часу. Відмітною ознакою масового виробництва є виконання кількох повторюваних операцій на робочому місці.

В одному виробництві виробляють продукцію широкого асортименту, але в малих кількостях, які або не повторюються зовсім, або через значний період часу.

При виконанні курсової роботи тип виробництва визначається двома факторами: програмою випуску деталей за рік та масою деталі. Деталі поділяються на дрібні масою до 20 кг, середні – 20...2000 кг та великі – більше 2000 кг.

Для визначення типу виробництва користуються таблицею 6.1.

Таблиця 6.1.

Тип Виробництва	Кількість деталей, що обробляються за рік		
	великих	Середніх	Дрібних
Індивідуальне	5	10	100
Серійне	5...1000	10...5000	100...5000
Масове	1000	5000	50000

Масове виробництво, яке в свою чергу виробляє близько 80% промислової продукції, поділяється на дрібні, середні та великі. Для визначення типу серійного виробництва слід користуватися таблицею 6.2.

Для умов серійного виробництва розраховується також величина партії деталей, які одночасно запускаються у виробництво протягом календарного місяця.

Для цього використовується наступна формула:

$$n = \frac{D \cdot t_3}{\Phi} = 1000 \cdot 7 / 252 = 27,7, \text{ шт.},$$

де: D – річна програма випуску деталей, шт.;

t – кількість днів, на які потрібно мати запас деталей;

Φ – кількість робочих днів в році (в середньому 252 дні).

Таблиця 6.2.

Тип виробництва	Кількість оброблених деталей за рік		
	Великих	Середніх	Дрібних
Дрібносерійне	5...20	11...50	101...500
Середньосерійне	21...10	51...500	501...5000
Крупносерійне	101...1000	501...5000	5001...50000

Кількість днів, на які потрібно мати запас деталей, визначається за таблицею 6.3:

Таблиця 6.3.

Технологічний маршрут виготовлення перемички

№	Назва операції, переходу	Технологічне обладнання, інструмент оброблюваний, контрольний
10	Заготівельна	Відрізати пруток D=60мм заготовку

		довжиною L=1300
20	Токарна	Токарний верстат 1К62 РМЦ1000, 3-х кулачковий патрон,люнет
20.1	Торцювати пов. (1) Z = 5мм	Різець прохідний відігнутий правий В×Н×L=16×25×140мм, α=8°, γ=10°, φ=45°
20.2	Зняття фаску пов.(2) 0,5×45°)	Різець прохідний відігнутий правий В×Н×L=16×25×140мм, α=8°, γ=10°, φ=45°
20.3	Центрувати деталь пов.1.	Центровочне свердло Ø10, Р6М5, ШЦ1-1
20.4	Проточити пов.2 на чорно	Різець прохідний правий В×Н×L=25×25×140мм, α=8°, γ=10°, φ=60°
20.5	Проточити пов.2 на начисто	Різець прохідний правий В×Н×L=25×25×140мм, α=8°, γ=10°, φ=60°
30	Токарна	Токарний верстат 1К62 РМЦ1500, 3-х кулачковий патрон,люнет, центр.
30.1	Торцювати пов. (1) Z = 5мм	Різець прохідний відігнутий правий В×Н×L=16×25×140мм, α=8°, γ=10°, φ=45°
30.2	Центрувати деталь пов.1.	Центровочне свердло Ø10, Р6М5, ШЦ1-1
30.3	Проточити пов.2 на чорно під М20	Різець прохідний правий В×Н×L=16×25×140мм, α=8°, γ=10°, φ=60°
30.4	Проточити пов.3 на чорно 32 мм	Різець прохідний правий В×Н×L=16×25×140мм, α=8°, γ=10°, φ=60°
30.5	Проточити пов.3 начисто 32 мм	Різець прохідний правий В×Н×L=16×25×140мм, α=8°, γ=10°, φ=60°
30.6	Проточити пов.4 начорно 45 мм	Різець прохідний правий В×Н×L=16×25×140мм, α=8°, γ=10°, φ=60°
30.7	Проточити пов.4 на	Різець прохідний правий

	чисто 45 мм	$V \times H \times L = 16 \times 25 \times 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 60^\circ$
30.8	Проточити пов.5 начорно 58 мм	Різець прохідний лівий $V \times H \times L = 16 \times 25 \times 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 60^\circ$
30.9	Проточити пов.6 на чорно 45 мм	Різець прохідний правий $V \times H \times L = 16 \times 25 \times 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 60^\circ$
30.10	Проточити пов.6 на чисто 45 мм	Різець прохідний лівий $V \times H \times L = 16 \times 25 \times 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 60^\circ$
30.11	Зняття фаски на всіх поверхнях $1,5 \times 45^\circ$)	Різець прохідний відігнутий правий $V \times H \times L = 16 \times 25 \times 140 \text{ мм}$, $\alpha = 8^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$
30.12	Нарізати різьбу M20x2	Різець різьбовий $V \times H \times L = 25 \times 25 \times 140 \text{ мм}$,
40	Фрезерна УЗЗ	Вертикально-фрезерний верстат 6P81, призми , прижими
40.1	Фрезерувати паз (пов. 1), $l = 50 \text{ мм}$ $H = 5 \text{ мм}$	Кінцева пальцева фреза $D = 10 \text{ мм}$ P18
40.2	Посверлити отвір 10 мм (пов. 2), $l = 35 \text{ мм}$ $D = 10 \text{ мм}$	Свердло $D = 10$, P6M5
40.3	Нарізати різьбу M12- 2 пов. 2), $l = 35 \text{ мм}$ під гужон	Мітчик M12x2, P6M5
50	Слюсарна	Верстак
50.1	Зняти задирки і притупити гострі кромки	Ручний інструмент
60	Контрольна	Стіл контролера

Розрахунок різання токарної операції

30. Токарна.

Перехід 30.1. Точити торець.

Глибина різання в даному випадку визначається припуском на підрізання торця і рівна

$$t = 5 \text{ мм}$$

Вибираємо подачу. За таблицею 17 для різців з твердосплавними пластинами перетином стержня 16x25 при обробленні заготовки діаметром до 40 мм при глибині різання до 3 мм рекомендуються подачі 0,4-0,5 мм/об.

Приймаємо $s = 0,5$ мм/об.

З таблиці 20 вибираємо залежність для визначення швидкості різання

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}} = \frac{463}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}}$$

Приймаємо стійкість свердла $T = 60$ хв.

Тоді маємо

$$V = \frac{463}{60^{0,2} \cdot 5^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 196,5 \text{ м/хв.}$$

Необхідна частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V}{\pi d_3} = \frac{1000 \cdot 196,5}{3,14 \cdot 45} = 1390,65 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_B = 1600$ об/хв.

Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_d = \frac{\pi d_3 n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 1600}{1000} = 201 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу

$$t_{01} = \frac{L}{S \cdot n_B}$$

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3$$

l – довжина оброблення безпосередньо на деталі, $l = 35$ мм;

l_1 – добавка довжини на підвід інструменту до початку різання з механічною подачею, $l_1 = 2$ мм;

l_2 – величина врізання інструменту, $l_2 = 2$ мм;

l_3 – величина перебігу різця, $l_3 = 2$ мм.

$$L = 35 + 2 + 2 + 2 = 26 \text{ мм}$$

$$t_{01} = \frac{26}{0,5 \cdot 1600} = 0,03 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_{д1} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

t_1 – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленням різця на розмір при автоматичній подачі, за таблицею 26 $t_1 = 0,05$ хв;

t_2 – допоміжний час на заміну частоти обертів шпинделя або подачі, так як заміна не проводиться, то $t_2 = 0$;

t_3 – допоміжний час на інші дії під час виконання переходу, оскільки потреби в заміні інструменту та інших діях немає, то $t_3 = 0$.

$$t_{д1} = 0,05 \text{ хв}$$

Перехід 30.2. Точити поверхню $\varnothing 20$ начорно.

Мінімальний припуск на чорнове обточування становить $Z_{1\min} = 950$ мкм.

Максимальний припуск, що знімається $Z_{1\max} = 950 + 150 = 1100$ мкм

Глибина різання в даному випадку

$$t = \frac{Z_{1\max}}{2} = 0,55 \text{ мм}$$

Вибираємо подачу. За таблицею 17 при глибині різання до 3 мм при обробленні заготовки діаметром до 60 мм зі сталі рекомендуються подачі 0,5-0,7 мм/об.

Приймаємо $s = 0,6$ мм/об.

З таблиці 20 вибираємо залежність для визначення швидкості різання

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}} = \frac{327}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}}$$

Приймаємо стійкість свердла $T = 60$ хв.

Тоді маємо

$$V = \frac{327}{60^{0,2} \cdot 0,6^{0,15} \cdot 0,6^{0,35}} = 154,8 \text{ м/хв.}$$

Необхідна частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V}{\pi d_3} = \frac{1000 \cdot 198,8}{3,14 \cdot 42} = 1287 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_B = 1250$ об/хв.

Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_d = \frac{\pi d_3 n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 42 \cdot 1250}{1000} = 78,5 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу

$$t_{02} = \frac{L}{S \cdot n_B}$$

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3$$

l – довжина оброблення безпосередньо на деталі, $l = 30$ мм;

l_1 – добавка довжини на підвід інструменту до початку різання з механічною подачею, $l_1 = 2$ мм;

l_2 – величина врізання інструменту, $l_2 = 0$;

l_3 – величина перебігу різця, $l_3 = 0$.

$$L = 30 + 2 + 0 + 0 = 32 \text{ мм}$$

$$t_{02} = \frac{32}{0,6 \cdot 1600} = 0,03 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_{д2} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

t_1 – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поздовжнього обточування з установленням різця по упору або грубо по лімбу на верстатах з висотою центрів до 125 мм при автоматичній подачі, за таблицею 26 $t_1 = 0,09$ хв;

t_2 – допоміжний час на заміну частоти обертів шпинделя або подачі, за таблицею 26 $t_2 = 0,05$;

t_3 – допоміжний час на інші дії під час виконання переходу, за таблицею 26 час на заміну різця $t_3 = 0,6$.

$$t_{д2} = 0,3 + 0,05 + 0,6 = 0,95 \text{ хв}$$

Перехід 30.2. Точити поверхню $\Phi 32$ начорно.

Мінімальний припуск на чорнове обточування становить $Z_{1\text{min}} = 950$ мкм.

Максимальний припуск, що знімається $Z_{1\text{max}} = 950 + 50 = 1000$ мкм

Глибина різання в даному випадку

$$t = \frac{Z_{1\text{max}}}{2} = 0,5 \text{ мм}$$

Вибираємо подачу. За таблицею 17 при глибині різання до 3 мм при обробленні заготовки діаметром до 60 мм зі сталі рекомендуються подачі 0,5-0,7 мм/об.

Приймаємо $s = 0,6$ мм/об.

З таблиці 20 вибираємо залежність для визначення швидкості різання

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}} = \frac{327}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}}$$

Приймаємо стійкість свердла $T = 60$ хв.

Тоді маємо

$$V = \frac{327}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,6^{0,35}} = 136,8 \text{ м/хв.}$$

Необхідна частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V}{\pi d_3} = \frac{1000 \cdot 136,8}{3,14 \cdot 32} = 1361,5 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_B = 1250$ об/хв.

Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_d = \frac{\pi d_3 n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 1250}{1000} = 78,5 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу

$$t_{02} = \frac{L}{S \cdot n_B}$$

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3$$

l – довжина оброблення безпосередньо на деталі, $l = 30$ мм;

l_1 – добавка довжини на підвід інструменту до початку різання з механічною подачею, $l_1 = 2$ мм;

l_2 – величина врізання інструменту, $l_2 = 0$;

l_3 – величина перебігу різця, $l_3 = 0$.

$$L = 30 + 2 + 0 + 0 = 32 \text{ мм}$$

$$t_{02} = \frac{32}{0,6 \cdot 1600} = 0,03 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_{д2} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

t_1 – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поздовжнього обточування з установленням різця по упору або грубо по лімбу на верстатах з висотою центрів до 125 мм при автоматичній подачі, за таблицею 26 $t_1 = 0,09$ хв;

Перехід 30.4. Точити поверхню $\Phi 32f8$ начисто.

Глибина різання в даному випадку

$$t = \frac{32,8-32}{2} = 0,4 \text{ мм}$$

Вибираємо подачу. За таблицею 17 при глибині різання до 3 мм при обробленні заготовки діаметром до 60 мм зі сталі рекомендуються подачі 0,5-0,7 мм/об.

Приймаємо $s = 0,6$ мм/об.

З таблиці 20 вибираємо залежність для визначення швидкості різання

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}} = \frac{327}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}}$$

Приймаємо стійкість свердла $T = 60$ хв.

Тоді маємо

$$V = \frac{327}{60^{0,2} \cdot 0,4^{0,15} \cdot 0,6^{0,35}} = 212,5 \text{ м/хв.}$$

Необхідна частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V}{\pi d_3} = \frac{1000 \cdot 212,5}{3,14 \cdot 32,8} = 2063 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_B = 1600$ об/хв.

Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_d = \frac{\pi d_3 n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 32,8 \cdot 1600}{1000} = 164,78 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу

$$t_{03} = \frac{L}{S \cdot n_B}$$

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3$$

l – довжина оброблення безпосередньо на деталі, $l = 30$ мм;

l_1 – добавка довжини на підвід інструменту до початку різання з механічною подачею, $l_1 = 2$ мм;

l_2 – величина врізання інструменту, $l_2 = 0$;

l_3 – величина перебігу різця, $l_3 = 0$.

$$L = 30 + 2 + 0 + 0 = 32 \text{ мм}$$

$$t_{03} = \frac{32}{0,6 \cdot 1600} = 0,03 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_{дз} = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n$$

t_1 – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поздовжнього обточування з установленням різця по упору або грубо по лімбу на верстатах з висотою центрів до 125 мм при автоматичній подачі, за таблицею 26 $t_1 = 0,09$ хв;

t_2 – допоміжний час на заміну частоти обертів шпинделя або подачі, так як заміна не проводиться, то $t_2 = 0$;

t_3 – допоміжний час на інші дії під час виконання переходу, так як ніяких дій не проводиться, то $t_3 = 0$.

$$t_{ДЗ} = 0,09 \text{ хв}$$

Перехід 30.11. Точити фаску 1.5x45.

За таблицею 27 при знятті фаски до 2 мм на поверхні діаметром до 100 мм оперативний час на зняття фаски $T_{оп4} = 0,18$ хв.

t_3 – допоміжний час на інші дії під час виконання переходу, за таблицею 26 час на заміну різця $t_3 = 0,6$.

$$t_{Д6} = 0,14 + 0,1 + 0,6 = 0,84 \text{ хв}$$

Основний час на виконання операції під час виготовлення однієї деталі

$$T_0 = \sum t_{0i} = 0,03 + 0,03 + 0,03 + 0,015 + 0,032 = 0,137 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання операції

$$T_Д = t_y + \sum t_{Дi}$$

t_y – допоміжний час на установлення, кріплення і зняття деталі, за таблицею 25 при закріпленні у цанговій оправці $t_y = 0,52$ хв.

Тоді

$$T_Д = 0,52 + 0,05 + 0,74 + 0,09 + 0,7 + 0,84 = 2,94 \text{ хв}$$

Операційний час

$$T_{оп} = T_0 + T_Д + T_{оп4} = 0,137 + 2,94 + 0,18 = 3,258 \text{ хв}$$

Штучний час становить

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{об} + T_{пп}$$

За таблицею 24 час на обслуговування робочого місця $T_{об} = 2\% T_{оп}$ і час на відпочинок і природні потреби $T_{пп} = 4\% T_{оп}$.

$$T_{шт} = 3,258 + (0,02 + 0,04) \cdot 3,258 = 3,45 \text{ хв}$$

Підготовчо-завершальний час

$$T_{пз} = T_{пз1} + T_{пз2}$$

За таблицею 24 час на одержання і здачу документів, пристроїв та інструментів $T_{пз1} = 10$ хв, час на налагодження оброблення в оправці $T_{пз2} = 8$ хв.

50. Фрезерна.

Перехід 50.1. Фрезерувати паз шириною 10.

Глибина фрезерування

$$t = 5 \text{ мм}$$

Рекомендовані подачі за таблицею 31 при фрезеруванні пазів шириною 10 пальцевими фрезами із швидкорізальної сталі діаметром 60 і числом зубців 16 0,03-0,06 мм/зуб.

Приймаємо $s_z = 0,04$ мм/зуб.

Для визначення швидкості різання з таблиці 28 для дискових цільних прямозубих фрез при фрезеруванні сталей вибираємо залежність

$$V = \frac{77,8D_{\phi}^{0,2}}{T^{0,2}t^{0,3}S_z^{0,2}B^{0,1}Z^{0,1}}$$

За таблицею 35 період стійкості фрези $T = 120$ хв.

Тоді

$$V = \frac{77,8 \cdot 60^{0,2}}{120^{0,2} \cdot 9^{0,3} \cdot 0,04^{0,2} \cdot 8^{0,1} \cdot 16^{0,1}} = 41,17 \text{ м/хв.}$$

Необхідна частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V}{\pi D_{\phi}} = \frac{1000 \cdot 41,17}{3,14 \cdot 60} = 218,5 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_v = 210$ об/хв.

Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_d = \frac{\pi D_\phi n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 210}{1000} = 39,56 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо хвилинну подачу

$$S_{XB} = S_{об} \cdot n_B = S_z \cdot z \cdot n_B = 0,04 \cdot 16 \cdot 210 = 134,4 \text{ мм/хв}$$

Приймаємо хвилинну подачу $S_{XB} = 135 \text{ мм/хв.}$

Основний час на виконання операції

$$t_{01} = \frac{L}{S_{XB}}$$

$$L = l + l_1 + l_2$$

l – довжина оброблюваної поверхні, $l = 95 \text{ мм}$;

l_1 – добавка на перехід інструменту з робочою подачею до моменту різання, $l_1 = 3 \text{ мм}$;

l_2 – додаток на врізання і перебіг фрези, за таблицею 39 $l_2 = 25 \text{ мм}$.

$$L = 95 + 3 + 25 = 123 \text{ мм}$$

$$t_{01} = \frac{123}{135} = 0,91 \text{ хв}$$

Допоміжний час, пов'язаний з переходом, при автоматичному переміщенні, з автоматичним переміщенням стола довжиною до 750 мм, при фрезеруванні пазів фрезою, установленою на розмір, за таблицею 38 $t_{д1} = 0,60 \text{ хв}$.

Основний час на виконання операції

$$T_0 = t_{01} = 0,91 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання операції

$$T_d = t_y + t_d$$

Допоміжний час на установлення і зняття деталі

$$t_y = t_{y1} + t_{y2}$$

t_{y1} – допоміжний час безпосередньо на установлення і зняття деталі, за таблицею 37 $t_{y1} = 0,41$ хв.

t_{y2} – допоміжний час на очищення місця установлення від стружки, за таблицею 37 $t_{y2} = 0,1$ хв.

$$t_y = 0,41 + 0,1 = 0,51 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання операції

$$T_D = t_y + t_d = 0,51 + 0,6 = 1,16 \text{ хв}$$

Операційний час

$$T_{оп} = T_0 + T_D = 0,91 + 1,16 = 2,07 \text{ хв}$$

Штучний час становить

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{об} + T_{пп}$$

За таблицею 36 час на обслуговування робочого місця $T_{об} = 4\% T_{оп}$ і час на відпочинок і природні потреби $T_{пп} = 7\% T_{оп}$.

$$T_{шт} = 2,07 + (0,04 + 0,07) \cdot 2,07 = 2,30 \text{ хв}$$

Підготовчо-завершальний час

$$T_{пз} = T_{пз1} + T_{пз2} + T_{пз3}$$

За таблицею 36 час на одержання і здачу документів, пристроїв та інструментів $T_{пз1} = 7$ хв, час на налагодження установки деталі у спец пристрої вручну $T_{пз2} = 14$ хв, час на установлення фрез $T_{пз3} = 2$ хв.

$$T_{пз} = 7 + 14 + 2 = 23 \text{ хв}$$

Калькуляційний час на виконання операції під час виготовлення однієї деталі

$$T_K = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} = 2,30 + \frac{23}{200} = 2,415 \text{ хв}$$

Норма виробітку за годину становить

$$N = \frac{60}{T_K} = \frac{60}{2,415} = 24 \text{ деталі/год}$$

40. Свердлильна.

Перехід 40.1. Свердлити отвір Ø10.5.

Припуск на оброблення під час свердління становить половину діаметра свердла $d_{св}$, тобто

$$t = \frac{d_{св}}{2} = \frac{10,5}{2} = 5,25 \text{ мм}$$

Вибираємо подачу. За таблицею 42 для сталей з $\sigma_B \leq 800 \text{ МПа}$ при свердленні отворів Ø8 рекомендуються подачі 0,13-0,17 мм/об.

Приймаємо згідно паспортних даних $s = 0,14 \text{ мм/об}$.

Для визначення швидкості різання з таблиці 45 вибираємо залежність

$$V = \frac{8d_{св}^{0,4}}{T^{0,2}S^{0,7}}$$

За таблицею 46 беремо стійкість свердла $T = 15 \text{ хв}$.

Тоді

$$V = \frac{8 \cdot 10,5^{0,4}}{15^{0,2} \cdot 0,14^{0,7}} = 41,14 \text{ м/хв.}$$

Необхідна частота обертання шпинделя

$$n = \frac{1000V}{\pi d_{св}} = \frac{1000 \cdot 41,14}{3,14 \cdot 8} = 1537,8 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_B = 1500$ об/хв.

Тоді дійсна швидкість різання буде дорівнювати

$$V_D = \frac{\pi d_{CB} n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 1500}{1000} = 37,68 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання переходу

$$t_{01} = \frac{L}{S \cdot n_B}$$

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3$$

l – глибина свердлення, $l = 9$ мм;

l_1 – величина на підведення свердла, $l_1 = 2$ мм;

$l_2 + l_3$ – додаток на врізання і перебіг свердла, за таблицею 48 $l_2 + l_3 = 5$ мм.

$$L = 9 + 2 + 5 = 16 \text{ мм}$$

$$t_0 = \frac{16}{0,14 \cdot 1500} = 0,08 \text{ хв}$$

Допоміжний час на перехід за таблицею 51 $t_\Delta = 0,06$ хв.

Основний час на виконання операції під час виготовлення однієї деталі

$$T_0 = t_0 = 0,08 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання операції

$$T_D = t_y + t_\Delta$$

t_y – допоміжний час на установлення, кріплення і зняття деталі, за таблицею 50 $t_y = 0,28$ хв.

Тоді:

$$T_D = 0,28 + 0,06 = 0,34 \text{ хв}$$

Операційний час:

$$T_{оп} = T_0 + T_D = 0,08 + 0,34 = 0,42 \text{ хв}$$

Штучний час становить:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{об} + T_{пп}$$

За таблицею 49 час на обслуговування робочого місця $T_{об} = 1,5\% T_{оп}$ і час на відпочинок і природні потреби $T_{пп} = 6\% T_{оп}$.

$$T_{шт} = 0,42 + (0,015 + 0,06) \cdot 0,42 = 0,65 \text{ хв}$$

Підготовчо-завершальний час

$$T_{пз} = T_{пз1} + T_{пз2}$$

За таблицею 49 час на одержання і здачу документів, пристроїв та інструментів $T_{пз1} = 10$ хв, час на налагодження установки деталі у пристрої вручну $T_{пз2} = 5$ хв.

$$T_{пз} = 10 + 5 = 15 \text{ хв}$$

Калькуляційний час на виконання операції під час виготовлення однієї деталі

$$T_k = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} = 0,65 + \frac{15}{200} = 0,625 \text{ хв}$$

Норма виробітку за годину становить

$$N = \frac{60}{T_k} = \frac{60}{0,625} = 98 \text{ деталей/год}$$

ВИМОГИ ДО МОНТАЖУ, РЕМОНТУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

7.1. Монтаж сушильного апарата

Розміщення сушильного апарата

Сушильний апарат призначений для роботи в приміщенні при температурі 16 –25 °С і відносній вологості навколишнього середовища 40–70%.

Сушильний апарат розмістити (змонтувати) за рівнем, забезпечивши в зоні обслуговування вільний доступ і рівну поверхню підлоги.

Стінки сушарки, що знаходяться поза зоною обслуговування, повинні відстояти від стіни приміщення не менше ніж на 800 мм.

Монтаж сушильного апарата

До цехового електрощита проводиться підключення електроживлення сушильного апарата. Підводиться напруга 380 В змінного струму.

При підключенні двигуна вентилятора перевірте напрямок обертання працюючого насоса. Воно повинне відповідати напрямку обертання, вказаному стрілкою на корпусі вентилятора.

Підключення пари до повітрянагрівачів здійснити від цехової лінії через пневмоклапан на вході і клапан зворотний підйомний на виході відповідно до рис. 7.1.

Мінімальний тиск пари 300 кПа.

Підключення стисненого повітря до вузла підготовки (очищення) повітря здійснити за допомогою цехової магістралі з тиском не менше 300 кПа.

Після встановлення сушильного апарата провести огляд (обстеження) деталей і механізмів, перевірити надійність їх кріплення, переконатися у відсутності сторонніх предмети всередині сушарки, перевірити чи вибухозахищені клапани в хорошому стані, в наявності огорож на

Відповідальна організація ЦУУТ	Технічне узгодження	Вид документа Позначення зварює		Статус документа			
Власник документа	Розробник документа	Назва, додаткова назва ВИМОГИ ДО		200505.MP.00.007 ПЗ			
ЦУУТ	Документ затверджено						

пневмоциліндрах і двигунах вентиляторів.

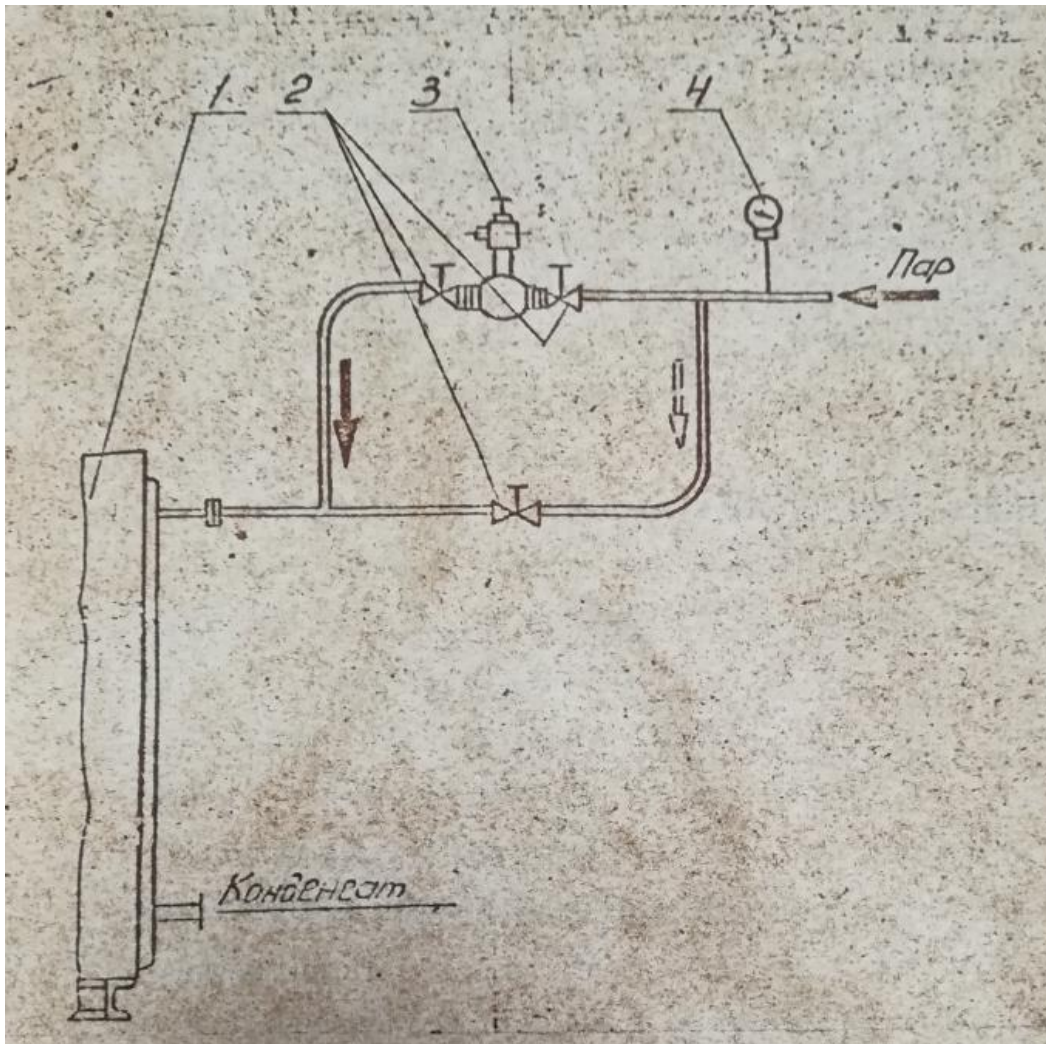


Рис.7.1. Рекомендована схема підключення сушарки до парової магістралі:

1. Підігрівач повітря (калорифер);
2. Вентилі запорні;
3. Клапан регулюючий із виконавчим механізмом;
4. Манометр (на вході пара) технічний звичайний типу ОБМ-100 ГОСТ 8625-77.

Обов'язково перевірити напрямок обертання крильчатки вентилятора – якщо дивитися з боку електродвигуна, воно повинно бути за годинниковою стрілкою.

Оператор навчений прийомам роботи обслуговує сушильний апарат. Сушильний апарат включає і відключає оператор, здійснює контроль за його роботою

7.2. Підготовка до роботи

Підготовка до роботи передбачає:

- Перевірити установки протягом 1 години на холостому ході.
- Перевірити роботу сушильного апарата в автоматичному та ручному (налагоджувальному) режимах включенням кнопки «Пуск» вентилятора, «струшування фільтра», тумблерів «ворошіння» «Вкл.» і «Вимкнути» приводу ворошителя.
- Завдання часу на реле часу та перевірку запису температур на самописці КСМ-2 і.
- Перевірити системи блокування:
 - вентилятор повинен відключитися при розмиканні повітряного тракту (відкритті дверцята).
 - при відключенні подачі пари в калорифері;

7.3. Технічне обслуговування

Сушарка мінімум раз на місяць повинна бути обстежена і оглянута, випробувана (обкатана) на холостому ході, промита і просушена .

Рукавний фільтр повинен бути знятий не рідше одного разу на місяць, промитий у воді з пральним порошком за температури не більше 60 °С (333К) перевірена його цілісність, .

Газорозподільна решітка і сітка резервуара не рідше одного разу на тиждень повинна бути промита гарячою водою з температурою 70 – 80 °С.

Не рідше одного разу на місяць робити заміну фільтруючого матеріалу, тобто (поролону) повітряного фільтра.

Обов'язково при зміні матеріалів сушіння, промити гарячою водою з температурою 70 – 80 °С робочі поверхні, що контактують із оброблюваним продуктом.

За електрообладнанням ремонт і профілактичний догляд виконувати при знятій напрузі. Данна процедура виконується відповідно з графіком планово-попереджувального ремонту електрообладнання.

Під розподільними ґратами по мірі накопичення продукту періодично, проводити прибирання.

7.4. Ремонт сушильного апарата

Таблиця 7.1

Несправності які можуть статися і способи їх усунення

№	Найменування несправності, зовнішній прояв і додаткові ознаки	Ймовірна причина	Метод усунення
	1	2	3
1.	Не працює вентилятор	Перегоріли запобіжники електродвигуна	Замінити запобіжники
2.	Недостатнє псевдозрідження, слабо «кипить» матеріал, який обробляється в резервуарі	Засмітився повітряний фільтр Засмітилися газорозподільна решітка і сітка резервуара Підсмоктування повітря через ущільнення між резервуаром і обичайкою рукавного фільтра Засмітився рукавний фільтр Порушено	Прочистити фільтр або замінити фільтруючий матеріал. Прочистити і промити газорозподільну решітку і сітку Замінити прокладку на обичайці або відрегулювати висоту підйому резервуара Промити мул змінити рукавний фільтр Замінити шнур

1	2	ущільнення дверей	ущільнювача
1	2	3	4
3.	Висока температура теплоносія і низька газів, що відходять, продукт не сушиться	Порушено ущільнення дверей	Замінити шнур ущільнювача
4.	Не підвищується температура теплоносія після калорифера	Засмітилися запорні вентиля і регулюючий клапан	Прочистити або замінити запорні вентиля

Розрахунок основних параметрів ремонту

Сушарка СП-60М в залежності від тривалості ремонтного циклу відноситься до IV групи обладнання. Отже, категорія ремонтної складності R=3,5.

Структура ремонтного циклу:

К-О-О-О-О-П1-О-О-О-О-С-О-О-О-О-П2-О-О-О-О-К

Назва обладнання	ГОСТ, ТУ, марка, тип, характеристика	Категорія ремонтної складності	Норми часу на ремонтні роботи, люд.-год		
			К	С	П
Сушильний апарат з псевдозрідженим шаром	СП-60М	3,5	122,5	60,9	15,4

1. Трудомісткість ремонту сушильного апарата:

$$t_p = T_p * R = (122,5 + 60,9 + 15,4) * 3,5 = 695,8 \text{ люд. год.}$$

де T_p – норма трудомісткості ремонту в люд.год. на одну умовну одиницю.

2. Трудомісткість ремонтного циклу машини:

$$t_{p.ц.} = R * (35 + 17,4 * \Sigma C + 4,4 * \Sigma П + 0,6 * \Sigma O) = 3,5 * (35 + 17,4 + 4,4 * 2 + 0,6 * 20) = 256 \text{ люд. год.}$$

3. Розрахунок необхідної кількості чергових слюсарів для міжремонтного обслуговування

$$Ч_{м.о.} = \frac{\Sigma R}{D} = \frac{3,5}{500} = 0,007 \text{ люд./зміну}$$

де $Ч_{м.о.}$ – кількість явочних робітників, необхідна для забезпечення міжремонтного обслуговування в змінну, ΣR – сума ремонтних одиниць обслуговуючого обладнання, D – норма міжремонтного обслуговування в умовних ремонтних одиницях на одного робітника в змінну.

4. Необхідна середньорічна кількість явочних робітників:

$$Ч_p = \frac{(T_{PK} * \Sigma R_K + T_{PC} * \Sigma R_C + T_{PP} * \Sigma R_{П} + T_{PO} * \Sigma R_O) * K_H}{\Phi} =$$

$$\frac{(35 * 122,5 + 17,4 * 60,9 + 4,4 * 15,4 + 0,6 * 0) * 1}{2000} = 2,708 \text{ люд. год.}$$

де T_{PK} , T_{PC} , T_{PP} , T_{PO} – норми трудомісткості на одну ремонтну одиницю для капітального, середнього, поточного ремонту і огляду в люд.год., ΣR_K , ΣR_C , $\Sigma R_{П}$, ΣR_O – загальна річна кількість ремонтних одиниць при капітальних, середніх, поточних ремонтах і оглядах, K_H – коефіцієнт виконання норм часу, досягнутий у попередньому році, Φ – ефективний річний фонд часу робітника в годину.

5. Тривалість ремонту обладнання:

$$A = (T_p | P * R * K_H) / (B * T_c * C) = (35 * 3,5 * 0,9) / (2 * 8 * 1) = 6,9 \text{ зміни}$$

де T_p – норма трудомісткості ремонту в люд.год. на одну умовну одиницю., R – категорія ремонтної складності, T_c – тривалість зміни в годинах, C – змінність роботи на ремонті даного обладнання, K_H – коефіцієнт виконання норм часу.

$$A = \frac{24 * P_p * R}{T_c} = \frac{24 * 0,8 * 3,5}{8} = 8,4 \text{ змін.}$$

де P_p – норма простою обладнання в ремонті на одну ремонтну одиницю.

Витрати праці на ремонтні та профілактичні роботи

$$P = a * R$$

$$P_o = 0,6 * 3,5 = 2,1 \text{ год}$$

$$P_{\Pi} = 4,4 * 3,5 = 15,4 \text{ год}$$

$$P_{C} = 17,4 * 3,5 = 60,9 \text{ год}$$

$$P_{K} = 35 * 3,5 = 122,5 \text{ год}$$

По графіку ППР 8 оглядів, 1 поточний, 1 середній ремонт.

6. Трудомісткість слюсарних і верстатних робіт

$$P_{Сл} = R * a_{Сл} * n$$

Огляд:

$$P_{Сл} = 0,6 * 3,5 * 8 = 16,8 \text{ норма. год.}$$

Поточний:

$$P_{Сл} = 3 * 3,5 * 1 = 10,5 \text{ норма. год}$$

$$P_{Ст} = 0,9 * 3,5 * 1 = 3,15 \text{ норма. год.}$$

$$P_{інші} = 0,5 * 3,5 * 1 = 1,75 \text{ норма. год.}$$

Середній:

$$P_{Сл} = 12 * 3,5 * 1 = 42 \text{ норма. год}$$

$$P_{Ст} = 3,6 * 3,5 * 1 = 12,6 \text{ норма. год.}$$

$$P_{інші} = 1,8 * 3,5 * 1 = 6,3 \text{ норма. год}$$

7. Трудомісткість інших видів роботи:

$$P_{ін} = P_{заг} - (\Sigma P_{Сл} + \Sigma P_{Ст})$$

$$P_{ін} = (2,1 + 15,4 + 60,9 + 122,5) -$$

РОЗДІЛ 8. ОХОРОНА ПРАЦІ

8.1. Заходи безпеки

Здійснювати експлуатацію електрообладнання сушарки необхідно з обов'язковим виконанням «Правил монтажу електроустановок» та «Правил технічної експлуатації електроустановок».

До роботи на сушарці допускається лише спеціально навчений персонал, який проінструктований з техніки безпеки.

Усі металеві частини електрообладнання, що знаходяться під напругою, необхідно заземлити, приєднавши нульовий привід живильного кабелю до заземлювального болта сушарки.

Огляд і налагодження електрообладнання дозволяється особам, які мають дозвіл на обслуговування електроустановок.

Очищення та ремонт електрообладнання проводити при знятій напрузі, на панелі керування має бути встановлена табличка «Не вмикати, працюють люди».

Уникайте скупчення пилу на двигуні.

Забороняється:

Працювати з сушаркою з відкритими дверцятами панелі керування та знятими кожухами.

Усувати несправність в момент роботи сушарки.

Торкатись рухомих частин сушарки.

Проводити очищення сушарки під час її роботи.

Працювати з несправними противибуховими клапанами та допускати іскроутворення сушарки.

Відповідальна організація ЦНУТ	Технічне узгодження	Вид документа <i>Посвідчення на записку</i>		Статус документа			
Власник документа ЦНУТ	Розробник документа	Назва, додаткова назва ОХОРОНА ПРАЦІ	200505.MP.00.008 ПЗ				
	Документ затверджено		Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1	

РОЗДІЛ 9. СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

На біосинтез глютамінової кислоти істотно впливає ступінь аерації середовища, рН середовища, перемішування, вік і доза посівного матеріалу, тривалість і температура ферментації. Тому на всіх етапах процесу всі характеристики культивування суворо регламентуються і контролюються (температура, зміна основних компонентів середовища, рН, аерація, накопичення глютамінової кислоти, перемішування тощо).

Рівень рН середовища є дуже важливим та відповідальним параметром процесу. Як відомо, продуцентами є штами бактерій, тому в більшості випадків оптимальним рН для культивування лежить в області, близькій до слаболужної або нейтральної. Для штамів, що використовуються в нашій країні, найкращі результати по біосинтезі глютамінової кислоти отримують, якщо рН середовища підтримувати на рівні близько 7 – 7,2. Для всіх відомих виробників глютамінової кислоти рН, що забезпечує максимальне накопичення глютамінової кислоти і зростання культури, є значення що перебуває в межах від 6 до 8,5.

Забезпечення звирощуваної культури киснем є відповідальним і важливим фактором, що впливає на поступовий ріст мікроорганізму та утворення ним лізину. Кисень, який використовується бактеріальної клітиною, повинен бути розчинений у живильному середовищі. Для підвищення розчинності кисню середовище пропускають повітрям з одночасним перемішуванням.

Контроль за ходом процесу біосинтезу здійснюють на різних етапах його проведення за оптичною густиною розчину культуральної рідини (за вмістом клітин-продуцента), за вмістом субстрату в суміші або за сигналами датчиків рН та розчиненого кисню у ферментаційному середовищі. До кінця

Відповідальна організація ІНУТ	Технічне узгодження	Вид документа <i>Посвідчення записки</i>		Статус документа			
Власник документа ІНУТ	Розробник документа	Назва, додаткова назва СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	200505.MP.00.002 ПЗ				
	Документ затверджено						

процесу біосинтезу вміст глютамінової кислоти культуральної рідині досягає не менше 45 м/л, концентрація залишкового субстрату не більше 0,5 – 1,0%.

Під час сушіння потрібно контролювати температуру і вологість матеріалу, який висушується. Так як таблеткові грануляти та інші напівпродукти сушаться до певної вологості, сушарка має спеціальне реле часу, яке задає час сушіння, зазначене у регламенті на виробництво даного препарату. Вентилятор автоматично вимикається після закінчення сушіння, припиняється подача пара в калорифер – сушильний апарат зупиняється.

ВИСНОВОК

У роботі запропоновано спосіб підвищення ефективності процесу сушіння ліків і матеріалів у сушарці з псевдозрідженим шаром на прикладі сушіння глютамінової кислоти. Суть модернізації полягає у заміні конструкції візка, в якому розміщено гранулят для висушування, і відмові від використання зворощувачів. Це дасть можливість зменшити витрати енергії на реалізацію процесу. Заміна базової конструкції на апарат Вурстера забезпечує потрібну якість процесу.

Після модернізації спрощується обслуговування обладнання і, відповідно, збільшується його реальна продуктивність.

Сушари з псевдозрідженим шаром мають ряд істотних переваг, характеризуються меншою тривалістю процесу, більшою інтенсивністю термічного оброблення виробів, значно меншими габаритами, можливістю поєднання кількох процесів в одному пристрої.

Відповідальна організація НУУТ	Технічне узгодження	Вид документа Посвідчення зварника	Статус документа			
Власник документа НУУТ	Розробник документа Документ затверджено	Назва, додаткова назва ВИСНОВОК	200505.MP.00.002 ПЗ			
			Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Монтаж, ремонт та експлуатація обладнання : курс лекцій для студентів спец. «Обладнання переробних і харчових виробництв» спеціалізації «Обладнання виробництва з перероблення м'яса» денної та заочної форм навчання. Ч. 1. Монтаж технологічного обладнання / І.Г. Бабанов, В.М. Таран, С.Д. Беседа, О.І. Бабанова. — К. : НУХТ, 2010. — 118 с
2. Tsuji T., Yabumoto K., Tanaka T., Spontaneous structures in three-dimensional bubbling gas-fluidized bed by parallel DEM-CFD coupling simulation, - Powder Tech., 184, 132-140, 2008.
3. Adams M.J., Edmondson B. Forces between particles in continuous and discrete media - Tribology in particulate technology (pp.154-172) - Bristol, 1987.
4. Antonyuk S., Heinrich S., Deen N., Kuipers H., Influence of liquid layers on energy absorption during particle impact, - Particuology, 7, 245-259, 2009.
5. Antonyuk S., Heinrich S., Smirnova I., Coating of Aerogel Particles in Spouted Beds: Experimental study and DPM Simulation, 2009.
6. Blazek J., Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications, - Elsevier, 2001.
7. Bokkers G.A., van Sint Annaland M., Kuipers J.A.M., Comparison of continuum models using the kinetic theory of granular flow with discrete particle models and experiments: Extent of particle mixing induced by bubbles, - Proc. 11th Int. Conf. on Fluidization, 2004.
8. Brennen C.E., Fundamentals of multiphase flow, - Cambridge University Press, 2005.
9. Brey J.J., Dufty J.W., Santos A., Kinetic Models for Granular Flow, - J. of Stat. Phys., 97, 281-322, 1999.
10. Brilliantov N.V., Spahn F., Hertzsch, Poschel T., A model for collisions in granular gases, - Phys. Rev. E, 53, 5382, 1996.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження	Вид документа Посвідчення автентичності	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа	Назва, додаткова назва	200505.MP.00.002 ПЗ			
	Документ затверджено	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ	Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Арх ш 1/3

11. van Buijtenen M., Deen N., Heinrich S., Antonyuk S., Kuipers J.A.M., A Discrete Element Study of Wet Particle-Particle Interaction During Granulation in a Spout Fluidized Bed, – *Canad. J. Of Chem. Eng.*, 87, 308-317, 2009.

12. Busse W.F., Starr F.C., Change of a viscoelastic sphere to a torus by random impacts, – *Am. J. Phys.*, 28, 19, 1960.

13. Cundall P.A., Strack O.D.L., A discrete numerical model for granular assemblies, – *Geotechnique*, 29, 47-65, 1979.

14. Fries L., Antonyuk S., Heinrich S., Palzer S., DEM-CFD modelling of a fluidized bed spray granulator, – *Chem. Eng. Sci.*, 66, 2340-2355, 2011.

15. Fries L., Dosta M., Antonyuk S., Heinrich S., Palzer S., Moisture distribution in fluidized beds with liquid injection, - *Chem. Eng and Tech.*, in press.

16. Gear C.W., The numerical integration of ordinary differential equations of various orders, - *Tech. Rep. ANL7126*, Argonne National Laboratory, 1966.

17. Gera D., Gautam M., Tsuji Y., Kawaguchi T., Tanaka T., Computer simulation of bubbles in large-particle fluidized beds, - *Powder Tech.*, 98, 38-47, 1998.

18. Haff P.K., Werner B.T., Computer simulation of the mechanical sorting of grains, - *Powder Tech.*, 48, 239, 1986.

19. Heald J., McEwan I., Tait S., Sediment transport over a flat bed in a unidirectional flow: Simulations and Validation, – *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A362, 1973-1986, 2004.

20. Hertz H., Uber die Berührung fester elastischer Korper, *J. Fur die Reine und Angewandte Mathematik*, 92, 156-171, 1882.

21. Kafui D.K., Tjornton C., Fully-3D DEM Simulation of Fluidised Bed Spray Granulation Using an Exploratory Surface-Energy Based Spray Zone Concept, - *Powder Tech.*, 184, 177-188, 2008.

22. Karri S.B.R., Werther J., Gas Distributor and Plenum Design in Fluidized Beds, 2003. 62

23. Kruggel-Emden H., Simsek E., Rickelt S., Wirtz S., Scherer V., Review and extension of normal force models for the Discrete Element Method, - Powder Tech., 171, 157-173, 2007.

24. Kruggel-Emden H., Wirtz S., Scherer V., A study on tangential force laws applicable to the discrete element method (DEM) for materials with viscoelastic or plastic behavior, - Chem. Eng. Sci., 63, 1523-1541, 2008.

25. Latham J.-P., Munjiza A., The Modelling of Particle Systems with Real Shapes, - Phil. Trans. R. Soc. Lond., A362, 1953-1972, 2004.

26. Luding S., Herrmann H.J., Cluster growth in freely cooling granular media, - Chaos, 9, 673-681, 1999.

27. Matsuda Y., Iwase Y., Numerical simulation of rock fracture using threedimensional extended discrete element method, - Earth Planet Space, 54, 367-378, 2002.

28. Mueller P., Antonyuk S., Stasiak M., Tomas J., Heinrich S., The normal and oblique impact of three types of wet granules, - Granular Matter, 2011.

29. Nagaiah C., Warnecke G., Heinrich S., Peglow M., Numerical simulation of temperature and concentration distributions in fluidized beds with liquid injection, - Chem. Eng. Sci., 62, 1567-1590.

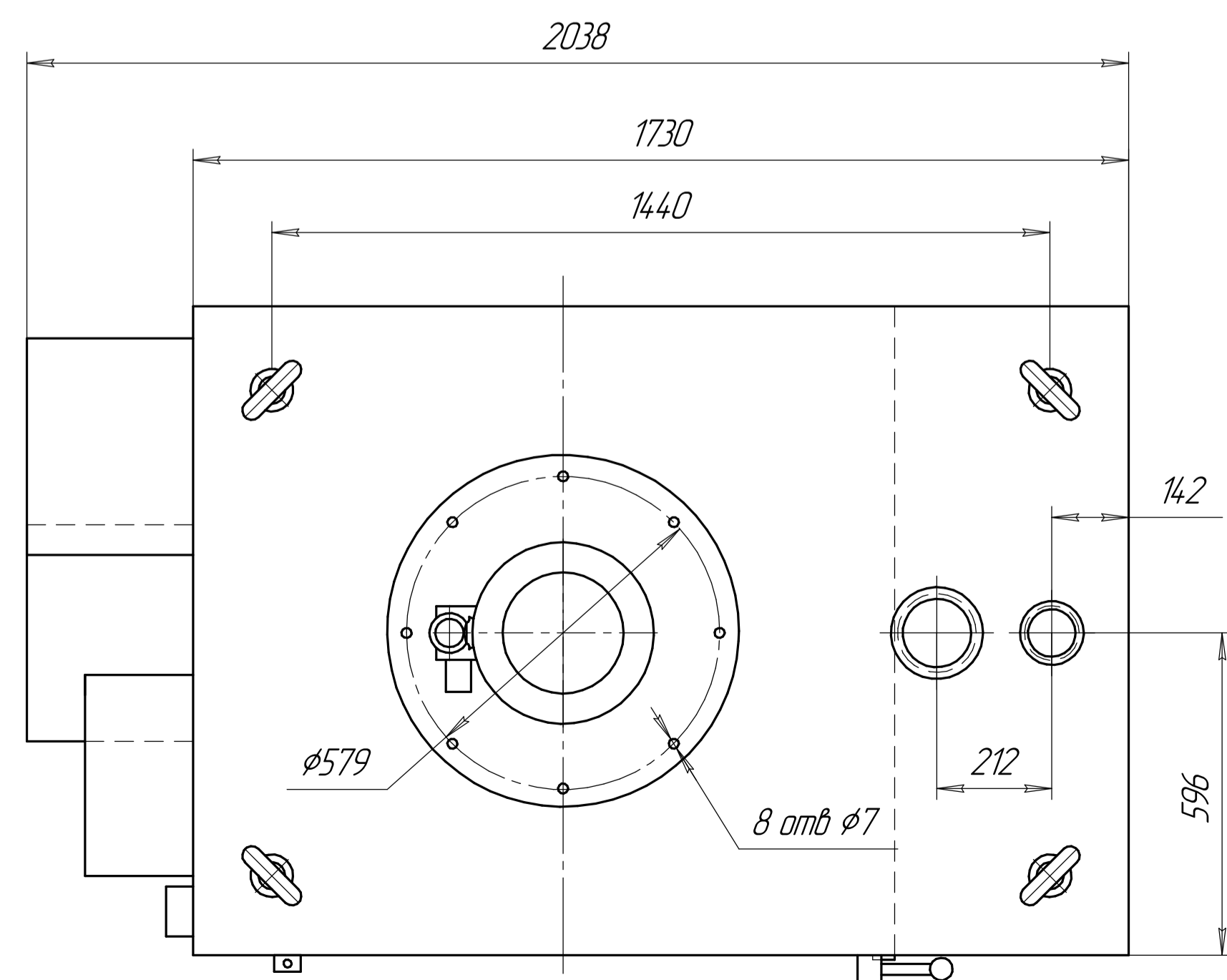
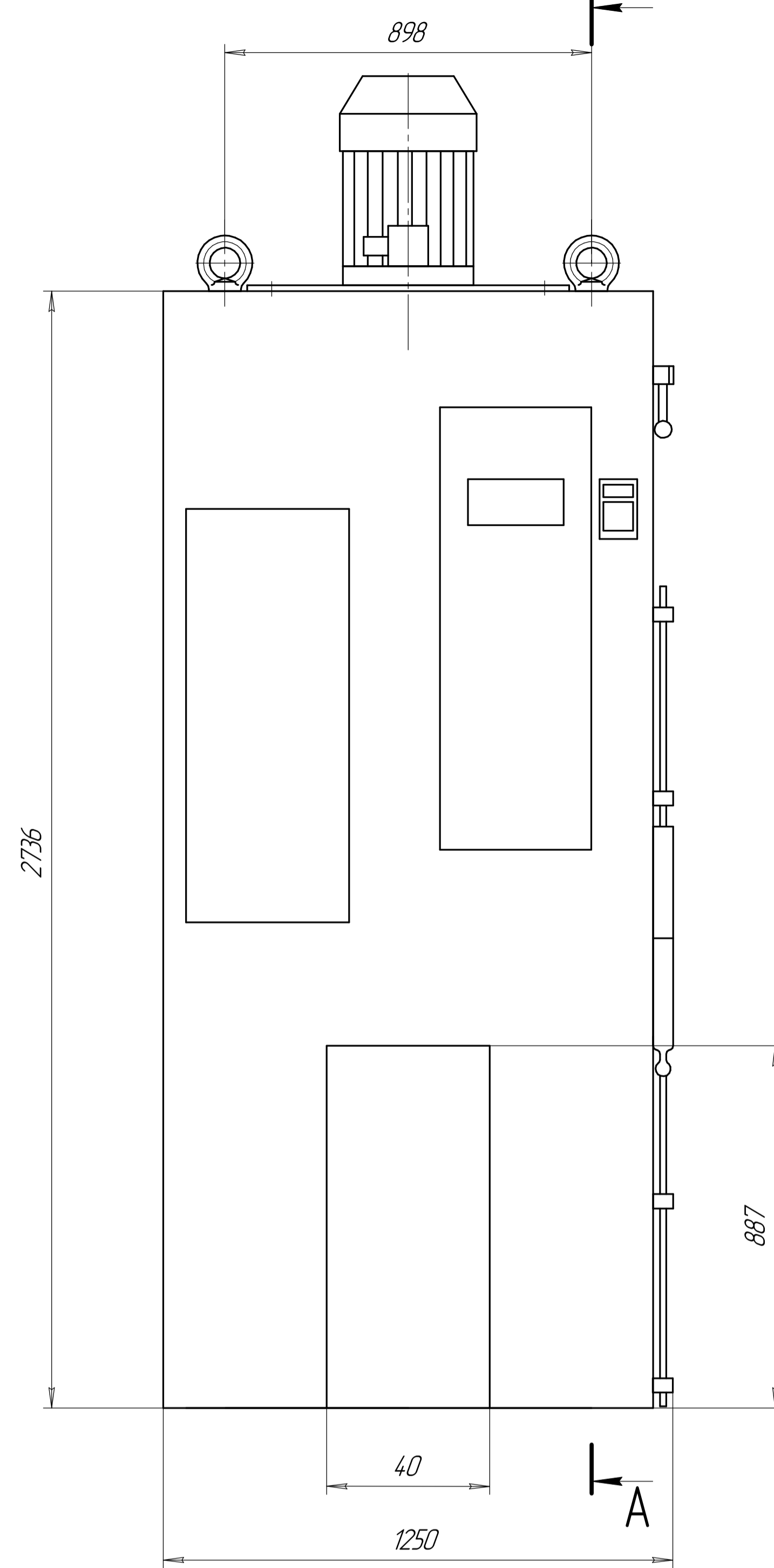
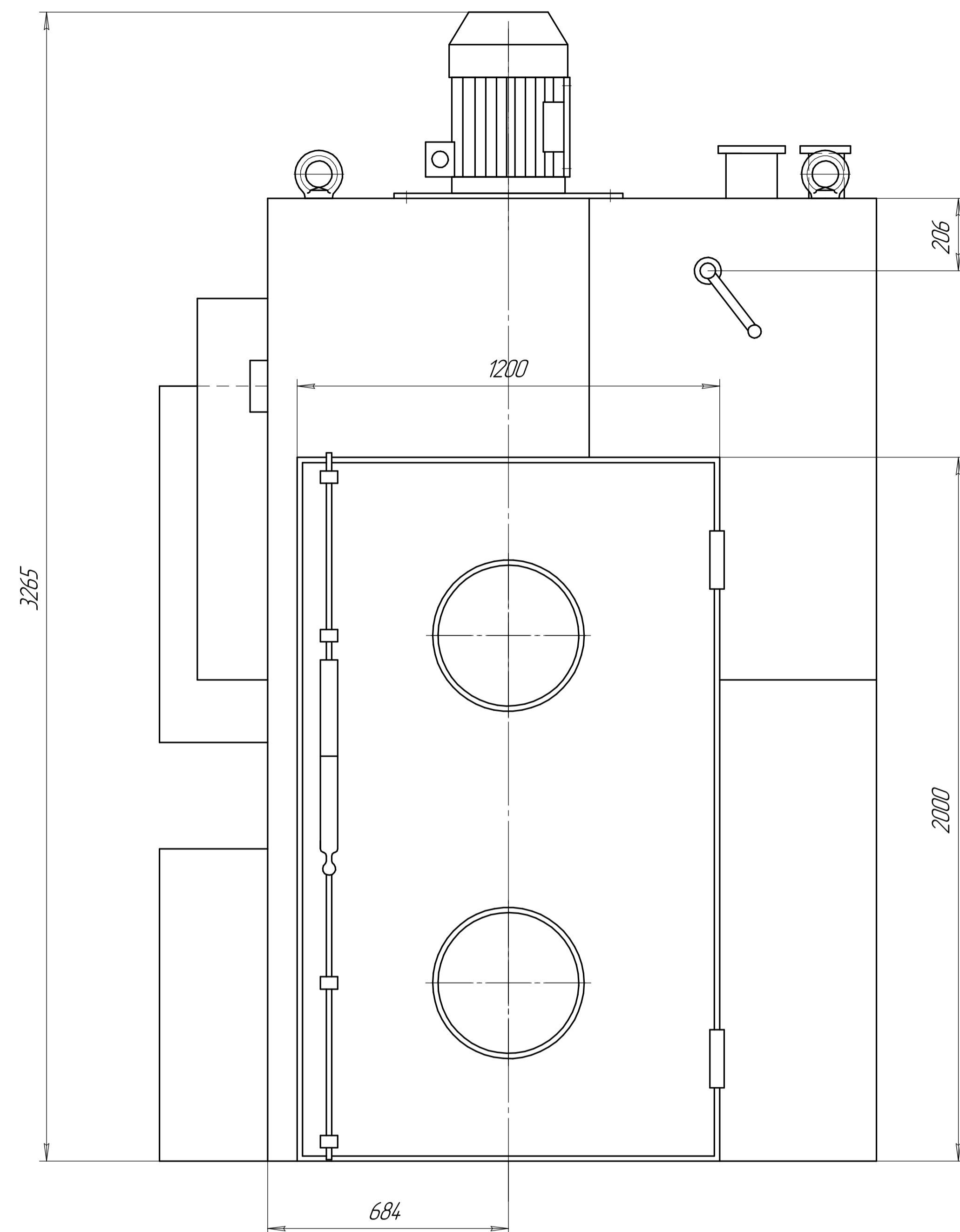
30. Poschel T., Schwager T., Computational Granular Dynamics, - Springer, 2005.

31. Severens I.E.M., Mattheij R.M.M., van de Ven A.A.F., Wolf D.E., Modelling and DEM simulations of toner behaviour in a print process, - Eur. J. of App. Math., 17, 141-160, 2006.

32. Sundaresan S., Instabilities in fluidized beds, - Ann. Rev. Fluid Mech., 35, 63- 88, 2003.

33. Tsuji Y., Kawaguchi T., Tanaka T., Discrete particle simulation of twodimensional fluidized bed, – Powder Tech., 77(1), 79-87, 1993

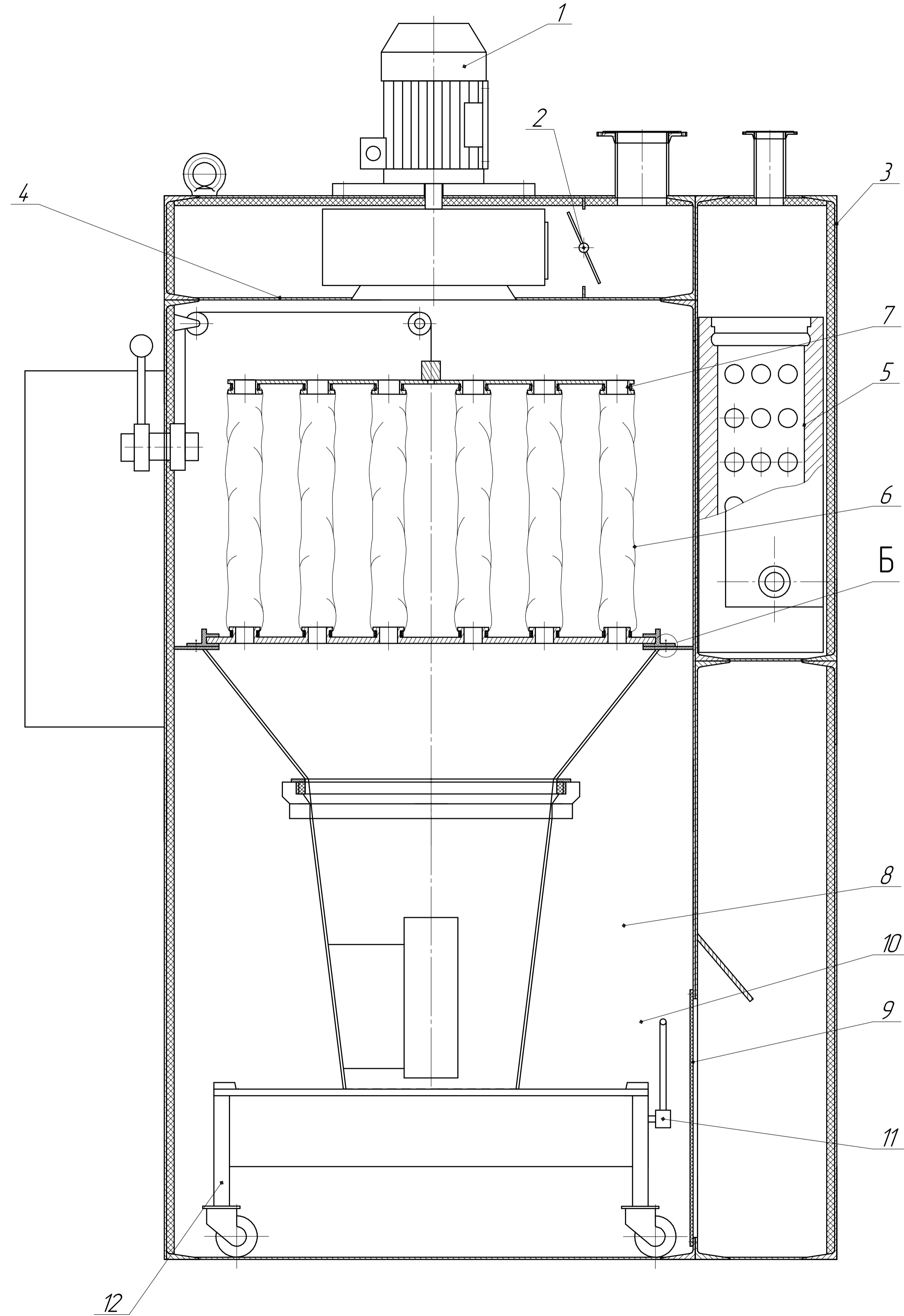
ДОДАТКИ



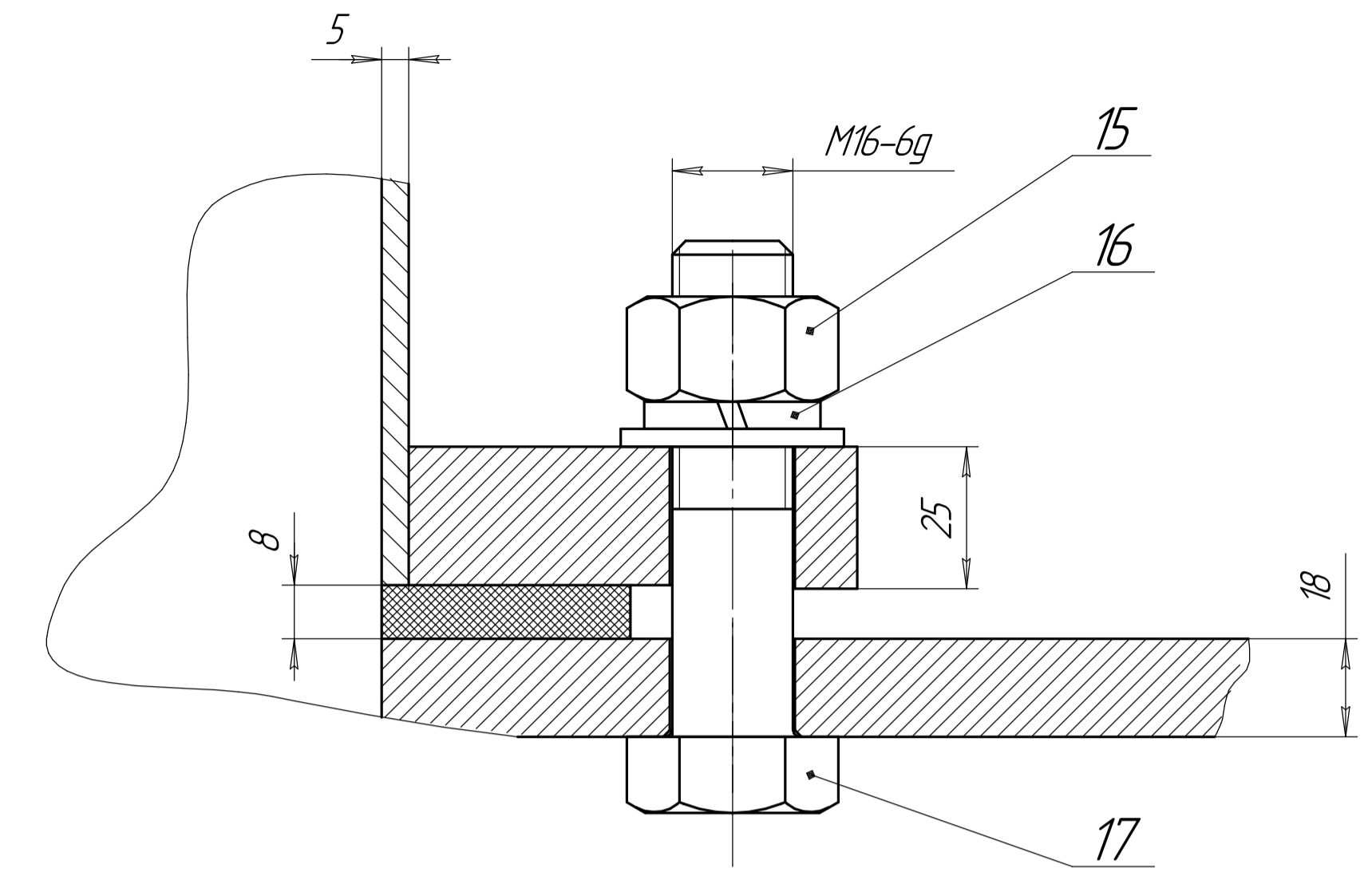
- Технічна характеристика:**
1. Габаритні розміри апарату
довжина - 2038 мм
ширина - 1250 мм
висота - 3265 мм
 2. Маса завантаженого матеріалу в резервуар - 50 кг.
 3. Тривалість циклу від 20 до 60 хвилин.
 4. Продуктивність вентилятора - 2500 м³/год
Електродвигун вентилятора:
тип А02-32-2М302
потужність - 11 кВт
швидкість обертання ротора - 3000 об/хв
напруга - 380 В
 5. Калориферна установка:
тип калорифера - КВБ 6П
теплопродуктивність - 16852,5 Вт
витрати пара - 135 кг/год
число калориферів - 1 шт.
тиск пари - (0,2-0,3) МПа
 6. Температура повітря за калорифером 20-70 °С.
 7. Площа поверхні:
рукавного фільтра - 8 м²
повітряного фільтра - 0,6 м²
 8. Навантаження фільтрів:
рукавного - 313 м³/год·м²
повітряного - 4150 м³/год·м²
 9. Тиск стиснутого повітря на вході в апарат - 0,3-0,4 МПа

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Чепелюк О.О.	Розробник документа Черненко Д.А.	Документ затверджено Габда О.М.	М 1:10
Власник документа НУХТ ОФ-2-6М		Вид документа Складальний кресленник	Статус документа	
		Назва, додаткова назва Сувальний апарат з псевдослідженням шаром	200505.MP.05.00.000 СБ	
		Інв. змін.	Дата видання	Мова
				Аркуші 1/2

A-A (ЛИСТ 1)



Б (1:1)



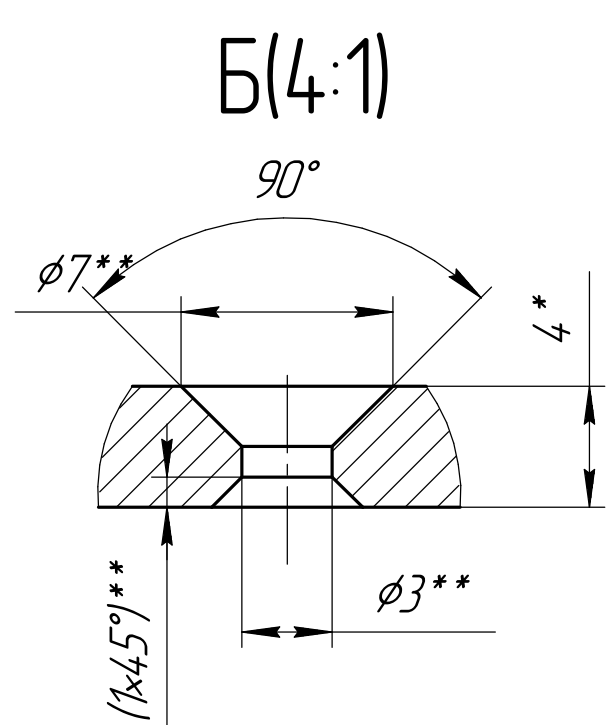
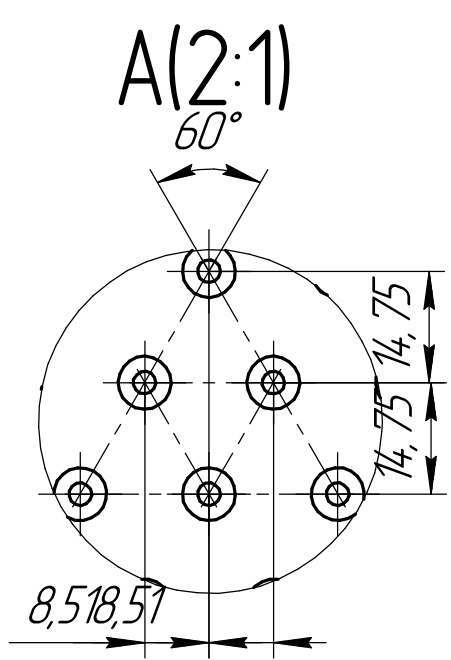
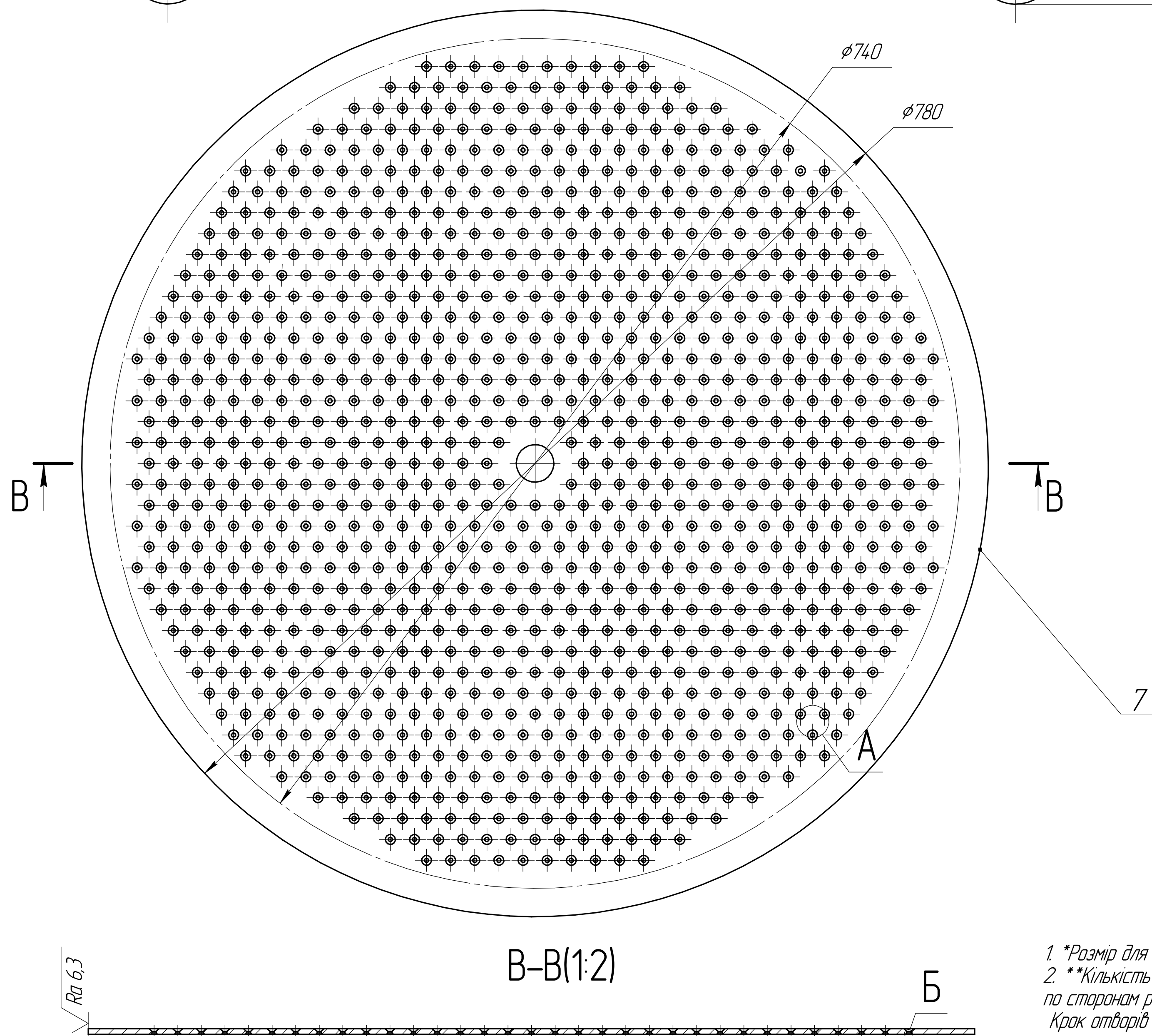
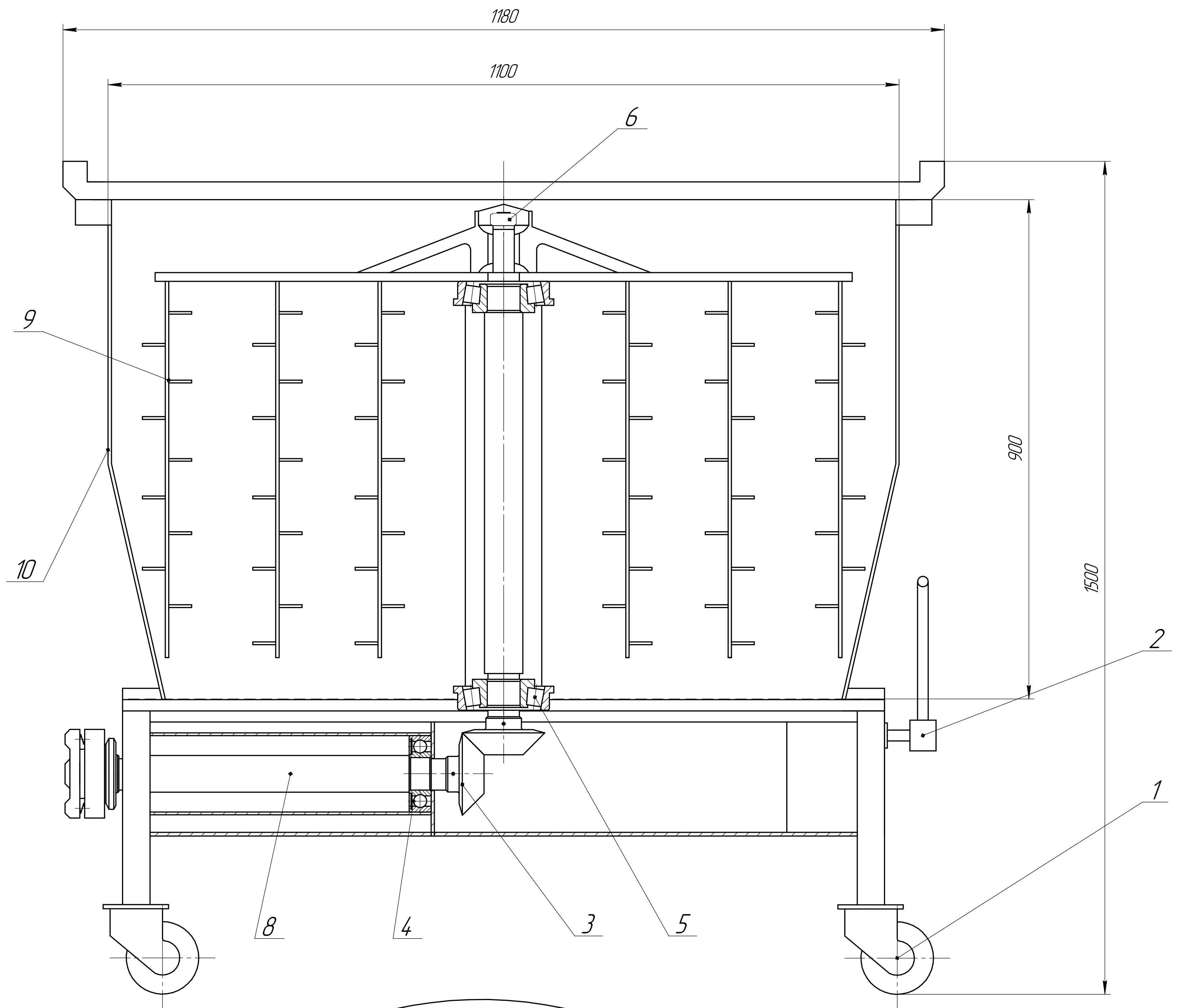
Технічна характеристика

Продуктивність сушарки по висушеному матеріалу – 0,0139 кг/с
 Швидкість виносу найбільш легких частинок – 4,7 м/с
 Висота псевдозрідженого шару матеріалу – 160 мм
 Число отворів в розподільчій решітці – 3500
 Висота сепараційного простору – 800 мм
 Витрати сухого повітря – 7,5 кг/хв
 Швидкість витання частинок – 3,37 м/с
 Швидкість псевдозріджених частинок максимального розміру – 12 м/с
 Витрати тепла на нагрівання повітря – 45 кДж

Відповідальна організація <i>НУХТ</i>	Технічне узгодження <i>Чепелюк О.О.</i>	Розробник документа <i>Черненко Д.А.</i>	Документ затверджено <i>Габда О.М.</i>	<i>М 1:10</i>
Власник документа <i>НУХТ ОФ-2-6М</i>	Вид документа <i>Складальний креслений</i>		Статус документа	
Назва, додаткова назва <i>Сушильний апарат з псевдозрідженим шаром</i>		<i>200505.MP.05.00.000 СБ</i>		
Інв. змін.	Дата видання	Мова	Аркуш	<i>2</i>

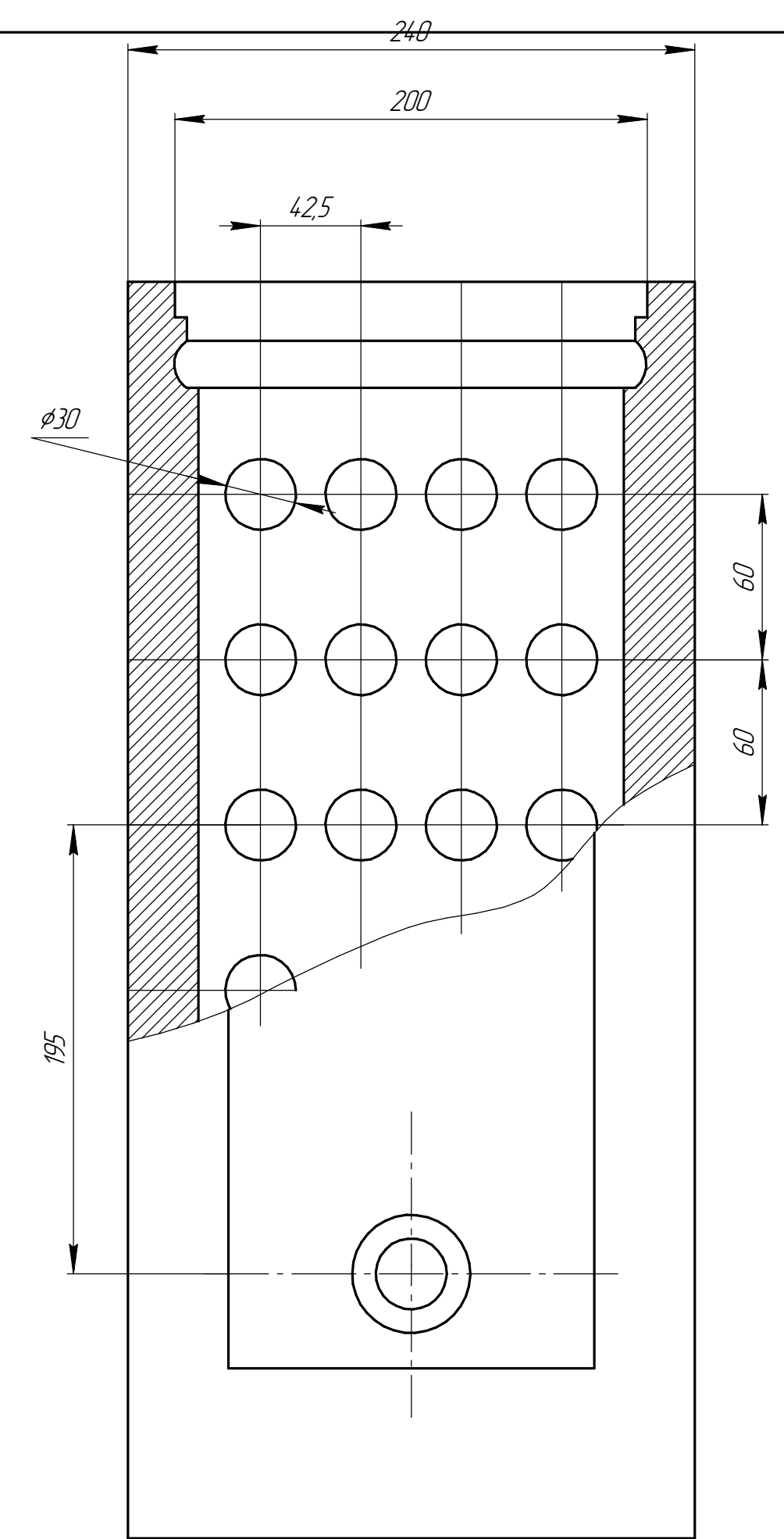
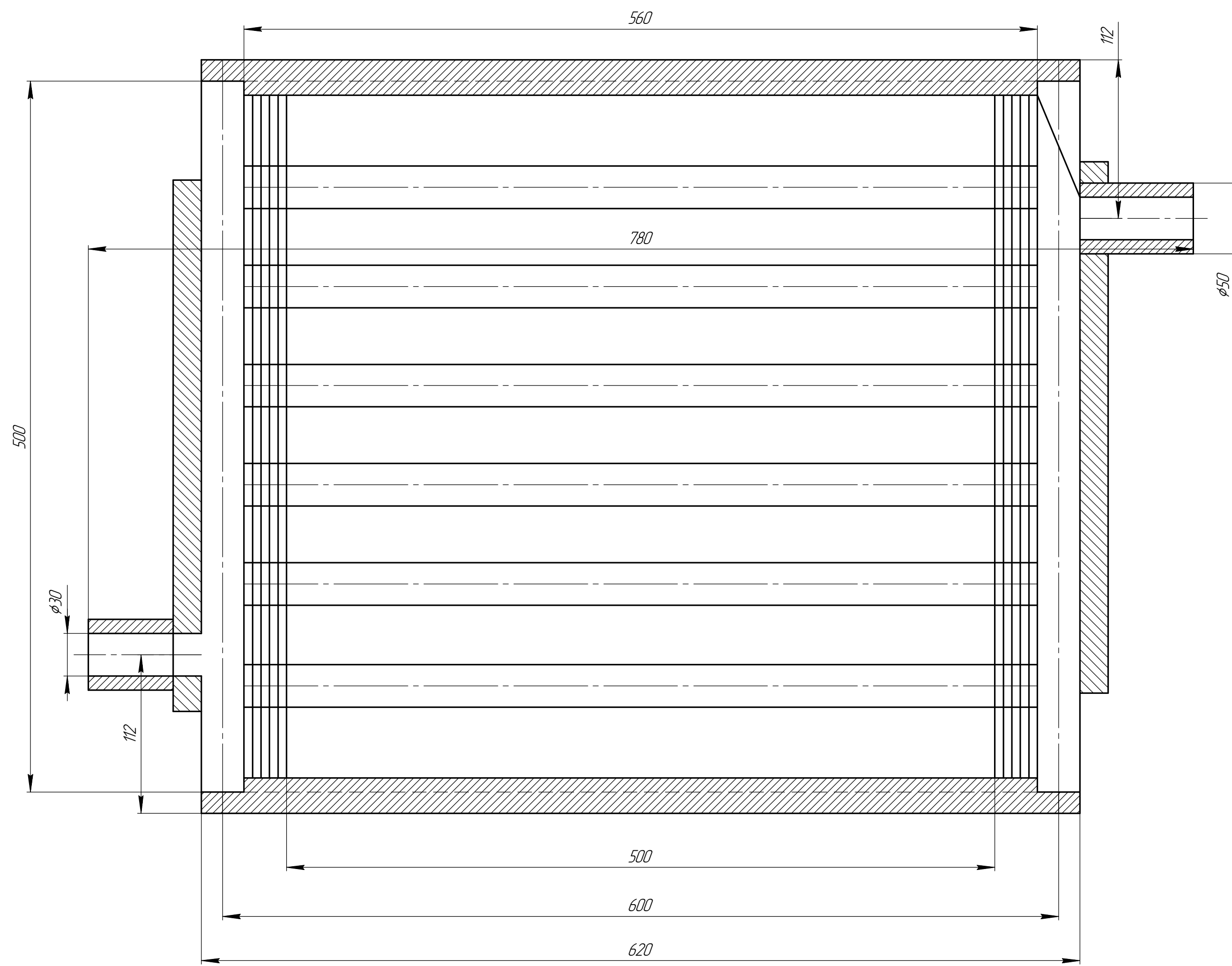
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
				<i>Документація</i>		
A1			200505.MP.05.00.000 СБ	<i>Складальне креслення</i>		
				<i>Складальні одиниці</i>		
		1	2200505.MP.05.01.000	<i>Вентилятор</i>	1	
		2	200505.MP.05.02.000	<i>Шибєр</i>	1	
		3	2200505.MP.05.03.000	<i>Корпус сушарки</i>	1	
		4	200505.MP.05.04.000	<i>Механізм струшування</i>	1	
		5	200505.MP.05.05.000	<i>Паровий калорифер</i>	1	
		6	200505.MP.05.06.000	<i>Рукавний фільтр</i>	1	
		7	200505.MP.05.07.000	<i>Каркас рукавного фільтра</i>	1	
		8	200505.MP.05.08.000	<i>Ворошитель</i>	1	
		9	200505.MP.05.09.000	<i>Повітряний фільтр</i>		
		10	200505.MP.05.10.000	<i>Резервуар</i>		
		11	200505.MP.05.11.000	<i>Підйомний механізм</i>		
		12	200505.MP.05.12.000	<i>Візок резервуара</i>	1	
		13	200505.MP.05.13.000	<i>Привод ворошителя</i>	1	
		14	200505.MP.05.14.000	<i>З'єднувальна муфта</i>		
				<i>Стандартні вироби</i>		
		15		<i>Болт М16×150 ГОСТ 7798-70</i>	4	
		16		<i>Гайка М16 ГОСТ 5915-70</i>	4	
		17		<i>Шайба 1.30.01.05 ГОСТ 9649-66</i>	4	

Відповідальна організація <i>НУХТ</i>	Технічне узгодження <i>Чепелюк О.О.</i>	Розробник документа <i>Черненко Д.А.</i>	Документ затверджено <i>Гавва О.М.</i>	Масштаб 1:1	
Власник документа <i>НУХТ</i>		Вид документа <i>Специфікація</i>		Статус документа	
		Назва, додаткова назва <i>Сушильний апарат з псевдозрідженим шаром</i>		<i>200505.MP.05.00.000 СБ</i>	
		Інд. змін	Дата видання	Мова	Аркуш
				<i>ua</i>	<i>1/1</i>



- 1 *Размір для довідок.
- 2 **Кількість отворів $n=3500$. Отвори розташовані по сторонам рівностороннього трикутника. Крок отворів див. А.
- 3 $H12, h12, \pm \frac{IT12}{2}$.
4. Область заповнення решітки отворами $d=700$ мм.
5. Гострі краї притупити.

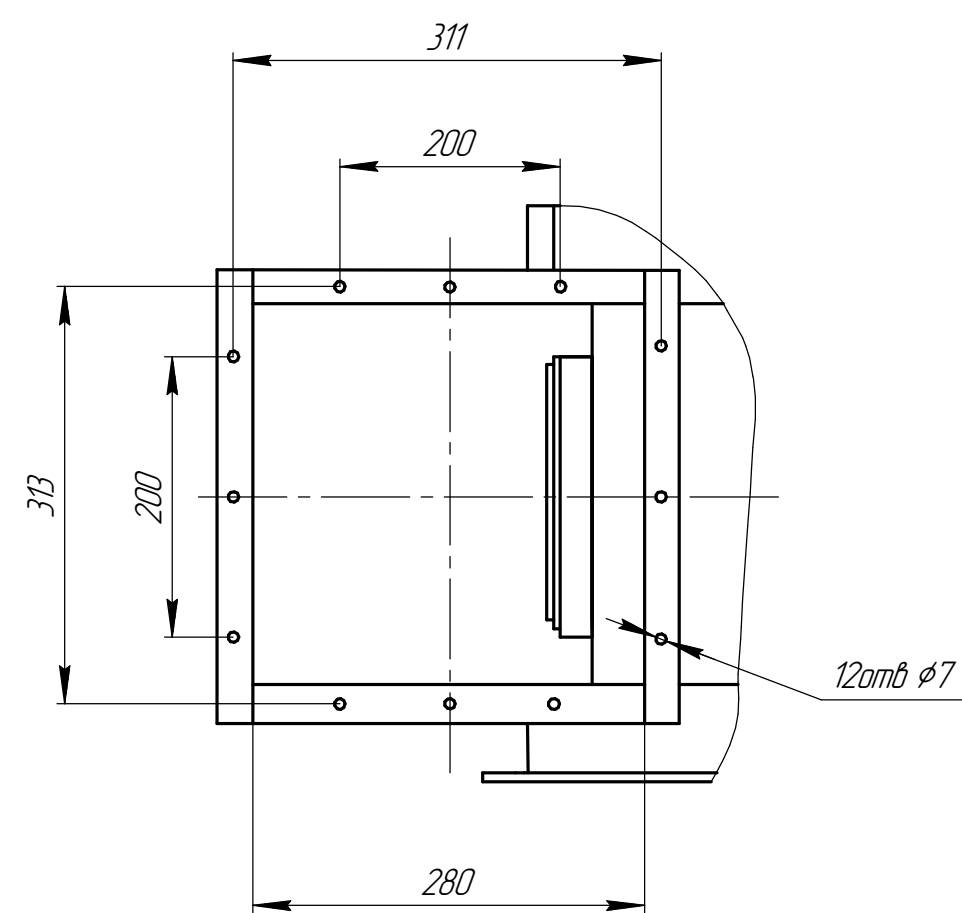
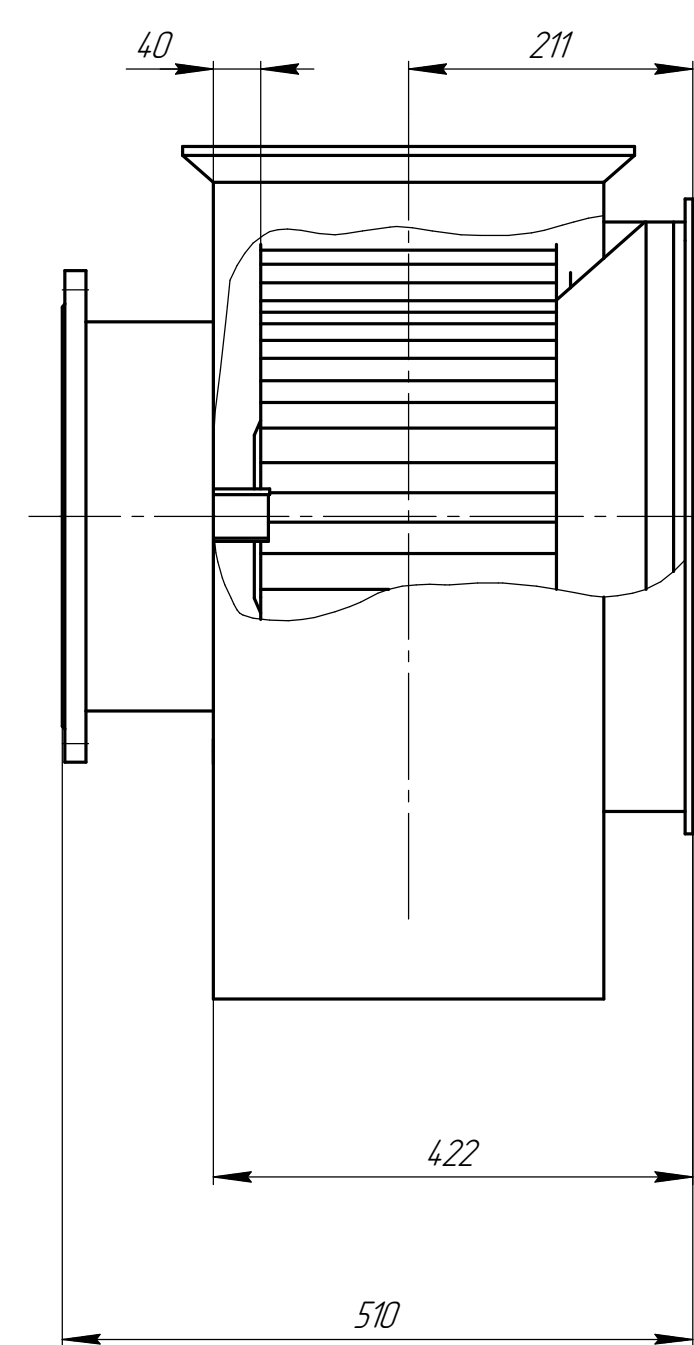
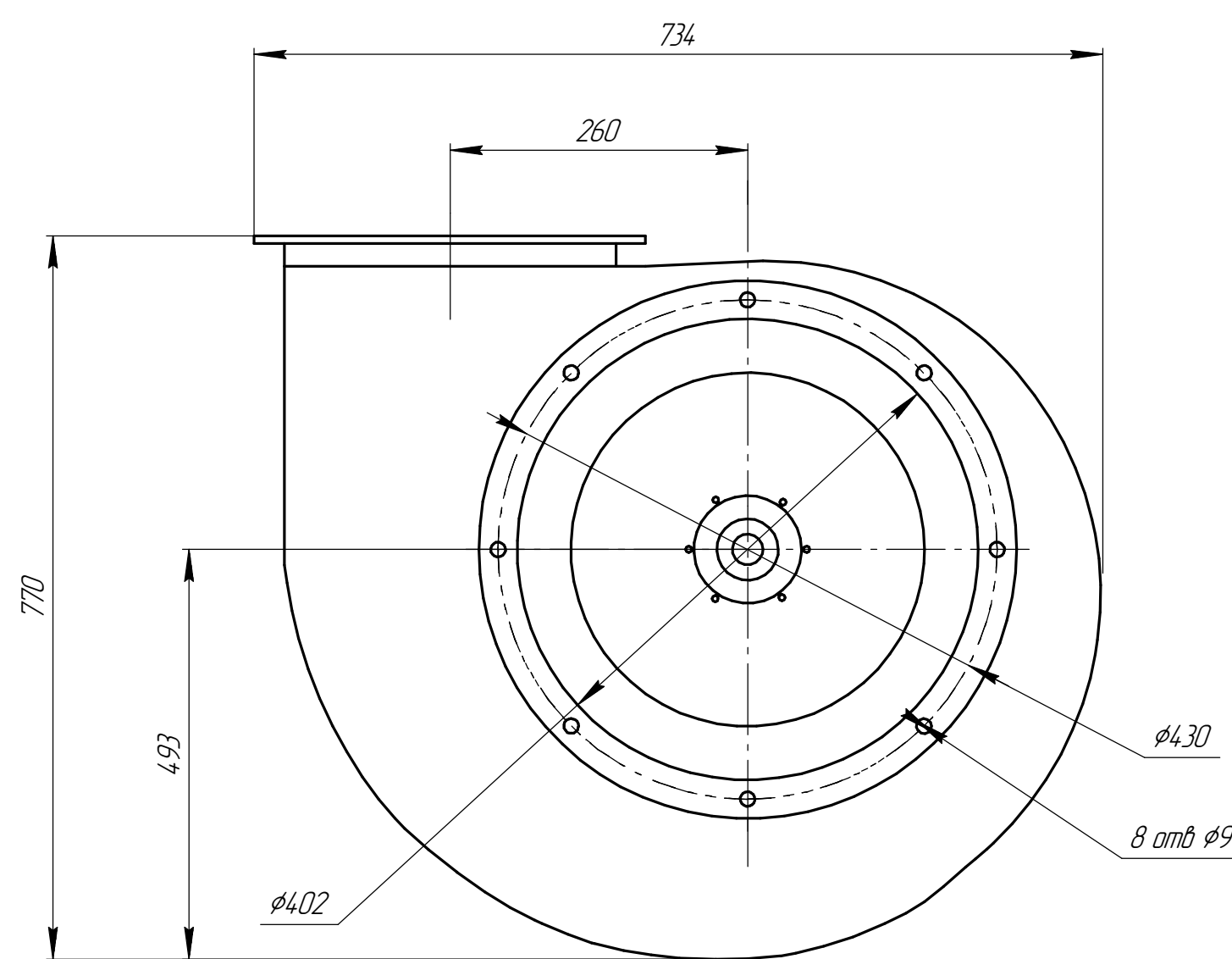
Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Чепелаж О.О.	Розробник документа Черненко Ш.А.	Документ затверджено Гавва О.М.	M 125
Власник документа НУХТ		Вид документа Складальне креслення	Статус документа	
		Назва, додаткова назва Важ	200505.MP.05.02.000 СБ	
		Інд. змін	Дата видання	Мова
		Аркуш	1	



Технічна характеристика

1. *Поверхня нагрівання калорифера – 14.7 м²*
2. *Витрати пари на підігрів повітря в калорифері – 135 кг/год*

Відповідальна організація <i>НУХТ</i>	Технічне узгодження <i>Чепелюк О.О.</i>	Розробник документа <i>Черненко Д.А.</i>	Документ затверджено <i>Габда О.М.</i>	<i>М 12</i>
Власник документа <i>НУХТ</i>		Вид документа <i>Складальне креслення</i>	Статус документа	
		Назва, додаткова назва <i>Калорифер</i>	<i>200505.MP.05.05.000 СБ</i>	
		Інд. змін	Дата видання	Мова
				Аркуш <i>1</i>



Відповідальна організація <i>НУХТ</i>	Технічне узгодження <i>Чепелюк О.О.</i>	Розробник документа <i>Черненко Д.А.</i>	Документ затверджено <i>Габда О.М.</i>	<i>М 15</i>
Власник документа <i>НУХТ</i>		Вид документа <i>Складальне креслення</i>	Статус документа	
		Назва, додаткова назва <i>Вентилятор</i>	<i>200505.MP.05.04.000 СБ</i>	
		Інд. змін	Дата видання	Мова
				Аркуш <i>1</i>

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
				<i>Документація</i>		
A1			200505.MP.05.12.00.000 СБ	Складальне креслення		
				<i>Складальні одиниці</i>		
		1	200505.MP.05.12.01.000	Колесо візка	4	
		2	200505.MP.05.12.02.000	Підйомний механізм	1	
		3	200505.MP.05.12.03.000	Перфороване днище	1	
		4	200505.MP.05.12.04.000	Зворушувач	1	
		5	200505.MP.05.12.05.000	Резервуар	1	
				<i>Деталі</i>		
		6	200505.MP.05.12.00.001	Конічна шестерня	2	
		7	200505.MP.05.12.00.002	Вал	2	
				<i>Стандартні вироби</i>		
		8		Гайка М16 ГОСТ5915-70	1	
		9		Підшипник 60101 ГОСТ 7242-81	2	
		10		Підшипник 67302А ГОСТ 27365-87	2	

Відповідальна організація <i>НУХТ</i>	Технічне узгодження <i>Чепелюк О.О.</i>	Розробник документа <i>Черненко Д.А.</i>	Документ затверджено <i>Гавва О.М.</i>	Масштаб 1:1	
Власник документа <i>НУХТ</i>		Вид документа <i>Специфікація</i>	Статус документа		
		Назва, додаткова назва <i>Візок</i>	<i>200505.MP.05.12.00.000 СБ</i>		
		Інд. змін	Дата видання	Мова	Аркуш
				<i>UA</i>	<i>1/1</i>