

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ**

**Кафедра хімічної технології високомолекулярних сполук**

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

**зі спеціальності 6.133 "Галузеве машинобудування"**

Тема роботи: Виробництво електродетонаторів. Сушарка для сушки полум'ягасячого складу на корпусах детонаторів потужністю 6,6 млн шт/рік.

Виконав:

студент групи ХМ-81ш

Пирогов Максим Олександрович

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Захищений з оцінкою:

\_\_\_\_\_

Керівник:

Банишевський В.В.

\_\_\_\_\_

підпис

ШІ СумДУ 2022

# СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## Шосткинський інститут

Кафедра «Хімічна технологія високомолекулярних сполук»

Спеціальність 6.133 "Галузеве машинобудування"

### ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи бакалавра

Студенту \_\_\_\_\_ Пирогову Максиму Олександровичу \_\_\_\_\_.

Курс 4 \_\_\_\_\_ Група ХМ-81ш \_\_\_\_\_ Семестр 8

**1. Тема роботи:** Виробництво електродетонаторів. Сушарка для сушки полум'ягасячого складу на корпусах детонаторів потужністю 6,6 млн шт/рік.

#### 2. Вихідні дані:

Полум'ягасячий склад містить 33% сірчаноокислого калію, 24% кварцового піску, 3% тальку та 40% рідкого скла.

#### 3. Перелік необхідного графічного матеріалу (аркуші А1):

<u>Технологічна схема</u>	1,0 арк.
<u>Складальне креслення апарату</u>	1,0 арк.
<u>Складальне креслення станку для набірки гільз</u>	1,0 арк.
<u>Схема нанесення покриття</u>	1,0 арк.

#### 4. Необхідна література:

1 Машини и аппараты химических производств. Примеры и задачи: Под ред. В. Н. Соколова, Л. : Машиностроение, 1982.-383 С.

2 Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1970. – 752с.

#### 5. Етапи виконання курсового проекту:

Етап та розділ проектування	ТИЖДЕНЬ													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Введення	x													
Технологічна частина		x	x	x	x									
Конструкторські розрахунки та розрахунки на міцність						x	x	x						
Розробка креслень									x	x	x	x		
Оформлення записки													x	
Захист проекту														x

6. Дата видання завдання \_\_\_\_\_ 2022 р.

7. Термін для здачі захисту \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Керівник** \_\_\_\_\_ Банишевський В.В. \_\_\_\_\_.

ПІБ

підпис

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	5
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Опис технологічної схеми виробництва запобіжного складу	7
1.2 Теоретичні основи процесу сушіння	13
1.3. Опис об'єкта розробки і вибір основних конструктивних матеріалів	18
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ АПАРАТУ	23
2.1 Технологічні розрахунки апарату	23
2.2 Тепловий баланс процесу сушіння	26
3. РОЗРАХУНОК АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ	30
3.1 Механічні розрахунки	30
3.2 Розрахунок тягового ланцюга	31
3.3 Вибір електродвигуна	35
3.4 Розрахунок ланцюгової передачі	36
3.5 Розрахунок черв'ячного редуктора	41
4. МОНТАЖ І РЕМОНТ АПАРАТА	51
4.1 Монтаж апарата	51
4.2 Ремонт апарата	52
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	53
5.1 Техніка безпеки	53
5.2 Навчання і перевірка знань по охороні праці	54
5.3 Охорона навколишнього середовища	55
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	58

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Кваліфікаційна робота бакалавра. Пояснювальна записка					
Розробив		Пирогов						Лит.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Банишевський							3	58
Реценз.								ШІСумДУ		
Н. Контр.								гр. ХМ-81ш		
Затверд.										

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 58 ст., 10 рис., 1 табл., 12 літературних джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальне креслення апарату, креслення набірки гільз - всього 4 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Виробництво електродетонаторів. Сушарка для сушки полум'ягасячого складу на корпусах детонаторів потужністю 6,6 млн шт/рік.».

У бакалаврській роботі описана технологія виробництва електродетонаторів.

Розглянута конструкція та пристрій сушарки, а також теоретичні основи процесу сушіння та технологія сушки полум'ягасячого складу.

Проведено технологічні розрахунки апарату та розрахунки на міцність.

Описано основні правила монтажу та ремонту сушарки, охорона праці та навколишнього середовища.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОДЕТОНАТОР, СУШАРКА, ПОЛУМ'ЯГАСЯЧИЙ СКЛАД, СУШКА.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ВСТУП

В країні широко розвинена гірничодобувна промисловість. Для видобутку руди та інших корисних копалин, використовують відкритий та закритий спосіб.

Для вибухових робіт при підземному видобутку в шахтах, небезпечних по газу та пилу, застосовують: вибухові речовини, засоби підривання, засоби ініціювання та спеціальні конструкції.

Тема дипломної роботи, виробництво запобіжних електродетонаторів.

Електродетонатори — це пристрої, які використовують для підриву зарядів вибухових речовин під час проведення промислових вибухових робіт за температури навколишнього середовища від мінус 60 до плюс 45 °С. Електродетонатори запускаються механічно, електрично або хімічно.

Вони являють собою металеву (алюмінієву, сталеву, мідну) або паперову гільзу, спорядженою ініціюючими вибуховими речовинами. Задня частина гільзи може бути плоскою або увігнутою (з кумулятивною вирвою). Гільза заповнюється вибуховою речовиною на 2/3 від своєї довжини, незаповнена частина служить для засобу займання (вогнепровідного або детонуючого шнура). Заряд прикривається філіжанкою, яка запобігає спрацьовуванню детонатору від тертя. Для закріплення вогнепровідного шнура необхідно акуратно вставити ініціюючі вибухові речовини в капсуль і обжати гільзу спеціальним каліброваним інструментом.

Запобіжні електродетонатори у своїй конструкції мають речовини, в яких застосовують полум'ягасячі компоненти, для запобігання вибуху середовища навколо вибухової речовини.

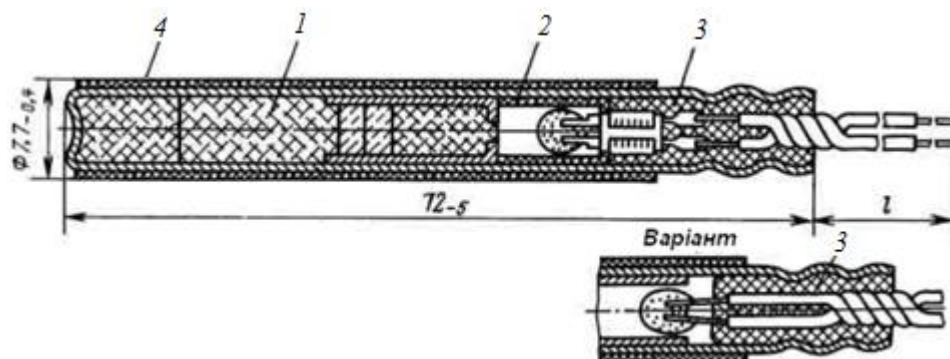


Рисунок 1 – Запобіжний електродетонатор ЕД-КУ-ЗКП

1- Капсуль-детонатор; 2 – екран; 3 – електрозапалювач; 4 – запобіжний шар

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Під час розробки безпечних вибухових речовин для надійного підривання динамітів, виникла потреба в детонаторах. Більшість з них була розроблена з високою енергією активації, для безпечної та стабільної роботи і щоб вони не вибухали при випадковому падінні, та при впливі вогню. Такі детонатори мають вторинні вибухові речовини. Для детонації різних вибухових речовин потрібна різна кількість енергії. Проте їх дуже важко підірвати спеціально. Вони також вимагають невеликого ініційного вибуху. Це забезпечується детонатором.

В детонаторі є легкозаймана вибухова речовина, яка забезпечує початкову енергію активації для початку детонації в основному заряді. Вибухові речовини, що використовуються в детонаторах, включають азид свинцю, октоген, фульмінат ртуті, тетрил, гексаген, стифнат свинцю. Азид срібла використовується рідко через високу ціну.

Детонатори дуже небезпечні для роботи з непідготовленим персоналом, оскільки в них є первинна вибухівка.

Перші вибухові детонатори були продемонстровані наприкінці XVIII століття, в них електрична іскра при терті запалювала чорний порох, через легкозаймисту речовину, яку змішували з чорним порохом.

Наприкінці XIX століття були розроблені електричні детонатори, що поєднували детонатор з вибуховою речовиною та дротом.

Електричні сірникові детонатори почали виготовляти на початку XX століття у Німеччині.

У сучасних електродетонаторах використовують різноманітні вибухові речовини та окремі первинні та вторинні заряди вибухівки.

Нова розробка детонаторів це плоскі детонатори. У цих детонаторів використовується дуже тонкі електрично заряджені пластини через дріт або срібну фольгу, щоб викликати первинний заряд. Такі детонатори використовуються в гірничих виробках, де пластини з срібної фольги живляться лазером через волоконно-оптичний кабель.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

# 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ЗАПОБІЖНОГО СКЛАДУ

Полум'ягасячі склади наносять на гільзу електродетонатора (рисунок 1, поз.4), для отримання безполум'яного вибуху, щоб під час вибуху детонатора не відбувався вибух газу та пилу при роботах у тунелях та шахтах.

Полум'ягасячі склади поглинають частину енергії вибухового складу і знижують температуру газів, що утворюються під час вибуху і виконують роль антикаталізатора ланцюгових реакцій, що розвиваються в газовій хмарі близько гільзи, полум'ягасячі склади виносяться з гільзи разом з газами вибухових складів і ускладнюють взаємодію горючих газів з киснем повітря.

Полум'ягасячі склади наносять на поверхню гільзи, методом занурення корпусу гільзи у ванну зі складом, після цього відбувається сушіння.

У полум'ягасячих складів, що наноситься на гільзи електродетонаторів, існують деякі вимоги: нерозчинність у воді і хімічна нейтральність по відношенню до компонентів вибухових складів.

В складі міститься сірчаноокислий калій, тонкоподрібнений кварцовий пісок, мелений тальк та рідке скло (силікат натрію), яке служить для сполуки з матеріалом та розчинник – етиловий спирт (технічний).

Склад містить 33% калію сірчаноокислого, 24% кварцового піску, 3% тальку та 40% рідкого скла.

Сірчаноокислий калій ( $K_2SO_4$ ), отримують при взаємодії хлористого калію з сірчаною кислотою. Він являється основою полум'ягасячого складу.

В якості сполучного компонента містяться лаки (нітролак, бакелітовий лак і інші), які своєю горючістю знижують полум'ягасячі властивості складу.

Оболонка складу має високу міцність, а також відмінну хімічну стійкість до впливу лужних і кислих середовищ.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Кварцовий пісок і сірчаноокислий калій подрібнюють і протирають через сито. Змішують склад в механічному змішувачі протягом 15-20 хв.

Технологія нанесення запобіжної оболонки на гільзи електродетонаторів дуже жорстко регламентована. Окремо слід помітити, що більшість нещасних випадків з серйозними каліцтвами і летальними наслідками, а також аварій і руйнувань, відбуваються при виробництві, неправильному зберіганні або використанні засобів підривання.

Технологічна схема нанесення складу складається з двох ліній, лінія виробництва гільз та лінія нанесення полум'яного шару.

### Лінія вироблення гільз

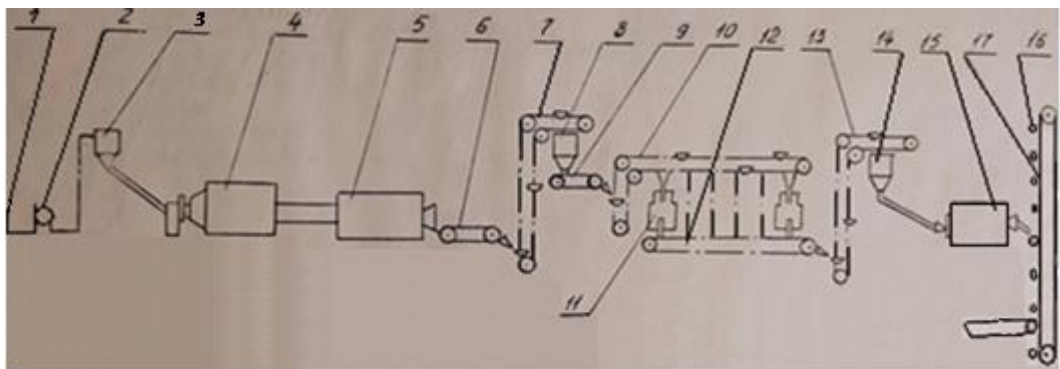


Рисунок 2. Лінія вироблення гільз.

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 1 - Прес вертикальний моделі К-11002 | 10 - Завантажувальний пристрій ковшового транспортера |
| 2 - Живильник                        | 11 - Витяжні преси                                    |
| 3 - Бункер-накопичувач               | 12 - Стрічковий транспортер                           |
| 4 - Електропіч ОКБ-355               | 13 - Завантажувальний пристрій конвеєра роздачі гільз |
| 5 - Агрегат хімічної обробки         | 14 - Бункер-накопичувач                               |
| 6 - Стрічковий транспортер           | 15 - Електропіч "Бостон"                              |
| 7 - Ковшовий транспорт ер            | 16 - Кошки  |
| 8 - Бункер-накопичувач               | 17 - Підвісний конвеєр                                |
| 9 - Стрічковий транспортер           |   |

Для виготовлення гільз, використовують стрічки біметалічні спеціального призначення (мідь, сталь), товщиною 0,72 мм, шириною 167 мм.

Хімічний склад стрічки повинен відповідати марці сталі ГОСТ 1050:

Вуглецю 0,04-0,13%; кремнію, не більше 0,06%; марганцю 0,27-0,53%; хрому, не більше 0,15%.



Хімічний склад алюмінієвої гільзи: Алюміній, не менше 99,5%; залізо 0,3%; кремній 0,3%; мідь 0,02%; цинк 0,06%; титан 0,03%.

У стрічках не допускаються:

- 1) розшарування сталевого шару;
- 2) торцеві тріщини;
- 3) гола кромка на відстані більше 1,5 мм від краю.

Поверхня стрічок повинна бути чистою, рівною і гладкою. На поверхні стрічки не допускається розкатані бульбашки, проколи, прокатані петлі, глибокі подряпини.

Виготовлення гільз електродетонаторів відбувається по такій схемі:

1. Від вирубних пресів 1 заготовки гільз по жолобу надходять в живильник 2,

Потім під тиском стисненого повітря потрапляють в бункер-накопичувач 3.

2. З бункера-накопичувача 3 по лотку заготовки гільз надходять в завантажувальний пристрій електропечі ОКБ-355 4, а потім в агрегат хімічної обробки 5.

3. Після хімічної обробки і сушки заготовки гільз потрапляють на стрічковий транспортер 6, потім в завантажувальний пристрій ковшового транспортера 7, який подає їх в бункер-накопичувач 8.

4. Розвантаження бункера-накопичувача 8, здійснюється розвантажувальним пристроєм через живильник-дозатор. Заготовки гільз зсипаються на стрічковий транспортер 9, а потім в завантажувальний пристрій ковшового транспортера 10 подачі заготовок до витяжних пресів 11.

5. Гільзи від витяжних верстатів по лотках зсипаються на стрічковий транспортер 12 і подаються в завантажувальний пристрій конвеєра роздачі гільз 13, який розподіляє гільзи до бункер-накопичувачів 14, з яких через завантажувальний пристрій гільзи надходять на відпал в електропечі "Бостон" або ОКБ -355 15.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

6. Після відпалу, гільзи в спеціальній тарі 16 транспортуються підвісним конвеєром 17 на стрічковий конвеєр.

Після огляду, гільзи укладаються в ящики, пред'являються на прийом ОТК.

7. Гільзи ГА-35-8 (гільза алюмінієва перетином 35 мм<sup>2</sup>), що підлягають нанесення запобіжного складу, після огляду укладаються в короби і по стрічкового конвеєру передаються на набірку гільз в збірці.

Технологічна схема нанесення запобіжної оболонки на гільзи складається з наступних операцій: нанесення полум'ягасячого складу на гільзи та сушка виробів.

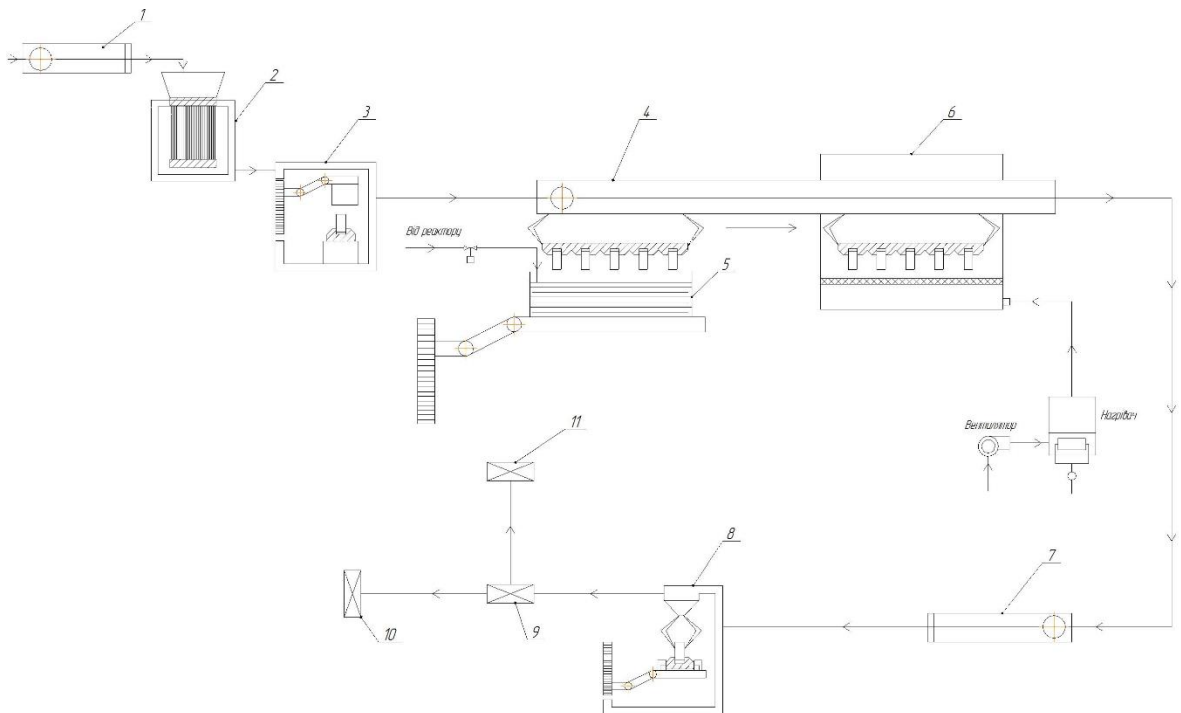


Рисунок 3 – Технологічна схема нанесення запобіжної оболонки

- |                               |                                      |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1 – Стрічковий транспортер    | 7 – Стрічковий транспортер           |
| 2 – Верстат для набірки гільз | 8 – Пристрій для виштовхування гільз |
| 3 – Прес вертикальний         | 9 – Розбраковки                      |
| 4 – Ланцюговий транспортер    | 10 – Збірник готової продукції       |
| 5 – Ванна                     | 11 – Збірник браку                   |
| 6 – Сушарка                   |                                      |

Для процесу нанесення складу використовують обладнання, як для різних галузей промисловості так і спеціально для цього процесу.

Нанесення запобіжної оболонки на гільзи складається з операцій:

- 1) набір гільз в збірці;
- 2) досил гільз в збірці;

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- 3) нанесення полум'ягасячого складу на гільзи;
- 4) сушка гільз з нанесеним складом;
- 5) розбраковування гільз (по зовнішньому діаметру та висоті запобіжної оболонки).

Гільзи надходять на операцію набору в збірки по стрічковому транспортеру

1. Набір гільз в збірки відбувається на верстаті для набірки гільз
2. Гільзи завантажують у бункер, далі вони потрапляють у воронку, з неї через напрямні трубки гільзи встановлюються у збірку по 84 штуки денцем вниз.

Набрані в збірку гільзи передаються до вертикального пресу 3 (типу ЕП-6,3) для досилання. Збірка встановлюється на нижню нерухому подушку пресу між напрямними планками. У верхній рухомий подушці встановлений пуансон.

При русі верхньої подушки збірка з гільзами подається під пуансон, який натискаючи на гільзи, здійснює їх досил в збірці. При зворотному ході шатуна верхня подушка опускається, прес зупиняється і збірка з гільзами виймається з преса.

Після досилу гільз, збірка встановлюється в напрямні ланцюгового транспортера 4 денцем вниз.

Транспортер доставляє збірку з гільзами на операцію нанесення полум'ягасячого складу, яка здійснюється шляхом занурення гільз в ванну 5, в яку надходить запобіжний склад.

Коли збірка пересувається до ванни, спрацьовує система кулачків, ванна зі складом піддається вгору, при цьому гільзи занурюються в склад на глибину 45-55 мм, потім ванна опускається і транспортер переміщує збірку з гільзами в сушарку 6, де проходять цикл сушки при температурі 85-120 ° С протягом 45-50 хв.

Після цього збірки з гільзами вивантажуються із сушарки та ставляться на стрічковий транспортер 7 і передаються до пристрою для виштовхування гільз із збірок 8.

Збірка з гільзами встановлюється на нижню рухливу подушку пристосування між напрямними планками.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

У верхній нерухомій подушці даного механізму розташовані спеціальні хвати для вилучення гільз із збірки.

При обертанні вала приходить в рух важіль, який через шатун відтягує шарнірні важелі вправо.

При русі нижньої подушки збірка з гільзами подається під хвати.

При зворотному ході шатуна нижня подушка опускається, пристрій зупиняється і гільзи виймаються з хватів.

Готовий виріб передається на операцію разбраковки по геометричним розмірами 9.

Якщо зовнішній діаметр гільзи із запобіжною оболонкою складає  $7,65 \pm 0,1$  мм і висота запобіжної оболонки  $5,5 \pm 0,1$  см, то вона придатна і її укладають в збірник готової продукції 10.

Якщо ж геометричні розміри гільзи не відповідають зазначеним нормам, то її відправляють в збірник браку 11.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

## 1.2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

Процес сушки використовують для сушіння сипких матеріалів та виробів.

Для сушіння сипких матеріалів використовують барабанні, шахтні сушарки, а для виробів застосовують тунельні сушарки.

Так як ми маємо справу з сушінням виробів, то аналізуємо сушарку яка сушить покриття на виробих, зазвичай такі сушарки являють собою транспортуючий пристрій, на якому лежать вироби, що підлягають сушінню.

Режим сушіння впливає на властивості покриття виробів. Сушка буває природня (під впливом сонця) та штучна (за допомогою висушуючих пристроїв).

Природне сушіння використовується для лакофарбових матеріалів (акрилових, нітроцелюлозних та інших.).

Штучне висушування застосовується для покриттів, які утворюються через хімічні процеси, що виникають в нанесеному покритті на поверхню деталей (гліфталін, епоксидна смола, масло та ін.) при значних температурах. При підвищенні температури такі процеси, як полімеризація та окислення протікають швидше, завдяки цьому збільшується твердість та міцність покриттів, а також зменшується водне набухання.

Після нанесення на вироби та деталі покриття, їх сушать при підвищених температурах.

Якщо вироби габаритні, то нагрівання деталей при підвищеній температурі неприпустимо (гума, скління тощо), тоді обмежуються сушінням при природних температурах.

На сушіння впливає, як температура так і вологість приміщення. Сушіння прискорюється у безперервній зміні повітря, за допомогою якого розчинники видаляються з поверхні виробу. Випаровування речовин не повинне бути швидким, бо покриття має високі внутрішні напруження, що негативно впливають на його властивості (можуть бути тріщини та погіршення адгезії). Крім того, швидке утворення покриттів на основі плівкоутворення (нітроцелюлоза, перхлорвініл та ін.) затримує видалення з нижніх шарів розчинників.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Пари розчинника намагаючись зникнути з плівки при висиханні, порушують її цілісність, і можуть з'явитися пори, бульбашки та інші дефекти.

Режим сушіння підбирається таким чином, щоб зникнення розчинників відбувалося поступово.

Сушіння відбувається в сушильних камерах, які в залежності від способу теплопередачі бувають конвекційними та тепловими.

Конвекційні сушарки застосовуються на різних підприємствах та авіаційних заводах. Використовуються для сушіння виробів та деталей, завантажених на багатоярусні візки.

У конвекційних камерах тепло передається за допомогою гарячого повітря, що циркулює в камері.

На тривалість і рівномірність сушіння впливає система розподілу нагрітого повітря, що надходить у камеру. Температура повітря в камері повинна бути досить рівномірною, тільки в цьому випадку висохлі покриття набувають необхідних властивостей. Нагріте повітря по повітропроводах подається до повітророзподільників, виконаних у вигляді прямокутних повітроводів, з отворами для повітря в нижній зоні сушильної камери. Повітря, намагаючись піднятися вгору, поширюється по всій площі камери.

Для регулювання повітря передбачені отвори, що дозволяють розподіляти повітря по довжині всієї камери. Вона оснащена термометрами опору і термопарами з самописцями для контролю температури.

При сушінні, повітря збагачується парами розчинника. Для того щоб багаторазово використовувати і запобігти його насичення тією кількістю пари, при якій воно стає вибухонебезпечним, частина повітря, збагаченого парами розчинника, викидається в атмосферу, а решта змішується з такою ж кількістю свіже повітря.

Конструкція сушарки дозволяє регулювати температуру по всьому її об'єму, і тільки за цих умов можна отримати покриття з необхідними властивостями для виробів.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Тому під час сушіння необхідно суворо стежити за роботою сушильних камер.

Теплові сушильні камери функціонують на основі теплових насосів, вони характеризуються енергоефективністю, точним контролем процесу сушіння та високою якістю кінцевого продукту.

Сушка в терморадіаційних сушарках працює на поглинанні поверхнею теплових променів (інфрачервоних). Спочатку нагрівається пофарбована поверхня виробу, потім на неї наноситься покриття.

Завдяки цьому, формування покриття починається з поверхні металу. На початковій стадії сушіння, пари розчинника зникають. Це унеможливило утворення бульбашок, що мали місце під час конвекційного сушіння, де їх утворення можливе за рахунок бажання не встигнути зникнути залишки розчинників, щоб проникнути через утворену поверхню тонкої плівки.

При інфрачервоній сушці потужність теплового потоку вище, ніж при конвекційній. Інтенсивна тепловіддача від джерел тепла до пофарбованої поверхні та сприятливі умови утворення плівки (передача тепла від нижніх шарів фарби до верхніх) висихання покриттів відбувається в рази швидше, ніж конвекція.

Для термічного радіаційного сушіння пофарбованих виробів застосовуються різноманітні сушильні пристрої. Вони бувають легкими стаціонарними або пересувними щитами, стаціонарними камерами або тунелями.

В сушильних камерах інших типів, для концентрації парів розчинника на потрібному рівні, камери обладнані витяжною вентиляцією.

Як джерела випромінювання використовуються різні обігрівачі. У стаціонарних тепловипромінювальних сушильних камерах найбільше використовуються трубчасті електронагрівачі та панельні плити. Тривалість нагрівання виробу і час висихання покриття залежить від товщини виробу, кольору і характеру фарби та від відстані джерела випромінювання.

Через значне поглинання тепла товстостінними виробами збільшення тепла на їх поверхнях відбувається повільно. Це уповільнює висушування покриттів.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

За рівних умов найшвидше висихають сині, зелені, чорні та коричневі фарби, повільніше – бежеві та сірі. Білі можуть жовтіти при висиханні під впливом інфрачервоних променів, тому сушити їх в термосушарках не рекомендується.

При сушінні виробів складної форми (виступи, впадини та ін.) відстань окремих частин поверхні до джерела випромінювання різна, через це виникає нерівномірне висихання, тому для сушіння використовують радіаційно-конвекційні сушарки.

В таких сушарках процес сушіння здійснюється одночасно гарячим повітрям та радіаторами.

Рух гарячого повітря по камері, сприяє рівноваги температури на поверхні виробу, за допомогою цього відбувається рівномірне висихання покриттів по всій поверхні.

Для сушіння невеликих поверхонь та при ремонті покриттів використовують переважно лампові випромінювачі.

Горіння парів розчинників, при утворенні в процесі висихання фарб. Для безпеки роботи сушарок в них не слід допускати концентрації розчинників вище норми, при якій вони можуть стати вогне- і вибухобезпечними.

Для забезпечення таких умов використовується потужна вентиляція. Проте викид повітря в атмосферу, містить органічні розчинники, що забруднює його та призводить до погіршення санітарно-гігієнічних умов на прилеглих територіях.

Для того щоб очистити газові викиди із сушильних камер використовують каталітичне згоряння (окислення) парів розчинника на поверхні каталізатора, а термічне згоряння використовується для обігрівання газом сушильного обладнання.

З сушильної установки пароповітряна суміш надходить у камеру попереднього нагріву, де нагрівається нагрівачем до температури, необхідної для проходження реакції окислення. Нагріта суміш парів і повітря проходить крізь шар каталізатору. Пари окислюються до води та вуглекислого газу, зі значною кількістю тепла.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Основна частина газового потоку, яка очищена від розчинника, змішується зі свіжим повітрям, що надходить в установку з відкритим затвором, направляється в сушильний агрегат вентилятором, що приводиться в рух двигуном. Повітря видаляється при відкритому затворі. Контур забезпечує можливість зворотної суміші в установку через вентиль.

Кількість свіжого повітря зменшується за рахунок зворотного потоку нагрітого та очищеного газу, що зменшує загальне споживання енергії.

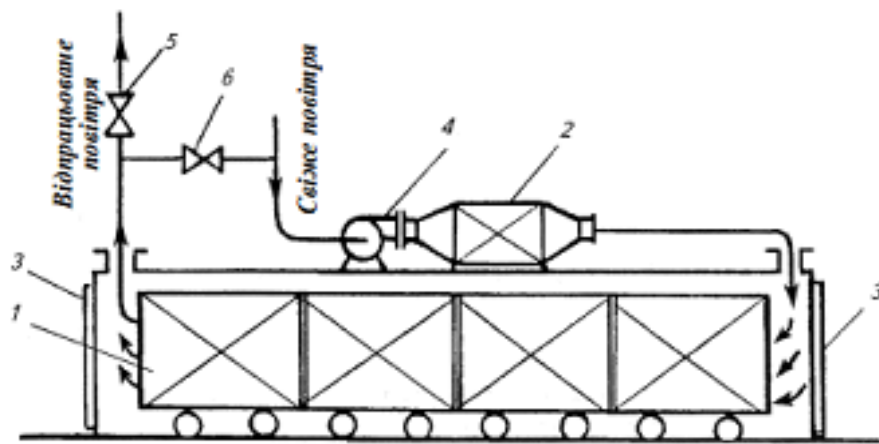
					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

### 1.3 ОПИС ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ ТА ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

Для сушіння корпусів електродетонаторів із запобіжним шаром з цілого ряду причин (забезпечення м'яких умов сушіння, забезпечення безпеки нанесеного шару складу) застосовуються різноманітні тунельні сушарки, які включають транспортер, корпус, систему обігріву та систему повітропідготовки.

Пристрій і принцип роботи основного апарату.

Тунельна сушарка це канал з ланцюговим шляхом. Принцип роботи тунельної сушарки: на транспортері продукти переміщуються ділянками, на які впливають високі температури.



1 - візок; 2 - калорифер; 3 - двері; 4 - вентилятор; 5, 6 - шибери.

Рисунок 4 – Тунельна сушарка

Тунельна сушарка складається з: візків, калориферу, дверей, вентилятора, шиберів (рисунок 4).

Сушильне обладнання використовують при виробництвах, де зазвичай переміщують продукти в нагрівальних зонах при необхідній швидкості.

Бувають такі види сушарок:

- Інфрачервоні;
- Газові;
- Сушарки, які працюють на рідкому та твердому паливі;
- Електросушарки.

Інфрачервоні сушарки регулюються та нагрівають необхідні зони по каналу.

Нагрівання проводиться налаштуванням швидкості руху транспортера.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

У сушарку вмонтовані вентилятори, для циркуляції повітря в камері. За рахунок цього відбувається сушіння.

Деталі обладнання для сушки виготовляються із сталевих листів.

Параметри сушарки регулюються в електронному блоку управління. Завдяки цьому можна регулювати швидкість продукції, контролювати циркуляцію повітря, і автоматично керувати температурою.

Канал тунельної сушарки поділяється на такі ділянки:

- Підготовка;
- Сушіння;
- Охолодження.

У сушарці продукти досушуються та підігріваються. Спочатку матеріал висипається на транспортер, далі транспортер проходить в сушарці під високими температурами і виходить на зону охолодження.

Вентиляційна система потрібна для нагнітання повітря в охолоджувальному відділі сушарки, а також вентилятор повинен знизити концентрацію вибухонебезпечних парів у повітрі нижче нижньої межі вибуховості.

Така конструкція сушарки має недоліки. Основний це різниця температур при сушінні, яка впливає на якість продукції.

Тунельні сушарки зазвичай використовують для сушіння великої кількості матеріалів, наприклад, керамічних виробів. По інтенсивності процесу вони мало відрізняються від камерних і їм притаманні основні недоліки (тривале і нерівномірне сушіння, ручне обслуговування).

Ручне укладання матеріалу, що висушується, на полиці вагонеток і вивантаження з них висушеного матеріалу вимагають великої витрати ручної праці.

Для ліквідації цього недоліку при сушінні матеріалів, вагонетки можна замінювати пластинчастими, стрічковими або ковшовими транспортерами, що допускають безперервну подачу вологого та видалення висушеного матеріалу за допомогою механічних живильників. У цьому випадку вигідніше замінити тунель короткою камерою, в якій один над одним (з невеликим зміщенням по довжині),

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

розташовано кілька стрічкових, пластинчастих чи ковшових транспортерів.

Висушуваний матеріал безперервно надходить на верхню стрічку, пройшовши яку він ссипається на другу стрічку, і так далі до виходу з апарату. Нагрітий потік повітря омиває матеріал, що висушується, в прямотоці або протитечії.

Загальний недолік камерних і тунельних сушарок полягає в поганому перемішуванні матеріалів, що висушуються, що обумовлює нерівномірність їх сушіння.

Електродвигун працює тільки з відкритим затвором. Демпфер закривається при русі штовхача. Закриття затвору виконується механічним шляхом.

Візки рухаються по рейках. Футерування візків виконано на високій якості, тому вони не піддаються прогріву при роботі.

У деяких сушарок для рівномірного нагріву встановлюють інфрачервоні випромінювачі.

Нагрівання походить від проходження струму резистивним дротом. Тепло надходить в корпус і поширюється тунелем сушіння.

Майже всі процеси управління апаратом переважно робляються автоматично.

Сушильний тунель видаляє залишки вологи з виробів та збільшує термін зберігання і знижує ризик псування продукції.

Тому дані сушарки використовують у різних сферах промисловості.

У таких як:

- Сушіння чорнил і паперу;
- Сушіння нанесених покриттів;
- Сушіння матеріалів для пакування;
- Сушіння дрібних пластикових виробів ковпачків, флакончиків;
- Сушіння фармацевтичної продукції (таблетки та порошки);
- Сушіння свіжих фруктів, коренеплодів, овочів та яєць;
- Сушіння декоративних виробів із кераміки;
- Сушіння в наукових лабораторіях проводів та невеликих апаратів.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливими факторами, що впливають на швидкість висихання, є:

- Початкова вологість сировини;
- Склад сировини;
- Розмір, форма та розташування штабелювання сировини;
- Температура, відносна вологість та швидкість повітря;
- Швидкість теплообміну на поверхні продукту;

Під час сушіння важливо контролювати температуру повітря та його циркуляцію. Якщо температура низька, а вологість занадто висока, продукція висихатиме повільніше.

І навпаки, якщо температура занадто висока, на поверхні продукту утворюється тверда оболонка, яка запобігає видаленню вологи з внутрішньої частини продукції (якщо вона має велику товщину), і волога утримуватиметься всередині матеріалу. Цей стан відомий як загартовування.

Конструкція пристрою спрямована на збільшення швидкості сушіння.

Відповідно до технологічних вимог в сушарці дотримується задана продуктивність, контроль технологічного процесу та режим сушіння для отримання найкращої якості продукту. Дуже важлива рівномірність сушіння всієї робочої зони обладнання.

Барабанна сушилка — ідеальне сушильне обладнання для сушіння різноманітних порошкоподібних, гранульованих, твердих матеріалів з вологою. Вона складається з корпусу, що обертається, приводного пристрою, опорного пристрою та ущільнювального кільця.

Завдяки структурі вона оснащена деякими паровими нагрівальними трубками всередині сушарки. Нагрівальні трубки проходять через сушарку з концентричними кільцями, забезпечуючи тепло, необхідне для процесу сушіння. Нагрівальні трубки обертаються разом з обертовим барабаном. Завантажений матеріал піднімається та перемішується нагрівальними трубками по барабану, що обертається. Продукт рухається від верхнього кінця до нижнього і вивантажується з вихідного отвору на нижньому кінці. Відпрацьований сушильний агент перед викидом в атмосферу очищається від пилу та витягуватися вентиляторами.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

### Характеристика сушарки:

1. Велика площа теплопередачі, висока тепловіддача
2. Висока вантажопідйомність, підходить для безперервної роботи
3. низька температура сушки, проста в експлуатації, проста у використанні
4. Газ використовується тільки для переміщення летючого компонента, використовується невелика кількість газу, а система видалення пилу проста.
5. Висока ефективність герметичної системи, надзвичайно підходить для переробки органічних розчинників, таких як етан.

### Матеріал для сушки:

1. Підходить для сушіння великих частинок, важких частинок у хімічній, гірничодобувній та металургійній сферах, таких як видобуток, шлак, вугілля, металевий порошок, фосфатний добрива та ін.
2. Для сушіння порошку або частинок з особливими вимогами, таких як, легкий карбонат кальцію, глина, магнітний порошок, графіт та залишок ліків.
3. Для матеріалів, які сушать при низькій температурі та великої партії безперервного виробництва.

При виборі конструкції сушильного пристрою слід враховувати ефективність їх використання відповідно до таких параметрів: питома витрата тепла на 1 кг вологи, що випарується, питома витрата енергії, витрати на монтаж, витрата матеріалу на 1 тону та висушений матеріал.

Зважаючи на те, що сушиться виріб, розмір якого 7 мм з товщиною шару 0.1 - 0.2 мм. Я вибираю для сушіння своїх виробів прямоточну тунельну сушарку на базі ланцюгового транспортера на який підвішуються збірки із попередньо набраними виробами, сушильний агент повітря із температурою 80 - 120 °С.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ

### ПРОЦЕСУ ТА АПАРАТА

#### 2.1 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Виготовляється 6.6 млн гільз на рік, або 27 000 на добу. Виробництво йде у 2 зміни, одна зміна виготовляє 13500 гільз, а за годину виробляється 1700 шт.

Розміри гільзи:  $D - \varnothing 7,5$  мм;  $L$  - довжина 60 мм;

$s$  - товщина складу 0,2 мм; маса гільзи 2 г.

Матеріальний баланс:

Об'єм складу на детонаторі:

$$V_{\text{дет}} = \pi \cdot D \cdot L \cdot s \quad (2.1)$$

$$V_{\text{дет}} = 3.14 \cdot 7.5 \cdot 60 \cdot 0.2 = 282.6 \text{ мм}^3$$

Об'єм складу на 1700 виробів в годину:

$$V_{\text{ск}} = 1700 \cdot V_{\text{дет}}/1000 \quad (2.2)$$

$$V_{\text{ск}} = (1700 \cdot 282,6)/1000 = 500 \text{ см}^3/\text{год}$$

Розрахунок кількості розчинника (етиловий спирт):

$$n = V_{\text{ск}} \cdot k \quad (2.3)$$

$$n = 500 \cdot 0.35 = 175 \text{ г}$$

На 1700 виробів міститься: сірчаноокислий калій 500 гр, розчинник (етиловий спирт) 175 гр, в'яжуча речовина 48 гр.

Продуктивність сушарки

$$G_k = m \cdot p \quad (2.4)$$

$$G_k = 500 \cdot 6,05 = 3,025 \text{ кг/год.}$$

Кількість вологи, яка випаровувана при сушці

$$W = G_k \frac{w_H - w_K}{w_o - w_H} = 3,025 \frac{6 - 0,5}{100 - 5} = 0,175 \text{ кг/год.} \quad (2.5)$$

Розрахунок витрат повітря у сушарки і тепла у калорифері.

Приймаємо параметри повітря по географічним умовам Києва [2, с.538].

Літні умови  $t_o = 19,3$ ;  $\varphi_o = 69\%$ ;

Зимні умови  $t_o = -6$ ;  $\varphi_o = 89\%$ .

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Розрахунок проводимо спочатку для літніх умов, потім для зимових.

Розрахунок для літніх умов.

Параметри повітря на вході у калорифер

$$t_o = 19,3; \varphi_o = 69\%; x_o = 0,622 \frac{\varphi_o P_{нас}}{B - \varphi_o P_{нас}} = 0,622 \frac{0,69 \cdot 2196,8}{99368,5 - 2196,8} = 0,0097 \text{ кг / кг с.в.},$$

де  $B = 745 \text{ мм.рт.ст.} \cdot 133,3 = 99308,5 \text{ Н / м}^2$  - атмосферний тиск;

$P_{нас} = 16,48 \text{ мм.рт.ст.} \cdot 133,3 = 2196,8 \text{ Н / м}^2$  - тиск насиченого водяного пару [2, с.536].

$$I_o = (1,01 + 1,97x_o) \cdot t_o + 2493x_o = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0097) \cdot 19,3 + 2493 \cdot 0,0097 = 44 \text{ кДж / кг с.в.}$$

Параметри повітря на вході в сушарку (після калорифера)

$$t_1 = 130^0 \text{ C}; x_1 = x_o = 0,0097 \text{ кг / кг с.в.};$$

$$I_1 = (1,01 + 1,97x_1) \cdot t_1 + 2493x_1 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0097) \cdot 130 + 2493 \cdot 0,0097 = 158,0 \text{ кДж / кг с.в.}$$

Відносна вологість повітря на вході в сушарку (при  $t > 100^0 \text{ C}$ )

$$\varphi_1 = \frac{x_1}{0,622 + x_1} = \frac{0,0097}{0,622 + 0,0097} = 0,015; (1,5\%). \quad (2.6)$$

Розрахунок поправки до дійсної сушарки.

Задаємося температурою повітря на виході з сушарки  $t_k = 60^0 \text{ C}$ .

Згідно умові  $\theta_k = t_k = 60^0 \text{ C}$ .

Питома кількість тепла, яка вводиться в сушарку з висушуваним матеріалом

$$q_m = \frac{\theta_m}{W} = \frac{C_k c_m (\theta_k - \theta_n)}{W} = \frac{3,025 \cdot 0,8 \cdot (60 - 18)}{0,175} = 580,8 \text{ кДж / кг \cdot вл.}, \quad (2.7)$$

де  $c_m = 0,8 \text{ кДж / кг гр}$  – питома теплоємність висушеного матеріалу.

Поправка до дійсної сушарки.

$$\Delta = c_s \theta_n - (q_m + q_n) = 4,19 \cdot 18 - (588 + 22,6) = -527,6 \text{ кДж / кг вл.}, \quad (2.8)$$

де  $c_s = 4,19 \text{ кДж / кг гр}$  - теплоємність вологи у вологому матеріалі при  $\theta_n$ .

Параметри повітря на виході з сушарки.

Враховуючи, що

$$\Delta = \frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_1}, \quad (2.9)$$

		та виразивши			ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



$$I_2 = (1,01 + 1,97x_2) \cdot t_2 + 2493x_2, \quad (2.10)$$

Записуємо

$$527,6 = \frac{(1,01 + 1,97x_2) \cdot 60 + 2493x_2 - 158}{x_2 - 0,0097}.$$

Рішаючи це рівняння, отримуємо

$$x_2 = 0,044 \text{ кг/кг св.}$$

Відносна вологість на виході з сушарки

$$\varphi_2 = \frac{x_2 B}{(0,622 + x_2) p_{нас}} = \frac{0,044 \cdot 99308,5}{(0,622 + 0,044) \cdot 19915,02} = 0,329; (32,9\%), \quad (2.11)$$

де  $p_{нас} = 149,4 \text{ мм.рт.ст.} \cdot 133,3 = 19915,02 \text{ н/м}^2$  - тиск насиченого водяного пару

[2, с.536] при  $t_2 = 60$ .

Ентальпія повітря на виході з сушарки

$$I_2 = (1,01 + 1,97 \cdot x_2) \cdot t_2 + 2493x_2 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,044) \cdot 60 + 2493 \cdot 0,044 = 175,5 \text{ кДж/кг} \cdot \text{св.}$$

Витрати повітря в сушарці.

Питома витрата повітря.

$$\ell = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1}{0,044 - 0,0097} = \frac{1}{0,0343} = 29,1 \text{ кг} \cdot \text{св/кг} \cdot \text{вл.} \quad (2.12)$$

Масова витрата повітря

$$L = \ell W = 29,1 \cdot 0,010 = 5,09 \text{ кг/год.} \quad (2.13)$$

Об'ємна витрата повітря на вході в сушарку.

Питомий об'єм вологого повітря на вході в сушарку.

$$v_{ex} = \frac{R_g T}{B - \varphi \cdot P_{нас}} = \frac{287 \cdot 403}{99308,5 - 0,015 \cdot 270300} = 1,21 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.14)$$

де  $R_g = 287 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гр}$  - газова постійна для повітря;

$P_{нас} = 2,755 \text{ кгс/см}^2 \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 270300 \text{ н/м}^2$  - тиск насиченого водяного пару при

$t_1 = 130^\circ \text{C}$  [2, с.548].

$$L_{V_{ex}} = L \cdot v_{ex} = 5,09 \cdot 1,2 = 6,1 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2.15)$$

Об'ємна витрата повітря на виході з сушарки.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Питома витрата вологого повітря на виході з сушарки

$$v_{вих.} = \frac{R_6 T}{B - \varphi P_{нас}} = \frac{287 \cdot 333}{99308,5 - 0,244 \cdot 19915} = 1,012 \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (2.16)$$

$$L_{V_{вих}} = L \cdot v_{вих} = 5,09 \cdot 1,012 = 5,15 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (2.17)$$

Витрата тепла на нагрів повітря у калорифері.

Питома витрата тепла у калорифері

$$q_k = \ell(I_1 - I_0) = 29,1 \cdot (158 - 44) = 3317,4 \text{ кДж/кг} \cdot \text{вл}. \quad (2.18)$$

Витрата тепла

$$\theta_k = q_k W = 3317,4 \cdot 0,24 = 796 \text{ кДж/год}. \quad (2.19)$$

## 2.2 ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

Таблиця 1 - Тепловий баланс сушарки.

№ п/п	Приход тепла	Витрата тепла
1.	З повітрям $\ell I_0 = 29,1 \cdot 44 = 1280,4 \text{ кДж/кг} \cdot \text{вл}.$	З повітрям $\ell I_2 = 29,1 \cdot 175,5 = 5107 \text{ кДж/кг} \cdot \text{вл}.$
2.	З вологістю матеріалу $C \theta_1 = 4,19 \cdot 18 = 75,4 \text{ кДж/кг} \cdot \text{вл}.$	З матеріалом $\frac{G_k C_m t_2}{W} = \frac{3,025 \cdot 0,8 \cdot 60}{0,175} = 829,7 \text{ кДж/кг} \cdot \text{вл}.$
3.	З матеріалом $\frac{\theta_k c_m \theta_1}{W} = \frac{3,025 \cdot 0,8 \cdot 18}{0,175} = 248,9 \text{ кДж/кг} \cdot \text{вл}.$	Втрати в навколишньому середовищі $q_r = 22,6 \text{ кДж/кг} \cdot \text{вл}.$
4.	Від теплоносія у калорифері $q_k = 3317,4 \text{ кДж/кг} \cdot \text{вл}.$	
	Всього: 4922	Всього: 5959

Розбіжність балансу  $\frac{5959 - 4922}{5959} = 0,17$ ; (0,17%) знаходиться в припустимих межах.

Якщо розбіжність балансу більше 5%, то задається інша температура повітря на виході з сушарки та розрахунок повторюється.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Розрахунок для зимових умов.

Так як сушарка стоїть у цеху, то зимових умов у неї немає.

Визначення об'єму сушинного простору сушарки.

Основні розміри обираються у відповідності з об'ємом сушинного простору.

$$V = V_{II} + V_C \quad (2.20)$$

де  $V_{II}$  – об'єм, що необхідний для прогріву вологого матеріалу до температури, при якій починається інтенсивність вологи (до температури мокрого термометру).

$V_C$  – об'єм, що необхідний для проведення процесу сушіння.

Об'єм, необхідний для прогріву матеріалу.

Цей об'єм знаходиться по модифікованому рівнянні теплопередачі [3]

$$\theta_{II} = K_V V_{II} \Delta t_{cp}; \quad (2.21)$$

де  $\theta_{II}$  - витрати тепла на прогрів матеріалу;

$K_V$  - об'ємний коефіцієнт теплопередачі,  $\text{кДж}/\text{м}^3 \text{гр}$ ;

$\Delta t_{cp}$  - середня різниця температур в зоні підігріву матеріалу,  $^{\circ}\text{C}$ .

Витрата тепла на прогрів матеріалу

$$\theta_{II} = G_{\kappa} c_m (t_{m1} - \theta_1) + w c_6 (t_{m1} - \theta_2) = 3,025 \cdot 0,8 \cdot (39 - 18) + 0,175 \cdot 4,19 \cdot (39 - 18) = 66,21 \text{кДж}/\text{год}$$

де  $t_{m1} = 39^{\circ}\text{C}$  – температура мокрого термометру, визначається по діаграмі I – x [3].

Об'ємний коефіцієнт теплопередачі [3].

$$K_V = 16(w \rho_{cp})^{0,9} \cdot n^{0,7} \beta^{0,54} = 16(2,4 \cdot 0,96)^{0,9} \cdot 5^{0,7} \cdot 12^{0,54} = 31,85 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \text{гр}} \dots \quad (2.22)$$

$$K_V = 31,85 \cdot 3600 = 1146,6 \text{кДж}/\text{м}^3 \text{гр}.$$

Визначення температури сушильного агента, до якої він охолоджується нагріваючи матеріал до  $t_{m1}$ .

З рівняння теплового балансу.

$$\theta_{II} = (L c_{\Gamma} + L x_1 c_{II}) \cdot (t_1 - t_x) = [L(c_{\Gamma} + x_1 c_{\Gamma})] \cdot (130 - t_x), \quad (2.23)$$

де  $c_{\Gamma} = 1,01 \text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{гр}$  – питома теплоємність повітря;

$c_{II} = 1,97 \text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{гр}$  – питома теплоємність водяної пари;

$t_x$  - температура сушильного агента, до якої він охолоджується.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Знаходимо значення  $t_x$

$$66,21 = [5,09(1,01 + 0,0097 \cdot 1,97)] \cdot (130 - t_x)$$

$$t_x = 117,3$$

Середня різниця температур в зоні підігріву матеріалу [3]

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1 - \theta_1) + (t_x - t_{M1})}{2} = \frac{(130 - 18) + (117,3 - 39)}{2} = 95,15^\circ C, \quad (2.24)$$

де  $t_{M1} = 39^\circ C$  - температура мокрого термометру на вході в зону підігріву.

Об'єм зони підігріву.

$$V_{II} = \frac{\theta_{II}}{K_V \Delta t_{cp}} = \frac{66,21}{1,1466 \cdot 95,15} = 0,61 m^3. \quad (2.25)$$

Об'єм, необхідний для проведення процесу сушіння.

Об'єм визначається з модифікованого рівняння масопередачі [3].

$$W = K'_V V_c \Delta x'_{cp}, \quad (2.26)$$

де  $W$  - кількість вологи, она випаровувана при сушці;

$K'_V$  - об'ємний коефіцієнт масопередачі,  $c^{-1}$ ;

$\Delta x'_{cp}$  - движуща сила масопередачі, (середня різниця абсолютних вологостей повітря в зоні сушіння),  $кг\ вл/м^3$ .

Вважаємо, що в процесі сушіння удаляється поверхнева волога, тобто процес протікає в першому періоді сушки. В цьому випадку коефіцієнт масопередачі чисельно рівен коефіцієнту масоотдачі, тобто  $K_V = \beta_V$ .

Середнє парціальний тиск водяної пари в повітрі

$$P_{IIcp} = \frac{P_{II1} + P_{II2}}{2} = \frac{1489,6 + 4859,3}{2} = 3124,4 н/м^2, \quad (2.27)$$

де  $P_{II1} = \varphi_1 B = 0,015 \cdot 99308,5 = 1489,6 н/м^2$  - парціальний тиск пари на виході в сушарку ( $t > 100^\circ C$ );

$P_{II2} = \varphi_2 P_{нас} = 0,244 \cdot 19915 = 4859,3 н/м^2$  - парціальний тиск на вході в сушарку.

Коефіцієнт масопередачі [3]

$$\begin{aligned} \beta_V &= 1,62 \cdot 10^{-2} (W \rho_{cp})^{0,9} n^{0,7} \beta^{0,54} \frac{B}{c_{\Gamma} \rho_{cp} \cdot (B - \rho_{IIcp})} = \\ &= 1,62 \cdot 10^{-2} (0,175 \cdot 0,96)^{0,9} \cdot 5^{0,7} \cdot 12^{0,54} \frac{99308,5}{1,01 \cdot 0,96 \cdot (99308,5 - 3174,4)} = 0,293 \frac{1}{c}; \end{aligned}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ

Арк.

28

$$K_v = \beta_v = 0,293 \frac{1}{c}, \quad (2.8)$$

де  $c_r = 1,01 \text{ кДж/кг} \cdot \text{гp}$  – питома теплоємність сушильного агента (повітря).

Тиск насиченої пари над вологим матеріалом в началі та в кінці процесу сушіння (по температурам мокрого термометру) [2, с.536]

$$t_{m1} = 39^0 \text{ C}; \quad P_{нас1} = 52,44 \cdot 133,3 = 6990,5;$$

$$t_{m2} = 37^0 \text{ C}; \quad P_{нас2} = 47,07 \cdot 133,3 = 6274,4,$$

де  $t_{m2} = 37^0 \text{ C}$  – температура мокрого термометру на виході з зони сушіння [3].

Движуца сила масопередачі [3]

$$\Delta x'_{cp} = \frac{\Delta x_\delta - x_m}{\ln \frac{\Delta x_\delta}{\Delta x_m}} = \frac{\Delta P_\delta - \Delta P_m}{\ln \frac{\Delta P_\delta}{\Delta P_m}} \cdot \frac{M_B \cdot T_o}{11.3B \cdot (T_o + t_{cp})} = \frac{5500,9 - 1415,1}{\ln \frac{5500,9}{1415,1}} \cdot \frac{18 \cdot 273}{11.3 \cdot 99308,5 \cdot (273 + 95)} \quad (2.29)$$

$$= 0,038 \text{ кг/м}^3$$

де  $\Delta P_\delta = P_{нас1} - P_{П1} = 6990,5 - 1489,6 = 5500,9 \text{ н/м}^2$ ;

$$\Delta P_m = P_{нас2} - P_{П2} = 6274,4 - 4859,3 = 1415,1 \text{ н/м}^2. \quad (2.30)$$

Об'єм, необхідний для проведення процесу сушіння.

$$V_c = \frac{W}{K'_v \Delta x'_{cp}} = \frac{0,175}{0,293 \cdot 0,038} = 15,59 \text{ м}^3. \quad (2.31)$$

Загальний об'єм сушарки.

$$V = V_n + V_c = 0,61 + 15,59 = 16,2 \text{ м}^3. \quad (2.32)$$

Основні розміри апарату.

Згідно об'єму сушарки приймаємо розміри апарату:

Довжина - 3900 мм; ширина – 925 мм; висота – 4500 мм.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. РОЗРАХУНОК АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

#### 3.1 МЕХАНІЧНІ РОЗРАХУНКИ

В цьому пункті виконуємо розрахунок тягового ланцюга та приводу для сушіння.

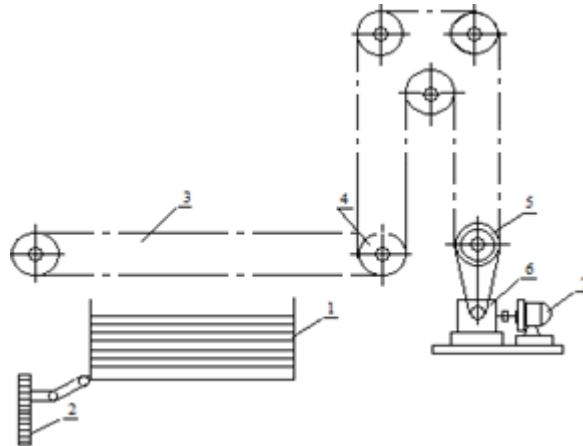


Рисунок 5 – Кінематична схема сушарки

- 1 - Ванна; 2 - підйомний механізм ванни; 3 - тяговий ланцюг;  
4 - зірочка тягового ланцюга; 5 - зірочка ланцюгової передачі;  
6 - черв'ячний редуктор; 7 - електродвигун  
9 - осьові вентилятори; 10 - вали вентиляторів

Схема роботи сушарки така: одна з дверцят тунелю відкривається, всередину по конвеєру надходять матеріали для сушіння.

Потім за допомогою вентиляторів гаряче повітря видаляє вологу і таким чином матеріал сушиться. Після сушарки матеріал переходить по конвеєру на наступні стадії виробництва.

Схема приводу

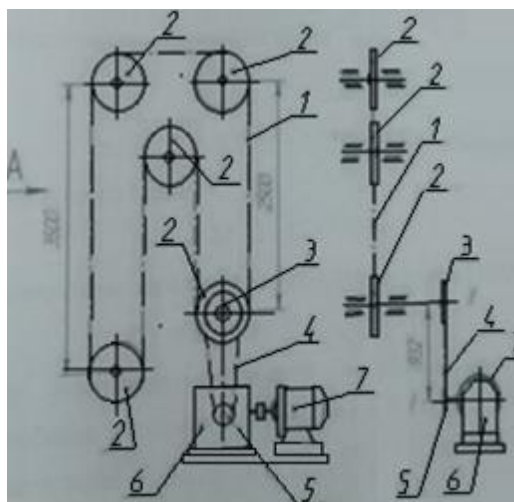


Рисунок 6 – Схема приводу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ

Арк.

30

- 1 ланцюг тяговий; 2 зірочка тягового ланцюга;  
 3 зірочка ланцюгової передачі велика;  
 4 ланцюг ланцюгової передачі; 5 мала зірочка ланцюгової передачі;  
 6 черв'ячний редуктор; 7 електродвигун.

### 3.2. Розрахунок тягового ланцюга та зірочок

Для вибору тягового ланцюга визначаємо окружне зусилля на зірочці (будь-якого) тягового ланцюга. Кількість підвісок на ланцюгу  $n_n$  - 4 шт.

Маса спорядженої підвіски:

$$m_n = m_n + 8m_c + 8m_{\text{и}};$$

де  $m_n$  - 2,3 кг - маса порожньої підвіски,

$m_c$  - 0,85 кг - маса порожнього складання,

$m_{\text{и}} - \frac{144}{244} = 0,59$  кг - маса виробів на збірці.

Отримаємо:

$$m_n = 2.3 + 8(0.85 + 0.59) = 13.82 \text{ кг}$$

Маса всіх підвісок на ланцюгу:

$$m = 4 \cdot 13,82 = 56 \text{ кг}$$

Окружне зусилля на тяговому ланцюгу в найбільш навантаженому стані:

$$P = m \cdot g = 56 \cdot 9.81 = 550 \text{ Н}$$

Максимальну міжосьову відстань у трасі тягового ланцюга конструктивним вимогам приймаємо рівним  $A = 3,00$  м.

Довжина ланцюга

$$L = v \cdot t \tag{3.1}$$

де  $v$  - 0,25 м/хв, швидкість руху ланцюга;

$t$  - 60 хв, час сушки.

$$L = 0,25 \cdot 60 = 15 \text{ м.}$$

Крок тягового ланцюга вибираємо з умови:

$$A = (20 + 50) t; ([4], \text{ стр. 381}) \tag{3.2}$$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Звідси:

$$t = \frac{A}{30 - 50} = \frac{3000}{30/50} = (150/60) \text{ мм.}$$

Такий великий крок ланцюга тут не допустимо, оскільки зусилля мало і максимальне

$t = 50,8 \text{ мм}$  (для ПРУ ГОСТ 10847-64, 13568-68).

Тому використовується умова:

$$A_{max} = 80 t, \text{ ([4], стр.381)} \quad (3.3)$$

Звідки  $t = 3000 / 80 = 37,5 \text{ мм}$

Приймаємо до розрахунку ланцюг (тяговий, пластинчастий, роликівий однорядний) 0 ПРУ 66547-64, ГОСТ - 13568-68

M224-1-125-1 ГОСТ 588-81

с  $t = 38,1 \text{ мм}$  і руйнівним навантаженням 125

$$Q_{разр} = 12700 \text{ кгс} = 124.6 \text{ кН}$$

$22400 \text{ кгс} = 921.6 \text{ кН}$

Діаметр дільного кола зірочки тяглового ланцюга прийнятий також конструктивно (для всіх зірочок) рівним  $d_g = 800 \text{ мм}$ .

Число зубів зірочки тягового ланцюга визначаємо з умови

$$d_g = \frac{t}{\sin \frac{180}{z}}; \text{ ([4], стр. 383)} \quad (3.4)$$

звідки:

$$\sin \frac{180}{z} = \frac{t}{d_g} = \frac{38.1}{800} = 0.047625;$$

$$\frac{180}{z} = 243.8 = 2.7287$$

$$z = \frac{180}{2.7287} = 66$$

Приймаємо  $z = 66$

Перевірка ланцюга на прочність за умови

$$t \geq 2.8 \sqrt[3]{\frac{M \cdot K_9}{z \cdot [p]}} \text{ ([4], стр. 388)} \quad (3.5)$$

де:  $M$  - момент на валу зірочки.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



$K_3$  - коефіцієнт експлуатації.

$[p]$  - допустимий тиск для роликів.

Кількість обертів зірочок тягового ланцюга:

$$n_{т.ц.} = \frac{60V_{mg}}{\pi \cdot dg} = \frac{60 \cdot 0.5}{3.14 \cdot 0.8} = 1.94 \text{ об/хв}$$

Для  $n_{т.ц.} = 11,94 \text{ об / хв} < 20$  при  $z = 17$  допустиме напруження  $[P] = 42.8 \text{ Н/мм}^2$  (при  $t = 38,1 \text{ хв}$ ) ([4]. 386, табл 12.10)

Оскільки  $z = 66 \neq 17$ , то:

$$[P] = k_z \cdot [P]_{17}; \quad (3.6)$$

де:  $k_z = 1 + 0,01(z - 17)$  ([4]. стр. 386)

отримаємо:  $k_z = 1 + 0.01(66 - 17) = 1.48$

$$[P] = 1.48 \cdot 42.8 = 63.8 \text{ Н/мм}^2$$

Момент на валу тягової зірочки представлений на рисунку 6:

$$M = P \frac{dg}{2} = 550 \frac{800}{2} = 220000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Коефіцієнт експлуатації:

$$K_3 = k_g \cdot k_A \cdot k_H \cdot k_p \cdot k_e \cdot k_{\Pi}; \quad ([4], \text{ стр. 385}) \quad (3.7)$$

де:  $k_g$  - 1,5-динамічний коефіцієнт вантажу,

$k_A$  - 0,8 - коефіцієнт обліку міжмасової відстані  $A$  при  $A > 60t$ ,

$k_H$  - 1,3 - коефіцієнт для вертикального ланцюга передачі,

$k_p$  - 1,25 - коефіцієнт натягу ланцюга при періодичному регулюванні натягу,

$k_e$  - 1,5 - коефіцієнт періодичної експлуатації,

$k_{\Pi}$  - 1,5 - коефіцієнт тримінної роботи цеху.

Отримаємо:

$$K_3 = 1.5 \cdot 0.8 \cdot 1.3 \cdot 1.25 \cdot 1.5 \cdot 1.5 = 4,3875$$

Для умови (4) отримаємо:

$$t \geq 2.8 \sqrt[3]{\frac{220000 \cdot 4,3875}{63.8 \cdot 68}} = 32,7 \text{ мм}$$

Отже, обраний ланцюг з  $t = 35,1 \text{ мм}$  цілком достатній для даних умов роботи.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Число ланок ланцюга:

$$L_t = \frac{L}{t} = \frac{15000}{35,1} = 427,3$$

Приймаємо  $L_t = 433$  з урахуванням замикаючої ланки.

Приймаємо матеріал зірочки тягового ланцюга - сталеве лиття зі сталі 45Л з термообробкою - загартуванням з подальшою відпусткою при твердості робочих поверхонь зірочок HRC 45-50

Зовнішній діаметр зірочки тягового ланцюга:

$$D_c = \frac{t}{tg \cdot \frac{180}{z}} + 0,6 \cdot t = \frac{35,1}{tg \cdot \frac{180}{66}} + 0,6 \cdot 35,1 = 767,8 \text{ мм} \quad (3.8)$$

Діаметр валу на осі тягової зірочки з умови міцності на кручення та вигин

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{екв}}}{\pi \cdot [\sigma_{-1}]_и}}; \quad ([4], \text{ стр. 159}) \quad (3.9)$$

де  $M_{\text{екв}}$  – приведений момент на валу зірочки,

$[\sigma_{-1}]_и$  - допустима напруга на вигин

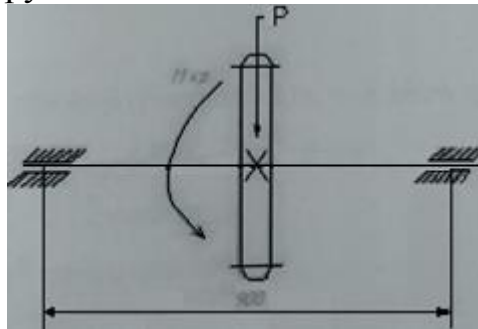


Рисунок 7 - Схема валу під зірочкою тягового ланцюга

Для рис. 7:  $M_{\text{кр}} = M = 220000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ ,  $P = 550 \text{ Н}$

$$M_{\text{изг}} = \frac{550}{2} \cdot \frac{900}{2} = 123750 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Примітка: умову навантаження валів зірочок тягового ланцюга приймаємо найгіршим. Приймаємо, що все навантаження діє на одну зірочку тягового ланцюга.

Отримаємо:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{M_{\text{изг}}^2} + M_{\text{кр}}^2 \cdot 0,75 \quad (3.10)$$

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{123750^2 + 0,75 \cdot 220000^2} = 125208 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad ([4], \text{ стр. 159})$$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		34

Для валів зірок зі сталі 45:

$$[\sigma_{-1}]_{\text{и}} = 50 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}; ([4], \text{стр. 159})$$

Отримуємо:

$$d_{\text{в}} \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 125208}{\pi \cdot 50}} = 29.44 \text{ мм}$$

Приймаємо вали під зірочками тягового ланцюга рівними  $d_{\text{в}} = 65 \text{ мм}$   
(з урахуванням наявності концентратів напруги – шпонок).

Орієнтовно задається діаметром осей під підшипниками  $d = 40 \text{ мм}$

Діаметр маточини тягової зірочки :

$$d_{\text{ст}} = 1.6 \cdot d_{\text{в}} = 1.6 \cdot 70 = 112 \text{ мм}, \text{ приймаємо } d_{\text{ст}} = 110 \text{ мм}; ([4]. \text{стр.159})$$

Довжина ступиці:  $L_{\text{ст}} = 1.2 \cdot d_{\text{в}} = 110 \text{ мм}$ .

Швидкість транспортеру залежить від матеріалу, що підлягає процесу сушіння. За допомогою цього змінюється товщина шару продукту. Це сприяє зниженню швидкості видалення вологи з матеріалу і зменшує довжину проходу в сушарці.

Привід забезпечує контроль швидкості конвеєра. Це забезпечує необхідний час висихання – максимум 10,5 годин і мінімум 6,8 годин.

### 3.3. Вибір електродвигуна

Відповідно до схеми приводу (рисунок 7) кпд приводу дорівнює:

$$\eta = \eta_{\text{т.ц.}} \cdot \eta_n^5 \cdot \eta_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{ч}}; \quad (3.11)$$

де:  $\eta_{\text{т.ц.}} - 0,9$  - кпд тягового ланцюга,

$\eta_n - 0,99$  - кпд пари підшипників,

$\eta_{\text{ц}} - 0,9$  – кпд ланцюгової передачі,

$\eta_{\text{ч}} - 0,7$  - кпд черв'ячного редуктора,

Значення  $\eta$  взяті в [2], стр 6, табл 1.1

Отримаємо:

$$\eta = 0,9 \cdot 0,99^5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 0,539$$

Необхідна потужність електродвигуна:

$$N_{\text{ел}} = \frac{\mu \cdot \omega}{\eta} \quad (3.12)$$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

де:  $\omega = \frac{2 \cdot 0.5}{0.8} = 1.25 \text{ с}^{-1}$  кутова швидкість на валу тягових зірочок

$$N_{\text{ел}} = \frac{1232 \cdot 1.25}{0.539} = 2957 \text{ Вт} = 2.857 \text{ кВт}$$

Приймаємо до установки ГОСТ 6661-75 електродвигун типу ВАО2-42-6 N = 3 кВт;  $n=960$  об/хв;  $M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}} = 1,3$ ;  $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} = 1,8$ .

Діаметр валу електродвигуна  $d = 32$  мм; болти М12 = 4 ш. (190x140); відстань від основи до осі валу електродвигуна  $l = 132$  мм.

Загальне передаточне число приводу:

$$i = \frac{n_{\text{е}}}{n_{\text{т.ц}}} = \frac{960}{11.94} = 80.4 \quad (3.13)$$

Передаточні числа ланцюгової передачі черв'ячного редуктора лежать в областях значень:

$$i_{\text{ц}} = 2/6; i_{\text{ч}} = 10/40$$

Передбачаючи попередньо зірочку з ланцюгової передачі приблизно рівної зірочці тягового ланцюга, приймаємо оптимальну  $i_{\text{ц}} = 2,5$  тоді  $i_{\text{ч}} = \frac{80.4}{2.5} = 32,16$

Приймаємо для розрахунків:  $i_{\text{ц}} = 2,5$ ;  $i_{\text{ч}} = 32,16$

### 3.4. Розрахунок ланцюгової передачі

Розглядаємо відкриту ланцюгову передачу з  $i_{\text{ц}} = 2,5$

Потужність на веденому валу ланцюгової передачі II-II:

$$N_2 = \frac{\mu \cdot \omega}{\eta_n^5 \cdot \eta_{\text{т.ц}}} \quad (3.14)$$

$$N_2 = \frac{1232 \cdot 1.25}{0.99^5 \cdot 0.5} = 1800 \text{ Вт} = 1.8 \text{ кВт}$$

Потужність на ведучому валу ланцюгової передачі на валу колеса черв'ячного редуктора:

$$N_1 = \frac{N_2}{\eta_{\text{ц}}} \quad (3.15)$$

$$N_1 = \frac{1800}{0.9} = 2000 \text{ Вт} = 2 \text{ кВт}$$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Момент на валу II-II:

$$M_2 = \frac{N_2}{\omega_2} = \frac{1800}{1.25} = 1440 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1440000 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.16)$$

Момент на валу I:

$$M_1 = \frac{N_1}{\omega_1} = 640.000 \text{ Н} \cdot \text{м} = 640000 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.17)$$

$$\text{де: } \omega_1 = i_{\text{ц}} \cdot \omega_2 = 2.5 \cdot 1.25 = 3.125 \text{ с}^{-1}$$

$$n_1 = \frac{30 \cdot 3.125}{\pi} = 29,84 \text{ об/хв} - \text{число обертів валу колеса черв'ячного редуктора}$$

та провідної зірочки.

Ланцюгову передачу приймаємо роликову, однорядну

Число зубів провідної зірочки приймаємо рівним  $z_1 = 25$ ; ([2]. стр. 382. табл. 12.7)

$$\text{Число зубів веденої зірочки } z_2 = i_{\text{ц}} \cdot z_1 = 2.5 \cdot 26 = 65$$

Крок ланцюга  $t$  визначимо з умови:

$$t \geq 2.8 \sqrt[3]{\frac{M_1 \cdot K_{\epsilon}}{z_1 \cdot [p]}}$$

де всі величини такі, як описано у попередньому розрахунку.

$$K_{\epsilon} = k_g \cdot k_A \cdot k_H \cdot k_p \cdot k_e \cdot k_{\Pi}; \quad (3.18)$$

$$k_g = 1.0; k_A = 1; k_H = 1.3; k_p = 1.25; k_e = 1.2; k_{\Pi} = 1.5 \quad (3.19)$$

Тут  $k_A = 1$ .

$$K_{\epsilon} = 1.0 \cdot 1 \cdot 1.3 \cdot 1.25 \cdot 1.2 \cdot 1.5 = 2.925$$

У першому наближенні прийmemo  $t=38.1$

Тоді  $[P]_{17} = 92 \text{ Н/мм}^2$  – для  $n_1 = 35.80 \text{ об/хв}$

$$k_x = 1 + 0.01(25 - 17) = 1.08$$

$$[p] = 32 \cdot 1.08 = 34.6 \text{ Н/мм}^2$$

$$t_{\text{тр}} \geq 2.8 \sqrt[3]{\frac{64000 \cdot 2.925}{26 \cdot 34.6}} = 35.7 \text{ мм}$$

$$t_{\text{тр}} = 35.7 < t = 38.1 \text{ мм}$$

У другому наближенні приймаємо  $t = 31.75 \text{ мм}$

Тоді  $[P]_{17} = 34.0 \text{ Н/мм}^2$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$[p] = 34 \cdot 1.08 = 36.72 \text{ Н/мм}^2$$

$$t_{\text{тр}} \geq 2.8 \sqrt[3]{\frac{64000 \cdot 2.925}{26 \cdot 36.72}} = 35.0 \text{ мм}$$

$$t_{\text{тр}} = 35.7 < t = 31.75 \text{ мм}$$

Приймаємо ланцюг ПР 38,1-10000 ГОСТ 10947-64 та ГОСТ 13568-68.

Перевіримо ланцюг за допустимою частотою розв'язання з таблиці 12.8 в [4]  
знаходимо

$$n_{1\text{max}} = 550 \text{ об/хв}$$

$$n_1 = 35.8 < n_{1\text{max}} = 550$$

Середнє розрахункове значення шарніра:

$$p = 2.8^3 \frac{M_1 \cdot K_\epsilon}{z_1 \cdot t^3} \quad (3.20)$$

$$p = 2.8^3 \frac{640000 \cdot 2.025}{26 \cdot 38.1^3} = 28.5 \text{ Н/мм}^2$$

$$p < [p] = 34.6 \text{ Н/мм}^2$$

Параметри ланцюга ПР 38,1-10000 ГОСТ 10947-64 діаметр валу  $d=11,12$  мм, довжина втулки  $B = 35,50$  мм; діаметр ролика  $D = 22,93$  мм товщина пластин  $S = 4,8$  мм; розривне зусилля  $10000 \text{ кгс} = 98,10 \text{ кН}$ ; ширина пластин  $b = 96,1$  мм; маса  $1 \text{ кг}$  ланцюга  $q = 5,50 \text{ кг/м}$

$$\text{Число зубів веденої зірочки } z_2 = 2.5 \cdot 26 = 65$$

Діаметри ділільних кіл ведучої зірочки:

$$d_1 = \frac{t}{\sin \frac{180}{z_1}} = \frac{38.1}{\sin \frac{180}{26}} = 316.1 \text{ мм};$$

веденої зірочки:

$$d_2 = \frac{t}{\sin \frac{180}{z_2}} = \frac{38.1}{\sin \frac{180}{65}} = 788.6 \text{ мм.}$$

Діаметри зовнішні для зірочок:

$$D_1 = \frac{38.1}{\text{tg} \frac{180}{26}} + 0.6 \cdot 38.1 = 336.6 \text{ мм}$$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$D_1 = \frac{38.1}{\operatorname{tg} \frac{180}{65}} + 0.6 \cdot 38.1 = 810.5 \text{ мм}$$

Мінімальна міжосьова відстань:

$$A = 0.6(D_1 + D_2) + 30/50 \text{ мм} \quad (3.21)$$

$$A = 0.6(336.6 + 810.5) + 30/50 = 718/738 \text{ мм}$$

Приймаємо  $A=25t=25 \cdot 38.1 = 950 \text{ мм}$

Визначення зусилля ланцюга:

$$P_{\text{ц}} = \frac{2 \cdot M_{\text{е}}}{d_1} = \frac{2 \cdot 640000}{316.1} = 4050 \text{ Н}$$

$$\text{Величина } A_t = \frac{A}{t} = \frac{980}{38.1} = 24.93$$

Кількість кроків ланцюга:

$$L_t = 2A_t + 0.5(z_1 + z_2) + \frac{\Delta^2}{A_t}; \quad ([4]. \text{ стр. } 383.) \quad (3.22)$$

$$\text{де: } \Delta = \frac{z_2 - z_1}{2\pi} = \frac{65 - 26}{2\pi} = 24.93$$

$$L_t = 2 \cdot 24.93 + 0.5(26 + 65) + \frac{6.207^2}{24.93} = 96.3$$

Приймаємо  $L_t = 96$

Тоді  $L=96 \cdot 38.1 = 3657.6 \text{ мм}$

Уточнюємо міжосьову відстань:

$$A_t = \frac{L_t - 0.5z_1 + \sqrt{(L_t - 0.5z_2)^2 - 8\Delta^2}}{4} \quad (3.23)$$

$$A_t = \frac{(96 - 45.5) + \sqrt{(50.5)^2 - 8 \cdot 6.207^2}}{4} = 24.46$$

$$A = 24.46 \cdot 38.1 = 932.0$$

Число ударів ланцюга

$$v = \frac{4 \cdot z_1 \cdot n_1}{60 \cdot L_t} = \frac{4 \cdot 26 \cdot 29.84}{60 \cdot 96} = 0.54 \text{ с}^{-1} \quad (3.24)$$

За таблицею 12.9 в [2] знаходимо  $[v] = 14$

$$[v] > v$$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Перевіримо коефіцієнт запасу міцності ланцюга

$$n = \frac{Q}{P \cdot kg + P_v + P_f}; \text{ ([4]. стр. 381.)} \quad (3.25)$$

де:  $P = P_x = 4050 \text{ Н}$

$P_v$  – навантаження від відцентрових сил,

$P_f$  - зусилля від провисання ланцюгів,

$kg$  -1 - динамічний коефіцієнт,

Окружна швидкість ланцюга:

$$V_{ц} = \frac{z_1 \cdot n_1 \cdot t}{60 \cdot 10^3} = \frac{26 \cdot 29.84 \cdot 38.1}{60 \cdot 10^3} = 0.493 \text{ м/с}$$

Тоді

$$P_v = q \cdot v^2 = 5.5 \cdot 0.493^2 = 1.3 \text{ Н} \quad (3.26)$$

$$P_f = k_f \cdot q \cdot g \cdot A = 1 \cdot 5.5 \cdot 9.81 \cdot 0.932 = 50.3 \text{ Н} \quad (3.27)$$

де  $k_f = 1$  - при вертикальному ланцюзі

Отримуємо:

$$n = \frac{98100.0}{4050 \cdot 1 + 1.3 + 50.3} = 23.9$$

Для  $t = 38,1 \text{ мм}$  при  $n_1 = 29,84 \text{ об/хв}$

$[n] = 7.5$  ([4]. стр. 38. табл. 12.11)

$$[n] < n$$

Як і для зірочки тягового ланцюга приймаємо для валу під веломою зірочкою  $3 \cdot d_1 = 65 \text{ мм}$ , діаметр маточини  $d_{ст} = 110 \text{ мм}$ : довжина маточини  $l_{ст} = 110 \text{ мм}$ .

Для провідної зірочки  $d_b$ ;  $d_{ст}$ ;  $l_{ст}$  визначимо при розрахунку валу коліс черв'ячного редуктора.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



### 3.5. Розрахунок черв'ячного редуктора

По визначеному раніше для валу колеса редуктора

$$n_1 = 29,84 \text{ об/хв}; \omega_1 = 3,125 \text{ с}^{-1}; N_2 = N_1 = 2,000 \text{ кВт}; M_1 = 640 \text{ Нм} = M_k$$

Число оборотів червика:

$$n_q = n_e = 29,84 \cdot 32,16 = 960 \text{ об/хв}$$

$$\omega_q = \omega_e = \frac{\pi \cdot 960}{30} = 110,53 \text{ с}^{-1}$$

Приймаємо матеріал вінця черв'ячного колеса Бр. АЖ9 - 4л (виліток у землю); для черв'яка сталь 45 загартована (HRC = 45-50)

За таблицею 5.10 в [2], стр. 122 знаходимо допустиму контактну напругу для вінця колеса, попередньо застосовна швидкість ковзання  $V_{ск} = 2 \text{ м/с}$

$$[\sigma]_k = 200 \text{ Н/мм}^2$$

Допустиму контактну напругу згину знайдемо в таблиці 5.9 в [4]:

$$[\sigma_0]_k = 100 \text{ Н/мм}^2$$

Приймаємо число заходів черв'яка  $z_q = 2$ ; тоді число зубів черв'ячного колеса:

$$z_k = z_q \cdot i_q = 2 \cdot 32,16 = 64,3;$$

приймаємо  $z_k = 64$ , коефіцієнт діаметра черв'яка  $q = 10$ .

Міжосьова відстань визначаємо з формули:

$$A_w = \left(\frac{z_k}{q} + 1\right) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,463}{q \cdot [\sigma]_k}\right)^2 \cdot K \cdot M_k \cdot E_{пр}}; \text{ ([4]. стр. 381.)} \quad (3.28)$$

де:  $K$  - коефіцієнт навантаження,

$E_{пр}$  - наведений модуль пружності.

$$E_{пр} = \frac{2E_k \cdot E_q}{E_q + E_k} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 2,1}{1 + 2,1} \cdot 10^5 = 1,355 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2 \quad (3.29)$$

де:  $E_k = 1 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$  - для бронзи,

$E_k = 2,1 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$  - для сталі.

Коефіцієнт навантаження:

$$K = K_{кц} \cdot K_d; \quad (3.30)$$

де:  $K_{кц}$  - коефіцієнт концентрації навантаження,

$K_d$  - коефіцієнт динамічності навантаження.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{кц} = 1 + \left(\frac{z_k}{\theta}\right)^3; \quad (3.31)$$

де:  $\theta$  - коефіцієнт деформації черв'яка;

$\theta = 86$  при  $q = 10$  і  $z_q = 2$ ; ([4], табл.5.7)

Отримаємо

$$K_{кц} = 1 + \left(\frac{64}{86}\right)^3 = 1.412$$

Призначаємо ступінь точності, ГОСТ 3675-56, рівної 8. Тоді при  $V_{ск} = 1,5 / 3$  м / с значення коефіцієнта  $K_D = 1,25$ ; ([4], табл.5.8)

Отримаємо  $K = 1.412 \cdot 1.25 = 1.765$ ;

$$A_w = \left(\frac{64}{10} + 1\right) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0.463}{64 \cdot 200}\right)^2 \cdot 1.765 \cdot 640000 \cdot 1.355 \cdot 10^5}$$

$$A_w = 7.4 \sqrt[3]{20026.5} = 210 \text{ мм}$$

Модуль затискання:

$$m = \frac{2 \cdot A_w}{q + z_k} = \frac{2 \cdot 210}{10 + 64} = 5.66 \text{ мм} \quad (3.32)$$

Приймаємо  $m = 6$  мм та  $q = 10$  по ГОСТ 2144-66.

Швидкість ковзання:

$$V_{ск} = \frac{m \cdot n_q}{19100} \cdot \sqrt{2^2_{q} + q^2} = \frac{6 \cdot 960}{19100} \cdot \sqrt{2^2 + 10^2} = 3.075 \text{ м/с} \quad (3.33)$$

Міжосьова відстань:

$$A_w = \frac{m}{2} (q + z_k) = \frac{6}{2} (10 + 64) = 222 \text{ мм} \quad (3.34)$$

Розрахунковий контактний напрямок:

$$\sigma_k = \frac{476}{d_k} \cdot \sqrt{\frac{K \cdot M_k}{d_q}}; \quad ([4]. \text{ стр. 118.}) \quad (3.35)$$

де:  $d_k = m \cdot z_k = 6 \cdot 64 = 384$  мм - діаметр ділительного кола колеса.

$d_q = m \cdot q = 6 \cdot 10 = 60$  мм - діаметр ділового кола червяка.

$$K = K_{ц} \cdot K_D;$$

$K_{ц} = 1.412$ ,  $K_D = 1,3$  при  $V_{ск} = 3,075$  м/с

Отримуємо  $K = 1,412 \cdot 1,3 = 1,3356$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Адк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$\sigma_k = \frac{476}{384} \cdot \sqrt{\frac{1.3356 \cdot 640000}{60}} = 173.5 \text{ Н/мм}^2$$

при  $V_{ск} = 3 \text{ м/с}$ ;  $[\sigma]_k = 195 \text{ Н/мм}^2$

$$[\sigma]_k > \sigma_k$$

При  $V_{ск} = 3 \text{ м/с}$  наведений коефіцієнт тертя  $f = 0,03$  - для бронзи:

$$f = 1,4 \cdot 0,03 = 0,042$$

Кут тертя (наведений):

$$p' = \arctg f = \arctg 0,042 = 2^\circ 24,3' = 2^\circ 24' 18''$$

Кут підйому лінії черв'яка:

$$\operatorname{tg} y = \frac{z_v}{q} = \frac{2}{10} = 0.2 \quad (3.36)$$

$$y = 11^\circ 18' 36''$$

КПД черв'ячної пари:

$$\eta_{чп} = 0.95 \frac{\operatorname{tg} y}{\operatorname{tg}(y+p)} = 0.95 \frac{0.2}{\operatorname{tg} 13^\circ 42' 54''} = 0.78 \quad (3.37)$$

КПД черв'ячного редуктора:

$$\eta_{ч} = \eta_{чп} \cdot \eta_{п}^2 = 0.78 \cdot 0.99^2 = 0.76$$

Так як  $\eta_{ч} = 0,76$  більше раніше прого  $\eta_{ч} = 0,7$ , то розрахунок для вибору двигуна не робимо.

Перевіримо зубці колеса на вигин за формулою:

$$\sigma_H = \frac{0.6 \cdot K \cdot P_k}{q \cdot m^2 \cdot Y_k}; \quad ([4]. \text{ стр. } 536) \quad (3.38)$$

де:  $K = 1,8356$ .

$P_k$  – окружне зусилля на колесі,

$Y_k$  - коефіцієнт форми зуба колеса.

Окружне зусилля на колесі:

$$Z_v = \frac{z_k}{\cos^3 y} = \frac{64}{\cos^3 11^\circ 18' 38''} = 67.9 \quad (3.39)$$

кількість зубів колеса :

Тоді  $Y_k = 0.683$ ; ([4]. табл. 5.6)

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Отримуємо:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{0.6 \cdot 1.8356 \cdot 3333}{10 \cdot 6^2 \cdot 0.683} = 14.9 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\text{и}} = 14.9 \text{ Н/мм}^2 < [\sigma_0]_{\text{и}} = 100 \text{ Н/мм}^2$$

Розраховуємо елементи черв'яки та колеса:

Єскіз черв'ячного колеса (рисунок 8).

крок черв'яка:  $p = \pi \cdot m = 6\pi = 18.85 \text{ мм}$ ;

хід гвинта черв'яка:

$$P_{z_{\text{ч}}} = z_{\text{ч}} \cdot P = 18.85 \cdot 2 = 37.70 \text{ мм}; \quad (3.40)$$

діаметр вершин витків черв'яка:

$$d_{\text{ач}} = d_{\text{ч}} + 2m = 60 + 2 \cdot 6 = 72 \text{ мм}; \quad (3.41)$$

або  $d_{\text{ач}} = m(q + 2) = 6(10 + 2) = 72 \text{ мм}$

діаметр западин витків черв'яка:

$$d_{\text{фч}} = d_{\text{ч}} - 2.4m = 60 - 2.4 \cdot 6 = 45.6 \text{ мм}; \quad (3.42)$$

довжина нарізаної частини черв'яка:

$$b_{\text{ч}} \geq (11 + 0.06z_k)m = (11 + 0.06 \cdot 64)6 = 89 \text{ мм},$$

приймаємо  $b_{\text{ч}} = 90\text{мм} + 25 = 115\text{мм}$  ([4], стр. 114)

Діаметр вершин колеса:

$$d_{\text{ак}} = (z_k + 2)m = (64 + 2)6 = 396 \text{ мм}; \quad (3.43)$$

діаметр западин колеса:

$$d_{\text{к}} = (z_k - 2.4)m = (64 - 2.4)6 = 368,6 \text{ мм}; \quad (3.44)$$

ширина вінця колеса:

$$b_{\text{к}} \leq 0.75d_{\text{ч}} = 0.75 \cdot 60 = 45 \text{ мм};$$

$$b_{\text{к}} = 45 \text{ мм}.$$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

### 3.5.1. Розрахунок валу черв'ячного редуктора

Зробимо розрахунок валу колеса черв'ячного редуктора. На валу насаджено черв'ячне колесо, два підшипники і провідна зірочка ланцюгової передачі (рисунок 7, 8).

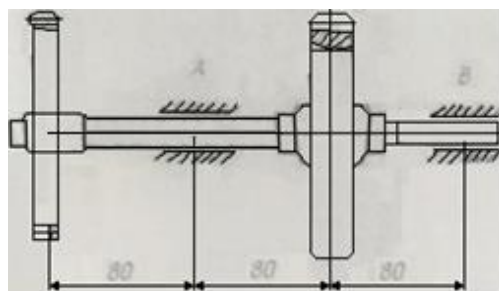


Рисунок 8 - Схема валу черв'ячного колеса

Зусилля, що діють на вал, показані на рисунку 8,

$$M_{кр} = M_1 = M_k = P_1 \frac{d_1}{2} = P_k \frac{d_k}{2} = 64000 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (3.45)$$

$$P_1 = 4050 \text{ Н}; P_k = 3333 \text{ Н}.$$

Осьове зусилля на колесі:

$$Q_k = \frac{2M_{ч}}{d_{ч}}; \quad (3.46)$$

де  $M_{ч}$  - момент на валу червяка.

$$M_{ч} = \frac{M_k}{i_{ч} \cdot \eta_{ч}} = \frac{640000}{0.76 \cdot 32} = 26315 \text{ Н} \cdot \text{мм}. \quad (3.47)$$

Отримуємо:

$$Q_k = \frac{2 \cdot 26315}{60} = 877 \text{ Н} \quad (3.48)$$

Радіальне зусилля на колесі:

$$T_k = P_k \cdot \operatorname{tg} a' x = 3333 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 1213 \text{ Н} \quad (3.49)$$

Знаходимо реакції в підшипниках.

На площині ZX (рисунок 9):

$$Z_A = \frac{T_k \cdot 80 - \left(Q_k \cdot \frac{d_k}{2}\right)}{160} = \frac{1213 \cdot 80 - \left(877 \cdot \frac{384}{2}\right)}{160} = -446 \text{ Н (напрямок вниз)}$$

$$Z_B = \frac{T_k \cdot 80 - \left(Q_k \cdot \frac{d_k}{2}\right)}{160} = \frac{97040 - 168384}{160} = 1659 \text{ Н} \quad (3.50)$$

На площині XY:

$$Y_A = \frac{-P_1 \cdot 240 + P_k \cdot 80}{160} = \frac{-4050 \cdot 240 + 3333 \cdot 80}{160} = -4409 \text{ Н} \quad (3.51)$$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		45

$$Y_B = \frac{P_1 \cdot 240 + P_k \cdot 80}{160} = \frac{(4050 + 3333) \cdot 80}{160} = 3692 \text{ Н} \quad (3.52)$$

Будуємо епюри  $M_{кр}$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  (рисунок 9)

Єпюра  $M_{кр}$ :

Ділянки I і II:  $M_{кр} = 640 \text{ Нм}$

Ділянка III:  $M_{кр} = 0$

Ділянка I:  $M_y = 0$

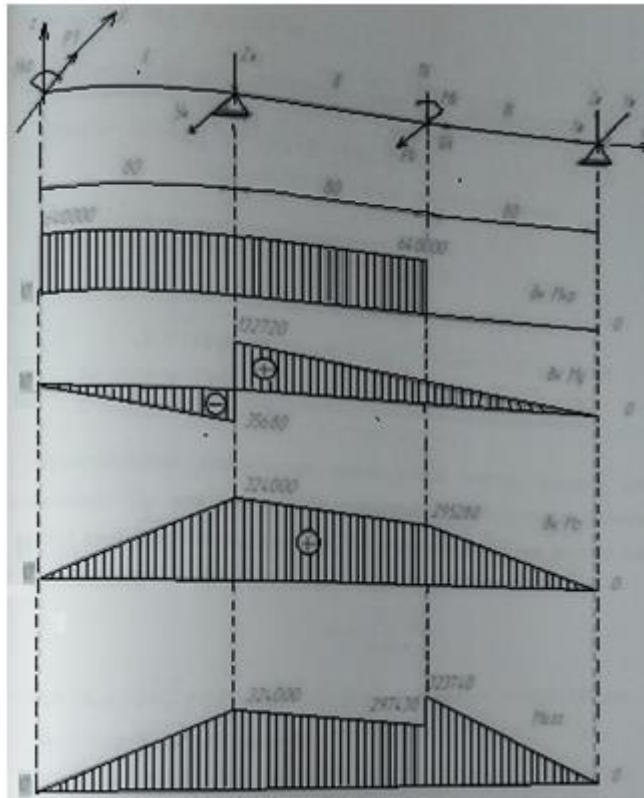


Рисунок 9 - епюра зусиль, що діють на вал

Ділянка II:  $M_{y2} = -Z_A X$ ;  $X = 80$ ;

$$M_{y2} = -446 \cdot 80 = -35680 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Ділянка III:  $M_{y3} = Z_B X$ ;  $X = 80$ ;

$$M_{y3} = 1659 \cdot 80 = 132720 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_{y3} - M_{y2} = 132720 + 35680 = 168400 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$Q_k \cdot \frac{d_c}{2} = 877 \cdot \frac{38}{2} = 168400 \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (3.53)$$

Єтора  $M_z$ :

Ділянка I:  $M_{z1} = P_1 X$ ;  $X = 80$ ;

$$M_{z1} = 4050 \cdot 80 = 324000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



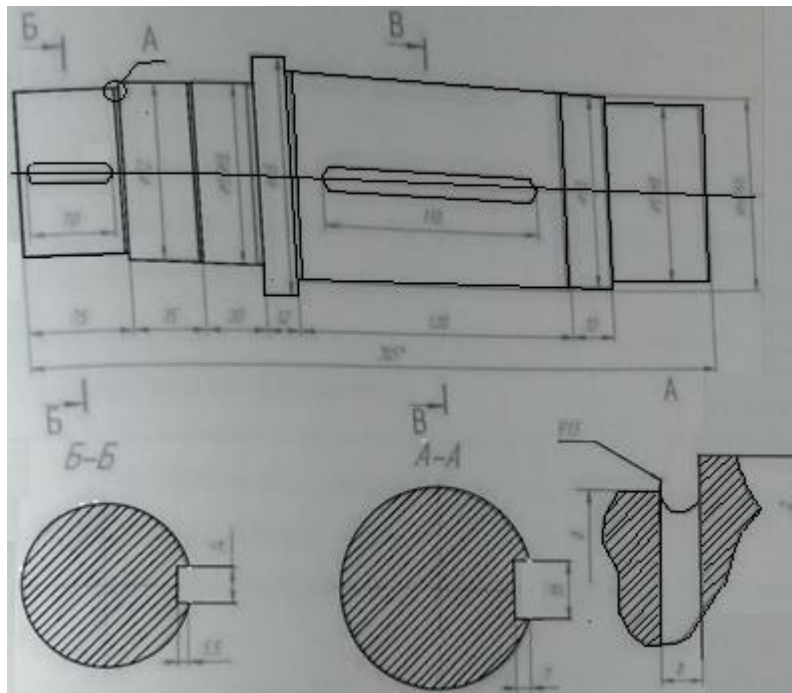


Рисунок 10 - Ескіз вала

По рисункам рисунків 8 та 9 випливає, що найбільш відповідальним перетином вала є перетин А - А тоді перетин під черв'ячним колесом, де дні близькі до максимальних, а концентратор напруг найбільш сальний (шпонкова канавка). Тому зробимо уточнений розрахунок вала для няння А-А (уточнений розрахунок вала полягає в перевірці хатса міцності (коефіцієнтів запасу).

Нормований коефіцієнт запасу міцності приймаємо рівним  $[n] = 3$ ; ([4], стр.160)

$$[n] \leq n = \frac{n_{\sigma} \cdot n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}}; \quad ([4]. \text{ стр.160})$$

де:  $n_{\sigma}$ ,  $n_{\tau}$  - коефіцієнти запасу міцності за нормальним і дотичним напруженням.

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_{\sigma} \cdot \sigma_v + \varphi_{\sigma} \cdot \sigma_m}{E_{\sigma}}}; \quad (3.56)$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau} \cdot \tau_v + \varphi_{\tau} \cdot \tau_m}{E_{\tau}}}; \quad (3.57)$$

де:  $\sigma_{-1}$ ,  $\tau_{-1}$  - межі витривалості матеріалу валу при симетричному сі вигину та кручення.  $k_{\sigma}$ ,  $k_{\tau}$  - ефективні коефіцієнти концентрації напруги

$E_{\sigma}$ ,  $E_{\tau}$  - масштабні коефіцієнти.

$\sigma_v$ ,  $\tau_v$  - амплітуда циклу нормальних та дотичних напрямків.

									Арк.
									48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ				



$\sigma_m, \tau_m$  - середні напрями циклу нормальних і дотичних напруг.

Для матеріалу валу - сталь 45:

$$\sigma_{-1} = 0.43\sigma_B = 0.43 \cdot 590 = 254 \text{ Н/мм}^2$$

$$\tau_{-1} = 0.58 \cdot \sigma_{-1} = 0.58 \cdot 254 = 147 \text{ Н/мм}^2$$

Для концентратора напруг - шонкової канавки

$$k_\sigma = 1.7; k_\tau = 1.8; ([4], \text{ стр } 164)$$

Масштабні коефіцієнти при  $d_B$ ,

$$E_\sigma = 0.82; E_\tau = 0.70; ([4], \text{ табл. } 7.2)$$

Амплітуда циклу нормальних напружень:

$$\sigma_v = \sigma_n$$

де:  $\sigma_n$  – номінальна ( найбільша ) напруга вигину в даному перерізі:

$$\sigma_v = \sigma_n \text{ чи } \sigma_v = \frac{M}{W}; \text{ де: } M = M_{A-A} = 324000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$W$  - момент опору перетину А - А

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{bc(d-c)^2}{2d}; ([4]. \text{ стр. } 164) \quad (3.58)$$

де на рисунку 7:

$$d = 60 \text{ мм,}$$

$$c = 7 \text{ мм,}$$

$$b = 18 \text{ мм.}$$

Отримуємо:

$$W = \frac{\pi \cdot 60^3}{32} - \frac{18 \cdot 7(60-7)^2}{2 \cdot 60} = 18256 \text{ мм}^3; \quad (3.59)$$

$$\sigma_v = \sigma_n = \frac{324000}{18256} = 17.75 \text{ Н/мм}^2$$

$$\tau_v = \frac{M_{кр}}{2 \cdot W_p}; \quad (3.60)$$

Аналогічно:

де:  $M_{кр} = 640000 \text{ Н} \cdot \text{мм};$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{bc(d-c)^2}{2d}; \quad (3.61)$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{18 \cdot 7(60-7)^2}{120} = 39462 \text{ мм}^3;$$

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Отримуємо:

$$\tau_v = \frac{640000}{2 \cdot 39462} = 8.1 \text{ Н/мм}^2$$

Середня напруга циклу нормальних напруг:

$$\sigma_m = \frac{4 \cdot H}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot Q_k}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 877}{\pi \cdot 60^2} = 0.3 \text{ Н/мм}^2 \quad (3.62)$$

Для дотичних напруг:

$$\tau_m = \tau_v = 8.1 \text{ Н/мм}^2$$

Отримаємо формули (3.61), (3.62):

$$n_\sigma = \frac{254}{\frac{17}{0.82} \cdot 17.75 + 0.15 \cdot 0.3} = 6.9;$$

$$n_\tau = \frac{147}{\frac{1.8}{0.7} \cdot 8.1 + 0.1 \cdot 8.1} = 6.8;$$

За формулою (3.60) отримаємо:

$$n = \frac{6.9 \cdot 6.8}{\sqrt{6.9^2 + 6.8^2}} = 4.84.$$

Так як  $n = 4.84 > [n] = 3$ , приймаємо вал на рисунку 9.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		50

## 4. МОНТАЖ І РЕМОНТ АПАРАТА

### 4.1 МОНТАЖ АПАРАТА

4.1. Монтаж сушарок повинен виконуватись спеціалізованими монтажними організаціями відповідно до вимог інструкції з монтажу, розробленої підприємством-виробником.

Перед монтажем обладнання перевіряється його комплектність, відповідність проектним кресленням, проводиться візуальний огляд на відсутність пошкоджень, поломок і інших видимих дефектів.

Монтаж обладнання здійснюється за допомогою автокрана і вантажопідійомників, що встановлюються за місцем.

Змонтоване обладнання до здачі в експлуатацію випробовується на холостому ходу, і після цього складається акт про приймання обладнання в експлуатацію.

Технологічні лінії, в яких встановлені сушарки, повинні бути обладнані очисними, пиловловлюючими та газоочисними пристроями, що забезпечують чистоту стоків та скидаються в атмосферу газів відповідно до встановлених норм.

4.2. Апарат повинен забезпечувати роботу при виконанні таких умов:

- кваліфікованому монтажі та технічному обслуговуванні згідно з інструкції підприємства-виробника з експлуатації;
- суворе дотримання заходів техніки безпеки;
- підтримки всього обладнання сушарки у постійній технічній готовності.

4.3. Сушарки повинні експлуатуватися за робочих параметрів, що не перевищують допустимих значень, зазначених у паспорті.

4.4. Замовником на підставі вимог паспорта та інструкцій з монтажу та експлуатації сушарки підприємства-виробника має бути складена конкретна інструкція з експлуатації (в обсязі, передбаченому ГОСТ 2.601) з урахуванням місцевих умов виробництва.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

## 4.2 РЕМОНТ АПАРАТУ

Структура ремонтного циклу обладнання залежить від виробництва та типу апарату.

Планово - попереджувальний ремонт проводиться через певну кількість годин безперервної роботи апарату. Зміст та обсяг ремонту встановлюються з урахування стану апарату. Під час складання плану ремонту враховують міжремонтний цикл обладнання. Міжремонтний цикл це робота апарату між двома капітальними ремонтами.

В систему планово - попереджувального ремонту входять: технічне обслуговування, поточний ремонт та капітальний ремонт.

При технічному обслуговуванні відбувається розбирання окремих деталей.

Поточний ремонт виконується при збільшенні зносу деталей та складальних одиниць. Поточний ремонт складається:

- ремонт і заміна великих деталей і складальних одиниць;
- випробування і забарвлення.

Техобслуговування і поточні ремонти забезпечують нормальну роботу обладнання до чергової заміни основних деталей.

При капітальному ремонті замінюється велика кількість складальних одиниць, вузлів та деталей.

У капітальний ремонт включають роботи по модернізації, механізації та автоматизації апарату.

Процес ремонту обладнання здійснюється в послідовності: розбирання апарату на складальні одиниці та деталі; очищення та миття складальних одиниць та деталей; дефектація, контроль та сортування деталей; відновлення зношених та заміна дефектних складальних одиниць та деталей; збірка апарату. Всі ремонтні роботи супроводжуються контролем, та випробуванням апарату.

Після закінчення випробувань, відбувається усунення помічених дефектів, оформляється акт на здачу апарату з ремонту. Після підписання акту апарат вводять в експлуатацію.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

### 5.1 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

При обслуговуванні та роботі потокової лінії необхідно дотримуватися правил техніки безпеки.

1. Всі місця потокової лінії, що є небезпечними щодо травматизму, повинні бути огорожені.

Обладнання повинно мати кожухи, що закривають все його зовнішні рухомі або обертовуються деталі і вузли.

2. Повинно бути надійне пусковий управління (кнопки, педалі, рукоятки), що не допускають можливість випадкового або самовільного включення або переключення під час роботи.

3. Станини обладнання, корпуси електричних нагрівальних установок і електродвигуна, пульти і прилади керування повинні бути заземлені.

4. Перед пуском комплексної лінії необхідно оглянути входять в її склад лінії, обладнання і пристрої, переконатися, чи не пошкоджена, сторонніх предметів на частинах, обривів заземлення і справності огорожі.

Перевірити роботу окремих ліній, технологічного обладнання та пристроїв.  
рухомих

5. Строго дотримуватися вимог правил техніки безпеки, викладених в робочих інструкції.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

## 5.2 НАВЧАННЯ І ПЕРЕВІРКА ЗНАНЬ ПО

### ОХОРОНІ ПРАЦІ

5.2.1 Для підготовки працівників, які залучаються до виконання робіт з підвищеною небезпекою теоретична частина охорони праці вивчається в обсязі не менше 30 годин, а під час перепідготовки та підвищення кваліфікації не менше 15 годин.

5.2.2 Працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи проходять на підприємстві інструктажі, навчання та перевірку знань з питань охорони праці, надання первичної допомоги постраждалим від нещасних випадків, а також правил поведінки при виникненні аварій

5.2.3 Організацію навчання та перевірки знань з питань охорони праці працівників, в тому числі під час професійної підготовки, перепідготовці, підвищення кваліфікації на підприємстві здійснюють працівники відділі кадрів (бюро технічного навчання), які за заявкою цеху формують плани-графіки проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

Контроль за своєчасністю проведення перевірки знань з питань охорони праці здійснює відділ охорони праці.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

## 5.3. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.3.1. ОБМЕЖЕННЯ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН

1. При настанні несприятливих метеорологічних умов (туман, тривалий штиль, температурна інверсія) особи, відповідальні в цеху за проведенням заходів, отримавши від диспетчера заводу попередження, негайно здійснюють переклад виробництва на відповідний режим роботи, крім того необхідно:

1) посилити контроль за технічним станом і експлуатацією газоочисних установок (ГОУ);

2) зупинити технологічне обладнання в разі виходу з ладу ГОУ.

### 5.3.2. УТИЛІЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ, ЗНИЩЕННЯ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА

2. В процесі очищення стоків і при воживанні утворюються опади, що містять гідроокису важких і кольорових металів.

Опади після станції нейтралізації відносять до 3-го класу небезпеки і складають на території цеху потім вивозять на захоронення.

3. Відходи деревини (тирса березові і їх пил з бункерів), що утворюються при поліруванні деталей, збираються в ящики на майданчику відходів, щодо їх заповнення вивозяться на поховання в спеціально відведене місце.

4. Відпрацьована мильна емульсія і мастильно-охолоджуючі рідини збираються в збірники, де відбувається відділення масла і його збір. У міру накопичення збірки, вивозять на захоронення в спеціально відведене місце.

5. Відходи біметалу, стали (решітка, висікання) збираються окремо і здаються по вазі на переробку.

6. Відходи кольорових металів (мідь, алюміній) збираються окремо і здаються по вазі на переробку

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

### 5.3.3. ГАЗООЧИСНІ УСТАНОКИ (ГОУ)

1. За 15 хв. до початку обробки деталей в агресивних розчинах включити витяжну вентиляцію і газоочисну установку.

Приступати до роботи без включення витяжної вентиляції і ГОУ або в разі несправності їх-забороняється.

#### 2. Робота циклону.

Газопилової суміш підводиться до корпусу циклону тангенціально, тому частинки пилю обертаючись близько внутрішньої поверхні корпусу, осідають і видаляються знизу, а очищене повітря через розташовану в центрі трубу, йде в атмосферу.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розглянута технологія виробництва гільз і процес сушки полум'ягасячого складу.

Розглянуті теоретичні основи процесу сушіння, надані основні фізико-хімічні характеристики продукту. Описана технологія виробництва. Розглянуто пристрій сушарки.

Проведено технологічні розрахунки. Розраховано тяговий ланцюг, ланцюгову передачу, червячний редуктор. Вибрано електродвигун.

Описано монтаж та ремонт апарату, охорона праці та охорона навколишнього середовища.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи: Под ред. В. Н. Соколова, Л. : Машиностроение, 1982.-383 С.

2 Кольман-Иванов Э. Э. И др. Конструирование и расчет машин химических производств: Учебник. М. : Машиностроение, 1985. – 486 с.

3 Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1970. – 752с.

4 Михалев М.Ф., Третьяков Н.П., Мильченко А.И., Зобнин В.В. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи: Учебное пособие под ред. Михалева М.Ф. - Л.: Машиностроение, 1984,301с.

5 Лапшинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. - Л.: Машиностроение, 1981, 382с.

6 Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. – 754с.

7 Поникаров И. И., Перельгин О. А. И др. Машины и аппараты химических предприятий и предприятий строительных материалов; - М. : Машиностроение, 1989.

8 Тимонин А. С., Балдин Б. Г., Борщев В. Я., Гусев Ю. И. И др. Под общей редакцией Тимонина А. С. – Машины и аппараты химических производств, Калуга: изд. Бочкаревой Н. Ф., 2008.

9 Ремонт сушарок [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.chem21.info/info/1678224>.

10 Машиностроение, Энциклопедия, раздел IV, Расчет и конструирование машин, том IV-12 Машины и аппараты химических и нефтеперерабатывающих производств. – М.: М, 2004.

11 Монтажні роботи [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.kak-sushit.ru/montazh-sushilnogo-oborudovaniya.html>.

12 Виготовлення електродетонаторів [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://docs.cntd.ru/document/1200018191>.

					ХТВМС.В.133.05.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Документация</u>						
A1			XM-81Ш 9.133.05.00 СК	Складальне креслення		
A4			XM-81Ш 9.133.05.00 ПЗ	Пояснювальна записка		
<u>Сборочные единицы</u>						
		1		Бункер	1	
		2		Воронка	1	
		2		Направляючі трубки	1	
		4		Привід	1	
		5		Станина	1	
		6		Кранштейн	1	
		7		Пружина	1	
		8		Вилка включення	1	
		9		Рычаг	1	
		10		Рычаг	1	
		11		Планка	2	
		12		Сережка	1	
		13		Скоба	1	
		14		Стійка	1	
<u>Стандартные изделия</u>						
		3		Болт М16х70 ГОСТ 7805-57	4	
		16		Гайка М16 ГОСТ 5909-51	5	
		17		Гайка М10 ГОСТ 5909-51	8	
		18		Болт М10х34 ГОСТ 7805-57	8	
<b>XM-81Ш 9.133.05.00 СК</b>						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Пырагов М.О.			Лит.	Лист
Пров.		Банишевский				Листов
Нконтр.						1
Утв.					<b>Ші СумДу</b>	
Верстат для набірки гільз Складальне креслення						

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Документация</u>						
A1			XM-81Ш 9.133.05.00. СК	Складальне креслення		
A4			XM-81Ш 9.133.05.00 ПЗ	Пояснювальна записка		
<u>Сборочные единицы</u>						
		1		Підвіска	56	
		2		Щит	9	
		3		Рама	1	
		4		Станція натяжна	1	
		5		Щит доковий	8	
		6		Привід	1	
		7		Нагрівач	7	
		8		Направляюча	1	
		9		Обвідний пристрій	5	
		10		Привідний вузол	1	
		11		Перегородка	1	
		12		Щит нижній	1	
<u>Стандартные изделия</u>						
		2		Болт М12х100 ГОСТ 7808-70	28	
		14		Гайка М12 ГОСТ 15526-70	28	
		15		Болт М42х150 ГОСТ 7808-70	12	
		16		Гайка М24 ГОСТ 15526-70	12	
<b>XM-81Ш 9.133.05.00 ВД</b>						
Изм.		Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	
Разраб.		Пирогов М.О.				
Пров.		Банишевский				
Н.контр.						
Утв.						
<b>Сушарка</b>				Лит.		Лист
Відомість документів				1		Листов
Ші СумДу				1		1