

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

на тему

«РОЗРОБКА УНІФІКОВАНОГО НАСОСНОГО АГРЕГАТУ АНС 400-25 З  
ПОКРАЩЕНИМИ КАВІТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ»

Завідувач кафедри

Ковальов І.О.

Керівник проекту

Папченко А.А.

Консультанти:

з охорони праці

Васькін Р.А.

Виконав

Ворожка А.С.

Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки  
Спеціальність 131 – Гідравлічні машини, гідроприводи та  
гідропневмоавтоматика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. Кафедри \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ**

Ворожка Анатолій Сергійович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема проекту

Розробка уніфікованого насосного агрегату АНС 400-25 з покращеними кавітаційними характеристиками

затверджена наказом по інституту від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р. № \_\_\_\_

2 Термін здачі студентом закінченого проекту 16.12.2019

3 Вихідні дані до проекту Подача 400 м<sup>3</sup>/год, напір 25 метрів, робоча рідина – сироп t=105°С, ρ=1220 кг/м<sup>3</sup>, вміст сухих речовин 52%, висота рідини на всмоктуванні 2 метри.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити) розрахунок кавітаційного запасу, проектування шнеко-відцентрового ступеня, проектування закритого і відкритого робочого колеса, проектування спірального відводу, побудова технологічного процесу механічної обробки спірального відводу, обрахування собівартості виготовлення насоса, охорона праці під час експлуатування та ремонту насосного обладнання, проведення параметричних і кавітаційних випробувань.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) складальне креслення насоса (формату А1), складальне креслення уніфікованого насоса (формату А1), креслення шнека (формату А1), креслення валу (формату А4×6), креслення кронштейна (формату А2×3),

креслення робочого колеса (формату А1) складальне креслення торцевого ущільнення(формату А3×3).

6 Консультанти з проекту (роботи), із зазначенням розділів проекту

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання	завдання
Охорона	Васькін Р.А.		

7 Дата видачі завдання 14.01.2019

Керівник \_\_\_\_\_

(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз технології виробництва цукру	14.01.2019 – 28.01.2019	
2	Інформаційний огляд насосів	28.01.2019 – 01.03.2019	
3	Розрахунок кавітаційного запасу	01.03.2019 – 18.03.2019	
4	Розрахунок шнека	18.03.2019 – 22.04.2019	
5	Розрахунок ЗРК і ВРК	22.04.2019 – 20.05.2019	
6	Розрахунок відводу	20.05.2019 – 10.06.2019	
7	Розробка технологічної документації	10.06.2019 – 01.07.2019	
8	Економічний розділ	01.07.2019 – 22.07.2019	
9	Параметричні випробування	22.07.2019 – 1.09.2019	
10	Оформлення граф. частини	01.09.2019 – 15.10.2019	
11	Оформлення ПЗ	15.10.2019 – 01.11.2019	
12	Підготовка доповіді	01.11.2019 – 16.12.2019	

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 166 с., 68 рисунків, 26 таблиць, 2 додатка, 24 літературних джерел.

Тема роботи «Розробка уніфікованого насоса типу АНС 400-25 з покращеними кавітаційними характеристиками». Графічні матеріали: складальне креслення насоса (формату А1), складальне креслення уніфікованого насоса (формату А1), креслення шнека (формату А1), креслення валу (формату А4×6), креслення кронштейна (формату А2×3), креслення робочого колеса (формату А1) складальне креслення торцевого ущільнення(формату А3×3).

Мета роботи – створити уніфікований насос з покращеними кавітаційними характеристиками для потреб цукрової промисловості.

Відповідно до поставленої мети визначено наступні задачі:

- провести аналітичний огляд насосного обладнання з покращеними кавітаційними характеристиками;
- виконати аналітичний розрахунок геометричних параметрів проточної частини відповідно до технічного завдання;
- підготувати робочий проект насосу;
- розробити технологічний процес виготовлення насосу;
- виконати розрахунок собівартості виробництва насосу;
- виготовити дослідний зразок насосу та провести його експериментальне дослідження
- виконати монтаж та підконтрольну експлуатацію насосного агрегату на цукровому заводі України;

Ключові слова: УНІФІКОВАНИЙ НАСОС, ВІДЦЕНТРОВЕ РОБОЧЕ КОЛЕСО, ВІДВІД, ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ, КАВІТАЦІЙНИЙ ЗАПАС, ШНЕК

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ІНДЕКСІВ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СТАН ЦУКРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ..	11
1.1. Історія розвитку цукрової промисловості в Україні.....	11
1.2. Стан цукрової промисловості України.....	14
1.3. Технологічна лінія виробництва цукру-піску з цукрового буряку.....	15
1.4. Огляд конструкцій вакуум апаратів.....	29
1.5. Вимоги до насосів, які використовуються в цукровій промисловості.....	39
1.6. Актуальність.....	40
РОЗДІЛ 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	42
2.1. Об'єкт, мета і задачі дослідження.....	42
2.2. Патентне дослідження консольного насоса.....	43
2.3. Огляд аналогів.....	46
2.4. Опис конструкції.....	50
РОЗДІЛ 3 ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	54
3.1 Розрахунок шнека насоса.....	54
3.2. Проектування відцентрового напів відкритого робочого колеса.....	62
3.2.1. Розрахунок гідравлічних та геометричних параметрів.....	62
3.2.2. Проектування меридіанного перерізу робочого колеса.....	72
3.2.3. Профілювання лопаті.....	79
3.3. Проектування відцентрового закритого робочого колеса.....	84
3.3.1. Розрахунок гідравлічних та геометричних параметрів.....	84
3.3.4. Проектування меридіанного перерізу робочого колеса.....	93
3.2.3. Профілювання лопаті.....	97
3.4. Розрахунок і проектування спірального відводу с тангенціальним виходом.....	101
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА МАРШРУТНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СПІРАЛЬНОГО ВІДВОДУ.....	111
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ АНС 400-25.....	119
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	130
6.1. Загальні вимоги з техніки безпеки при обслуговуванні насосу відцентрового типу....	130
6.2. Техніка безпеки при проведенні ремонтних робіт на насосному обладнанні.....	133
6.3. Організація роботи служби оповіщення і зв'язку цивільного захисту на підприємстві.....	136
РОЗДІЛ 7 ПРОВЕДЕННЯ ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ.....	144
ВИСНОВОК.....	163
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	164

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ІНДЕКСІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення	
$a$	– висота характерних перерізів, м;
$B, b$	– ширина характерних перерізів, м;
$D, d$	– діаметри характерних перерізів, м;
$f$	– площі характерних перерізів, м <sup>2</sup> ;
$H$	– напір, м;
$\Delta h$	– втрати напору, м;
$K$	– момент швидкості, м <sup>2</sup> /с;
$l$	– довжини характерних ділянок і елементів, м;
$N$	– потужність, Вт;
$n$	– частота обертання, об/хв;
$n_s$	– коефіцієнт швидкохідності насоса;
$\omega$	– кутова швидкість, с <sup>-1</sup> ;
$p$	– тиск, Па;
$t$	– час, с;
$Q$	– подача насоса, м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /год);
$Q_{pk}$	– витрата рідини через робоче колесо насоса, м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /год);
$R, r$	– радіуси характерних перерізів і елементів, м;
$U$	– колова швидкість потоку, м/с;
$V$	– швидкість потоку в абсолютній системі координат, м/с;
$W$	– швидкість потоку у відносній системі координат, м/с;
$\alpha$	– кут потоку в абсолютній системі координат, град;
$\beta$	– кут потоку у відносній системі координат, кут установки лопатей робочого колеса, град;
$z$	– число лопатей;
$\zeta$	– коефіцієнт супротиву;
$\eta$	– коефіцієнт корисної дії, %;
$\bar{\delta}$	– відносна товщина лопаті робочого колеса;
$\bar{b}_2$	– відносна ширина лопаті робочого колеса;
$\bar{D}_1$	– відносний діаметр входу в насос;
$\bar{D}_0$	– відносний діаметр входу в робоче колесо;

## Індекси

<i>0</i>	– вхідний переріз насоса;
<i>1</i>	– вхідний переріз робочого колеса;
<i>2</i>	– вихідний переріз робочого колеса;
<i>3</i>	– вхідний переріз у напірний патрубок;
<i>i</i>	– <i>i</i> -й переріз робочого колеса;
<i>max</i>	– максимальний;
<i>min</i>	– мінімальний;
<i>t</i>	– у проекції на меридіональну площину;
<i>r</i>	– у радіальному напрямку;
<i>u</i>	– у коловому напрямку;
<i>z</i>	– в осьовому напрямку;
<i>рк</i>	– відносно робочого колеса;
<i>опт</i>	– відносно оптимального режиму роботи;
<i>пр</i>	– приведений;
<i>вс</i>	– всмоктувальний;
<i>н</i>	– напірний;
<i>вх</i>	– відносно вхідного перерізу;
<i>вих</i>	– відносно вихідного перерізу.

## Скорочення

ККД	– коефіцієнт корисної дії;
СумДУ	– Сумський державний університет;
ПГМ	– прикладна гідроаеромеханіка.

## ВСТУП

Цукрова промисловість України – це одна з галузей харчової промисловості України, яка має ключове значення для поставки цукру як для нашої держави так і на експорт. Оскільки цукровий буряк є основною сировинною базою вітчизняних цукрових заводів України, то конкурентоспроможність та ефективність виробництва цукрових буряків в Україні є одним з найбільш важливих елементів у проблемі підтримки та збереження всього цукрового маркетингового ланцюжка.

Цукор – вуглевод, що практично цілком складається із сахарози ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ). За рахунок вуглеводів задовольняється половина загальної енергетичної вимоги нашого організму. Тому, як би ми не прагнули замінити в нашому меню цукровий пісок чи рафінад на овочі та фрукти, вживання їх кілограмами все рівно не може задовольнити вимогу організму в цукрі. Дуже мало його міститься в дарах природи. Оптимальний склад їжі людини повинен містити 50-70% вуглеводів, де на долю сахарози приходить близько 10%. Це близько 70 г цукру на добу, або 25 кг у рік. На відміну від продуктів, що містять цукор (цукерок, шоколаду, напоїв, кондитерських виробів) цукор - це практично чиста сахароза. В нашому організмі вона розщеплюється на глюкозу та фруктозу, які через кров поступають спочатку в печінку, а потім до окремих клітин, забезпечуючи їх енергією. Встановлено, що цукор навіть при вживанні його в надмірних кількостях здатен негативно впливати на наше здоров'я лише за наявності жирів, які містять насичені жирні кислоти. Проте нестача цукру в організмі може призвести до гіпоглікемії (заниженому вмісту глюкози в крові), що проявляється в стресах, збудливості і навіть у психічних розладах.

Сировиною для виробництва цукру є цукрова тростина та цукровий буряк.

Наші кліматичні умови добре підходять для вирощування цукрових буряків. Близько двадцять років тому на Україні успішно працювали понад 190



цукрових заводів. Україна була основним постачальником цукру для всіх республік колишнього радянського Союзу.

Якщо, ще кілька років тому буряковий цукор в Україні вироблявся майже весь для внутрішнього споживання, то тепер приблизно 25% щорічно поставляється в країни СНД і навіть Азії і Африки. Це призвело до сильної цінової конкуренції між виробниками цукру в світовому масштабі. З 100 заводів, в сезоні 2019 року працювало лише 33 цукрових заводів.

На світовому ринку виробництва цукру лідирує виробництво так званого цукру-сирцю – це цукор виготовлений з цукрової тростини (*Saccharum officinarum*). Повв'язано це з історичними аспектами розвитку цукроваріння, та кліматичними особливостями. Виробництво цукру-сирцю можливе цілий рік, отже виробництво є дешевшим, що в свою чергу призводить до меншої ціни на цукор-сирець на відміну від цукру з буряка. Проте виробництво цукру з тростини є складнішим технологічно, а сам продукт переборки має меншу цукристість. Виробництво цукру з цукрового буряка (*Beta Vulgaris*) має простішу технологічну лінію та окрім самого цукру, на виході маємо побічні продукти бурякоцукрового виробництва: буряковий жом, вуглецеві сполуки для видалення забруднювачів і меляса. Зменшення ціни на виробництво цукру з цукрового буряка можливе за рахунок модернізації виробництва, зменшення витрат на вирощування цукрового буряка, збільшення тривалості виробничого сезону.

Для підтримки конкурентоспроможності цукрові заводи сьогодні інтенсивно займаються модернізацією технологічних процесів і виробничого устаткування для виробництва цукру.

Модернізація цукрових заводів неможлива без оновлення парку насосів. Насоси для перекачування цукрових продуктів (сиропу, утфелю, меляси тощо), є однією з основних груп обладнання цукрового виробництва.

Найважливішим завданнями, що стоять перед цукровими заводами, є виробництво продукту високої якості з найменшими затратами, збільшення продуктивності, забезпечення стабільності робочого процесу та зниження питомих енерговитрат на одиницю продукції.

Технологія виробництва цукру передбачає постійне перекачування цукровмісних рідин по ланцюжку, від одного технологічного процесу до іншого. Сучасний цукровий завод експлуатує кілька десятків різних типів насосів і кілометри трубопроводів в різних рівнях по висоті. Серед насосів для цукрових заводів є багато видів: це відцентрові, черв'ячні, шнекові, і шестерні насоси.

# РОЗДІЛ 1

## СТАН ЦУКРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

### 1.1. Історія розвитку цукрової промисловості в Україні

Цукрова промисловість — галузь харчової промисловості, яка виробляє цукор - пісок і рафінад. На Україні це одна з найстаріших і найважливіших галузей харчової промисловості, продукція якої до 1914 року була найважливішим предметом експорту.

На Україні цукор виробляється в основному з цукрового буряку. З середини 1950-х років деяка, щораз більша (тепер до 35%), кількість — також з цукрової тростини, яку привозять з Куби. Понад половини цукру на Україні споживає населення, частина становить сировину для низки галузей харчової промисловості.

Виробництво цукру з цукрового буряка припадає у Західній Європі на середину 18 століття; у Росії перші цукрові заводи виникли у першій половині 18 століття (з привізної сировини — цукрової тростини).

На Україні перші цукроварні збудовано 1824 у с. Трощині Канівського повіту й у с. Микишині на Чернігівщині.

З початку 1840-х років цукроварство швидко розвивається: у 1830 р. — 6 заводів, у 1842 р. — 52, у 1848 р. — 192. Це пов'язано з вигідними природними умовами для вирощування цукрових буряків (клімат, ґрунти) та наявністю дешевої робочої сили (селяни-кріпаки).

Початково цукрова промисловість розвивалася майже винятково у поміщицьких господарствах - на той час, у зв'язку з високими коштами перевозу цукрового буряка, розміщення цукрової промисловості пов'язувалося з розміщенням сировини.

Подальшому розвитку цукрової промисловості сприяла тенденція переходу на товарне рільництво з постійно зростаючими посівами технічних культур, зокрема цукрового буряка. У 1914 році в Російській Імперії нараховано 241 заводів, у тому числі на Україні - 203. На Правобережжі цукрова промисловість була найбільше розвинена на Київщині й Поділлі; на Лівобережжі — на Сумщині й Харківщині.

В 1914 році на цукрових заводах України працювало 120 тисяч робітників (1/5 робітництва України), переважно жінок і підлітків. Праця була сезонна (3-4 місяці), і працювали на 2 зміни, по 12 годин на добу. Виробництво цукру зросло з 200-900 т. у 1881-1882 роках до 1,1 млн т. 1913-1914 роках. Україна виробляла 80-85% цукру-піску і близько 75% рафінаду Російської Імперії. У світовій продукції цукру з цукрового буряка Україна посідала друге після Німеччини місце.

Серед цукрозаводчиків була низка українців, відомих меценатів: Терещенки, Симиренки, Яхненки; були й поляки (Браніцькі), росіяни (Бобринські).

До 1914 року найбільше цукроварень було на східному Поділлі, на Сумщині й Київщині, натомість їх майже не було у лісовій і степовій смугах. У Східній Галичині цукрова промисловість існувала з першої половини ХІХ століття, але пізніше всі цукроварні закрито внаслідок політики австрійського картелю.

За роки Першої світової війни цукрова промисловість занепала, а у 1917-1921 роках зазнала цілковитої руйнації.

В 1921-1922 роках вироблено ледве 4% цукру, порівняно з 1913 роком.

За наступні роки цукрова промисловість швидко відбудувалася і в 1927-1928 роках досягла довоєнного рівня (1,1 млн т).

З середини 1930-х років цукрова промисловість почала швидко зростати — до 1 580 тис. т 1940 року. Низку старих заводів реконструйовано і споруджено ряд нових, серед них 4 великі: Лохвицький (найбільший завод в

СРСР і Європі) і Веселоподільський (обидва на Полтавщині), Куп'янський на Харківщині і Гнів'янський на Вінничині. У їхньому спорудженні використано найновіші технологічні досягнення цукрового виробництва, а зокрема до 70% механізовано ручні роботи. Дещо концентровано виробництво і зменшено чисельність заводів до 138.

У 1913 році цукровий завод на Україні переробляв пересічно 70 тис. ц., а у 1940 р. — 103 тис. центнерів цукрових буряків.

Концентрація виробництва відбувалася також і в рафінадній промисловості України. У Галичині було лише два заводи; на Буковині - 3 (Жучка, Лужани, Хрещатик).

За часи другої світової війни 1941-1945 років частину цукроварень цілком зруйновано, частину — пошкоджено. У 1945 р. виробництво цукру зменшилося до 329 тис. т. Довоєнного рівня було досягнуто лише у 1954 році.

Швидкого розвитку цукрова промисловість досягла у 1955-1970 роках. За той час збудовано 38 нових високомеханізованих підприємств, а багато старих заводів реконструйовано і значно розширено. Середня потужність в розрахунку на один завод зросла за 1950-1970-і роки майже вдвічі: з 8,6 тис. центнерів на добу в 1950 р. до 17 тис. центнерів у 1970 р.

За той час виробництво цукру:

1955 — 2 425 тис. т, у тому числі 2328 тис. т. з цукрового буряку,

1960 — 3877 тис. т, у тому числі 3340 тис. т з цукрового буряка

1965 — 6686 тис. т, у тому числі 5644 тис. т з цукрового буряка

1970 — 5973 тис. т, у тому числі 5069 тис. т з цукрового буряка

1975 — 6035 тис. т (у тому числі 4679 тис. т. з цукрового буряка),

1978 — 6900 тис. т. (у тому числі 3743 тис. т. з цукрового буряка);

З 1982 р. знову почалося зростання — 6 608 тис. т (4 254), найвищі числа в історії українського цукровиробництва. Однак, не зважаючи на помітне зростання врожайності і збору цукрового буряка, а також на розширення виробничих потужностей цукроварень, обсяг виробництва цукрової

промисловості збільшився неістотно. Так, середньорічна продукція цукру з цукрових буряків в УРСР становила у 1976-1980 рр. 4 млн т (проти 4,3 млн т у 1961-1965), тоді як обсяг переробки цукрових буряків зріс за цей час до 13 млн т. Основна причина цього явища — зменшення врожайності і цукристости цукрових буряків, погіршення їх технологічних вартостей, підвищення втрат цукру у процесі зберігання та нерідко нераціональний транспорт і переробка бурякової сировини. Внаслідок всього цього продукція цукру на 1976-1980 рр. знизилася з 13,7% до 10,6% від загальної маси цукрових буряків.

Географічне розміщення цукрової промисловості і тепер в основному покривається з розміщенням цукрового буряка.

Найбільше розвинена цукрова промисловість у Вінницькій, Черкаській, Хмельницькій, Київській, Сумській, Полтавській та Харківській, Кіровоградській і Одеській областях.

Цукор-пісок переробляється на рафінад на 15 рафінадних заводах (найбільші — Сумський і Одеський) і в 12 рафінадних цехах. Почавши з 1960-х рр., у зв'язку з зменшенням його споживання, виробництво рафінаду скоротилося.

## 1.2. Стан цукрової промисловості України

Незважаючи на високі показники виробництва сектору в радянські часи (Україна була найбільшим виробником цукру та, як наслідок, цукрового буряку у колишньому СРСР), перехід до ринкової економіки став справжнім викликом для виробництва бурякового цукру. Із втратою ринків на теренах колишнього СРСР та обмеженої міжнародної конкурентоспроможності з початку перехідного періоду виробництво цукрового буряку знизилося.

Однак цей спад не був постійний. Після найнижчого врожаю 2000<sup>го</sup> року сектор дещо покращив свої показники, однак досі немає чітких позитивних тенденцій. Тим не менш, повільне скорочення посівних площ і збільшення врожайності свідчить про деякі позитивні структурні зрушення в секторі.

Можна зробити висновок, що, в подальшому, тенденція поступового укрупнення компаній виробників цукру зберігатиметься і по кількості заводів, що їм належать і по частці виробленого цукру з одночасним зменшенням загальної кількості неефективних заводів.



Рисунок 1.1 – Кількість працюючих цукрових заводів в сезоні

### 1.3. Технологічна лінія виробництва цукру-піску з цукрового буряку

Сучасні заводи, що виробляють цукор (цукор-пісок та цукор-рафінад), являють собою великі підприємства, що переробляють у добу тисячі тон буряка. Вони добре механізовані, майже всі операції автоматизовані.

Буряк – це рослина родини маревих, її хімічний склад обумовлений якістю насіння та кліматичних умов, його можна представити схемою (див. схема 1.1).

У коренеплоді цукрового буряка міститься близько 75% води та 25% сухих речовин, які в цукровому виробництві умовно ділять на сахарозу та нецукри.

Вміст сахарози у буряку, або цукристість, може складати 15-22% і в середньому складає 17,5%.

Цукор-пісок та цукор-рафінад, що виробляється з цукрового буряка, являє собою майже чисту сахарозу; так, цукровому піску сахарози міститься 99,75% сухих речовин, а в цукрі-рафінаді – не менш ніж 99%.

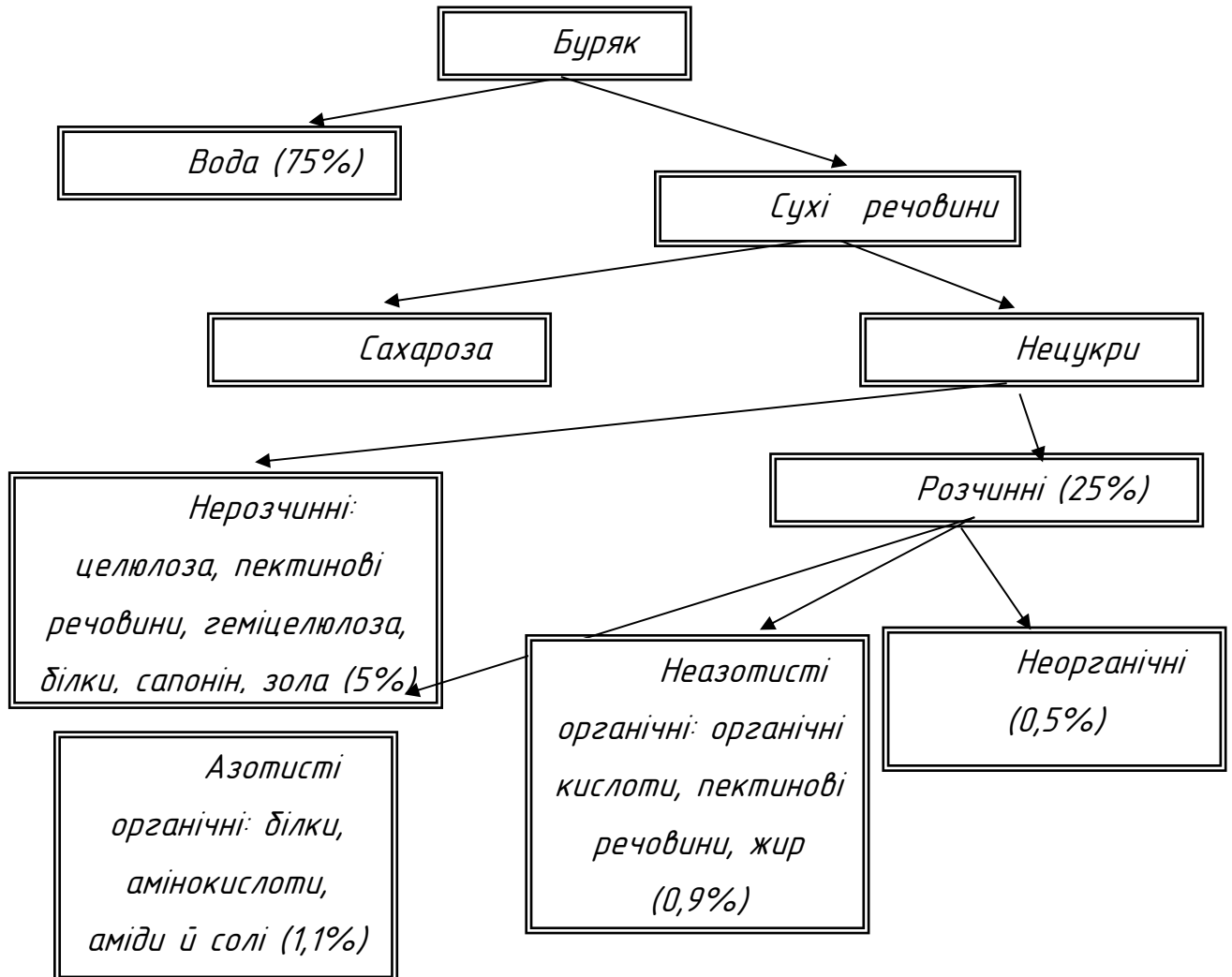


Рисунок 1.2 – Хімічний склад цукрового буряка



Взагалі, весь технологічний процес виготовлення цукру з цукрового буряка можна поділити на такі етапи: приймання, первинна обробка чи підготовка сировини; теплова обробка; пакування та зберігання.

**Приймання.** При прийманні цукрового буряка визначають відповідність до вимог ДСТУ по фізичному стану, зрілості, загальній забрудненості і залежно від цього укладають в кагати на зберігання. Частково пошкоджений (гризунами або механічними ушкодженнями) цукровий буряк одразу направляють на переробку.

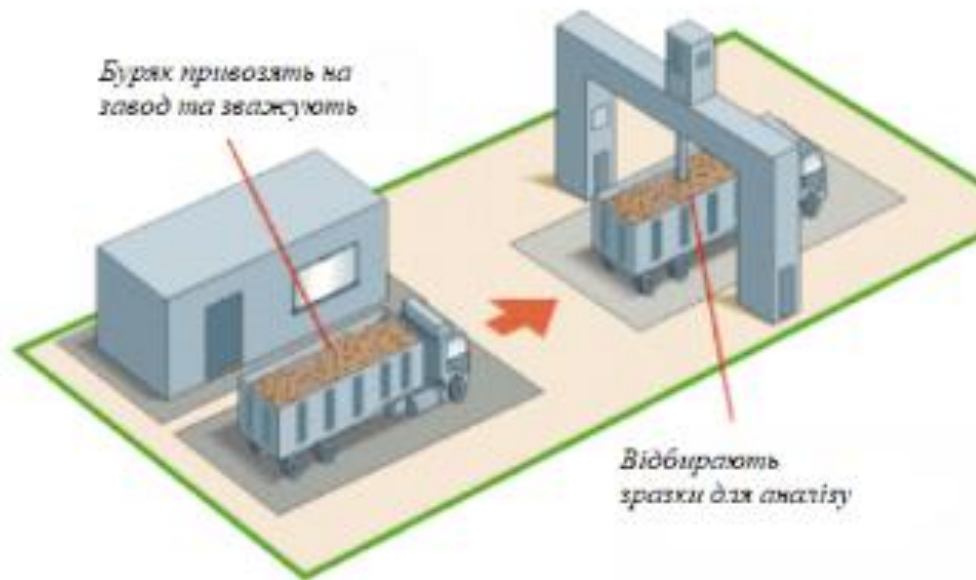


Рисунок 1.3 – Приймання буряка на цукровий завод

**Доставка на завод, відділення домішок.** З бурачної на виробництво цукровий буряк подається за допомогою води по гідравлічному транспортеру. Він уявляє собою жолоб із заліза, бетону, цегли, що під кутом направлений в сторону заводу. До жолобу гідравлічного транспортеру буряк змивається водою під надлишковим тиском 0,2-0,3 МПа за допомогою гідрантів і з водою доставляється на завод. Витрата води складає 600-700% до маси буряка.

Буряк, що надходить на переробку, містить 5-10% домішок у вигляді піску, каменів, землі. Відділенню домішок на заводі придається велике значення, оскільки вони потрапляють в устаткування, погіршують роботу

бурякорізок, знижують якість дифузійного соку і призводять до різкого збільшення втрат цукру. Відділення домішок починається в гідротранспортері, який має спеціальні ловушки (пісколовушки, каменеловушки і т.д.).

При русі буряководяної суміші по гідравлічному транспортеру відбувається відділення буряку та домішок по висоті потоку внаслідок різної щільності. Важкі домішки (камені та пісок) занурюються на дно транспортера. Вище в потоці переміщується буряк, який має щільність близьку до  $1000 \text{ кг/м}^3$ , що дозволяє підтримувати буряк у зваженому стані.

**Мийка та зважування буряка.** При переміщенні буряка по гідравлічному транспортеру частина механічних домішок відділяється, але залишаються домішки у вигляді землі, що прилипла до коренеплодів. Для їх видалення буряк подається в мийне відділення заводу. Процес мийки повинен проводитися дуже ретельно, оскільки залишки домішок погіршують якість роботи устаткування і якість дифузійного соку. Мийні ємності представляють собою корита, що наповнені водою, в яких є вали з кулаками. Кулаки утворюють гвинтову лінію і виконують роль шнека. Під час переміщення буряка відбувається відділення домішок. Машини для мийки буряка мають пісколовушки та каменеловушки.

Після мийки буряк піднімають у верхнє відділення на висоту 20 метрів, для забезпечення гравітаційного опускання на автоматичні ваги та бурякорізки.

**Подрібнення в стружку.** Цукор з буряка отримують дифузійним способом. Для цього буряк подрібнюють в тонку стружку пластинчатої форми. Товщина стружки не повинна перевищувати 0,5-1 мм, ширина – 2,5-3 мм.

Якість стружки впливає на роботу дифузійної установки. Далі бурячна стружка переміщуються у відділення для отримання дифузійного соку.

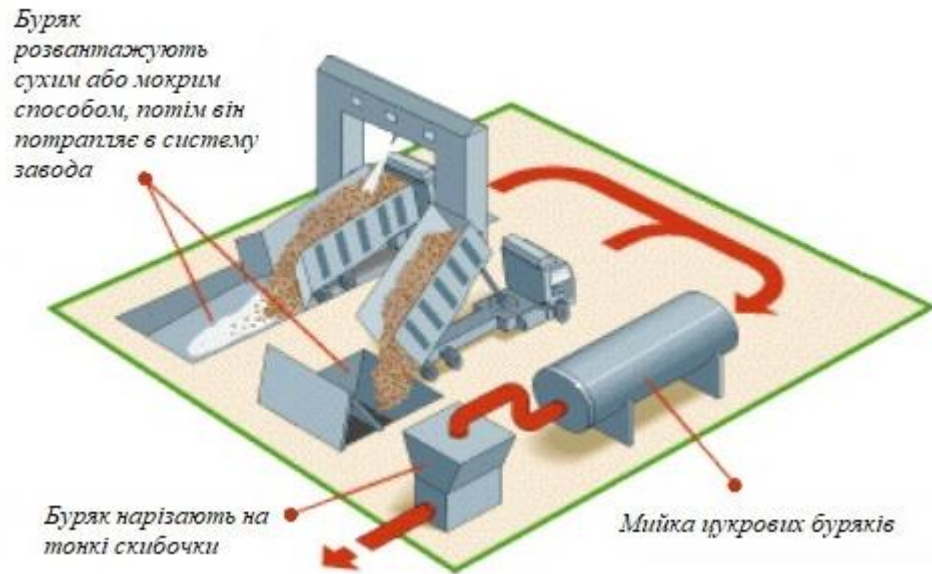


Рисунок 1.4 – Потраплення буряка в систему заводу

**Отримання дифузійного соку.** Дифузія - це процес вивільнення із складної речовини одного чи декількох компонентів під дією розчинника (екстрагента), що має вибіркову здатність розчиняти лише ті компоненти, що необхідні для екстрагування. Ціль дифузійного процесу в цукровому виробництві – видобути із стружки буряка максимально можливу кількість сахарози. Для цього перш за все необхідно нагріти стружку до температури денатурації протоплазми бурячних клітин. Процес такої термічної обробки називають обшпарюванням.

В цукровому виробництві дифузійний процес уявляє собою складний комплекс. Спочатку відбувається дифузія цукру з розірваних при розрізанні буряка в стружку клітин (вільна дифузія), потім починається проникнення води в клітинний сік (осмос) і після нагрівання стружки до 60<sup>0</sup>C (обшпарювання) починається основний процес вивільнення цукру з вакуолею клітин буряка дифузійний сік (діаліз).

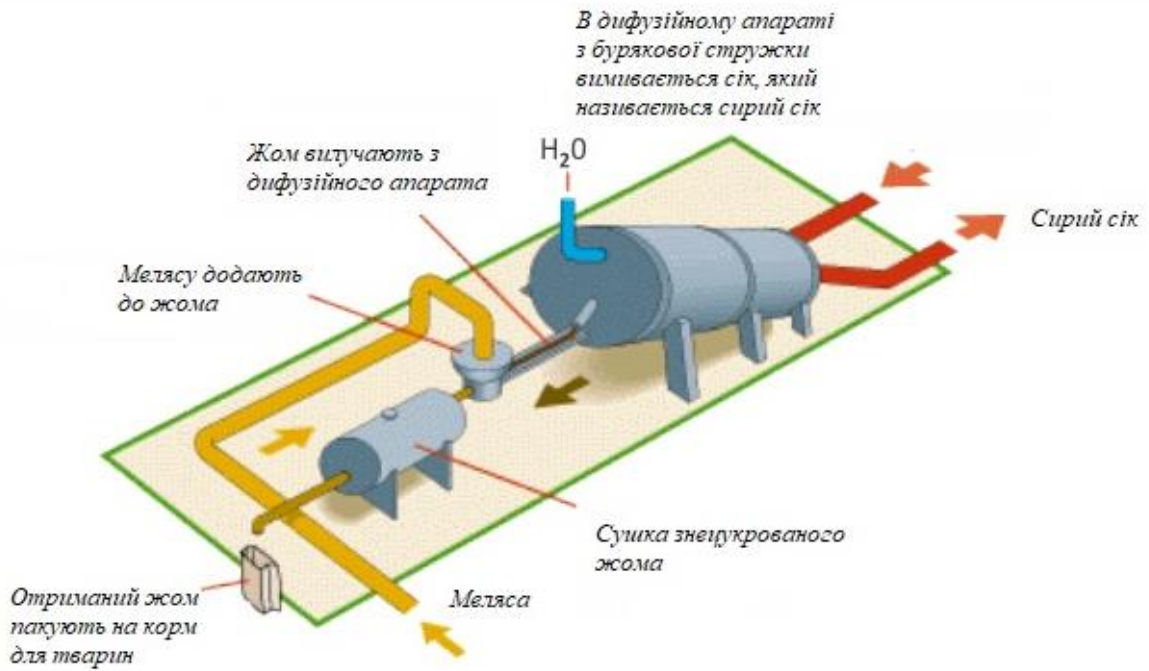


Рисунок 1.5 – Отримання дифузійного соку

Процес отримання дифузійного соку має ряд природніх обмежень. Відбір соку складає 115-130%, тобто зі 100 кг стружки добувають 115-130 кг соку. При більшому відборі збільшуються витрати води на знецукрення стружки і збільшуються витрати палива та електроенергії на випарювання зайвої води при згущенні соку. В активній частині дифузійної установки підтримують температуру 70-75°C. Оскільки при  $t > 75^{\circ}\text{C}$  відбувається набухання пектинових речовин, і знижується щільність стружки, а при  $t < 70^{\circ}\text{C}$  інтенсивно розвиваються мікроорганізми, що призводять до псування стружки.

**Очищення дифузійного соку.** В процесі дифузії зі 100 кг цукрового буряка отримують 115-130 кг дифузійного соку, який містить 16-17% сухих речовин, з них 14-15% складає сахароза, а 1-2% нецукристі речовини.

Дифузійний сік майже чорного кольору, дуже піниться, має кислу реакцію (рН 6,0-6,5, містить кліткову тканину, розчинні нецукри, що заважають кристалізації сахарози й збільшують її втрату з меласою.

Все це робить неможливим отримувати з нього цукор шляхом безпосереднього випарювання води і кристалізації сахарози й вимагає очищення соку. Взагалі очищення відбувається в декілька стадій:

1. дефекація – обробка соку вапном;
2. перша сатурація – обробка соку діоксидом вуглецю для видалення залишків вапна; фільтрування
3. друга сатурація;
4. фільтрування
5. сульфитація – обробка соку сірчанним газом.

1. Дефекація. При дефекації відбувається нейтралізація фосфорної, щавелевої, лимонної, винної та інших кислот й їх осадження у вигляді нерозчинних солей кальцію.

При дефекації створюються оптимальні умови для утворення щільного осаду, що добре фільтрується. Сік оброблюють вапняним молоком з розрахунку загальної витрати вапна в перерахунку на CaO 2,5% до загальної маси буряка. Температура процесу дефекації має становити 88-90<sup>0</sup>C протягом 10 хвилин.

Дефекація проводиться в дефекаторі, що представляє собою циліндричну посудину з конічним дном. Усередині дефекатора є вал з лопатною мішалкою і 4 контрлопаті, що визивають енергійне перемішання сока з вапняним молоком. Дифузійний сік і вапняне молоко поступають в нижню частину дефекатора, перемішуються й через верхній патрубок направляються на наступну стадію.



Рисунок 1.6 – Очищення дифузійного соку

2. Перша сатурація. Одразу після дефекації сік разом з осадом потрапляють в сатуратор, де через нього продувають сатураційний газ, що містить 30-36% CO<sub>2</sub>. В соці, що надходить на першу сатурацію, близько 10% вапна знаходиться в розчині, а 90% - у вигляді осаду. При продування CO<sub>2</sub> майже все вапно випадає в осад у вигляді вуглекислого кальцію (CaCO<sub>2</sub>). Чим більше утворюється CaCO<sub>2</sub> і чим менше його часточки, тим повніше відбувається очищення соку. Кінцева лужність соку першої сатурації складає 0,08-0,1% CaO, що відповідає рН=11.

Перша сатурація відбувається в протитічному сатураторі – циліндричній посудині з конічним дном та розширеною верхньою частиною, для того, щоб сік не пінився. Дефекований сік подається зверху, а насичення газом відбувається при подачі його знизу. Чим більша швидкість сатурації, тим менше часточки осаду і вище їх адсорбційна здатність. Сатурацію проводять при температурі 80-85<sup>0</sup>С протягом 10 хвилин.



Відсатурований сік відводиться з нижньої частини сатуратора через контрольний переливний бак, який ділиться на два потоки – один повертається на дефекацію, а другий – на фільтрування.

3. Друга сатурація. На другу сатурацію потрапляє добре відфільтрований сік першої сатурації для подальшого видалення вапна та солей кальцію, присутність яких погіршує процеси варіння соку, призводить до утворення накипу на стінках випарних апаратів, збільшує втрату цукру.

Для розкладення  $\text{CaCO}_2$  і утворення  $\text{CaCO}_3$  II сатурацію ведуть при температурі кипіння соку  $101-102^\circ\text{C}$  протягом 10 хвилин.

Апарати II сатурації практично не мають розширення верхньої частини, оскільки помітного спізнення не відбувається.

4. Фільтрування соку. Сік у процесі очищення фільтрують декілька разів: після I та II сатурації, а також фільтрують сироп після згущення соку у вакуум-апаратах.

Фільтрування соків після I та II сатурації проводять для видалення часточок, що не випали в осад. Сік I сатурації має вміст твердих часточок близько 5%, сік II сатурації – 0,05%.

Рушійною силою фільтрування є різниця тисків по обидві сторони фільтрувальної перегородки. При цьому на одній стороні перегородки повинен бути надлишковий тиск або вакуум, а на іншій – атмосферне. Максимальним надлишковим тиском для сатурації є тиск у  $0,3-0,4$  МПа.

5. Сульфітація соку. Останньою стадією очищення дифузійного соку є сульфітація, тобто обробка соку діоксидом сірки. Ціль сульфітації – знебарвлення соку, а також його знезараження.

Сульфітація соку проводиться в зрошувальних сульфітаторах. Коефіцієнт використання діоксиду сірки складає 98%, оптимальне значення рН сульфітаційного соку – 8,5-8,8.

Не дивлячись на достатньо складний комплекс дій по очищенню дифузійного соку, виходить відділити лише 35-40% нецукрів соку. Інші 60-65% переходять в меласу, знижуючи вихід цукру.

**Згущення соку до сиропу.** Отриманий очищений сік містить 15-16% сухих речовин, з яких 14-15% складає сахароза. Щоб виділити сахарозу необхідно згустити сік і отримати перенасичений цукром розчин. Цю операцію проводять у два етапи: спочатку сік згущують до вмісту сухих речовин 65%, при якому сахароза не кристалізується. Після повторного очищення сік повторно концентрують (випарюють) до вмісту сухих речовин 92,5-93,5%. Всього при згущенні з очищеного соку видаляють 110-115% води до маси буряка. Розділення процесу згущення на два етапи – згущення соку випарюванням та варіння утфеля – викликано тим, що на першому етапі процес ведуть із застосуванням багатокорпусних апаратів, що дозволяє знизити питомі витрати палива майже в 2,5 рази.

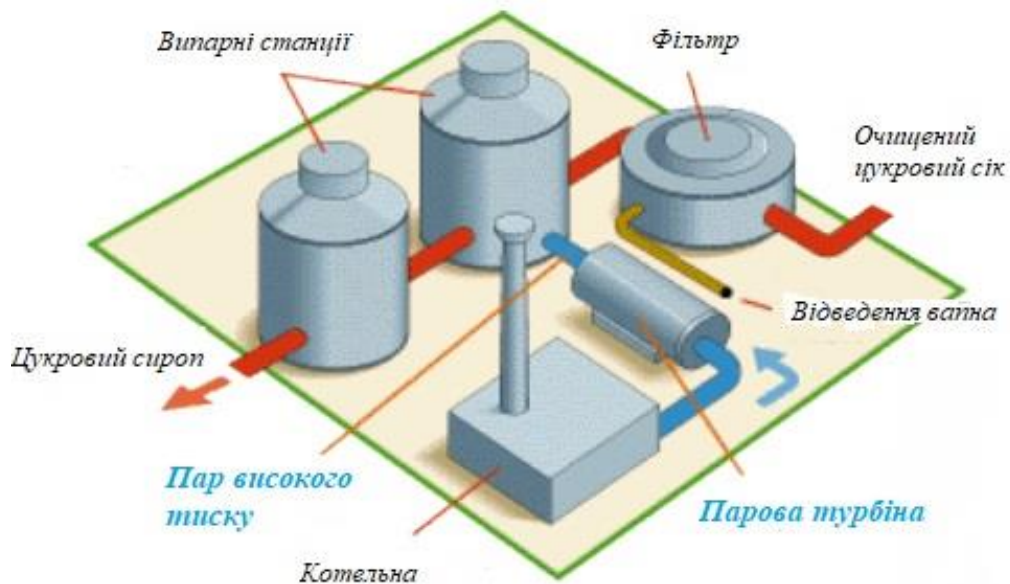


Рисунок 1.7 – Згущення соку до сиропу

Після згущення сиропу до вмісту сухих речовин 65% проводять його очищення. Очищений сироп направляють у вакуум-апарати для отримання й варіння утфеля.



**Уварювання сиропу та відтік до утфелів, отримання кристалічного цукру.** Очищений сироп, що містить 65% сухих речовин, потрапляє на подальше уварювання. Продукт, який отримали після уварювання сиропу, називають утфелем і містить близько 7,5% води і близько 55% цукру, що кристалізувався.

Уварювання утфеля проводять періодично в вакуум-апаратах у чотири стадії:

1. згущення сиропу до перенасичення розчину;
2. заведення кристалів цукру (утворення центрів кристалізації сахарози);
3. нарощування кристалів цукру;
4. кінцеве згущення та спуск утфеля.

Згущення сиропу в вакуум-апаратах починають при залишковому тиску 0,02 МПа при низькій температурі кипіння 67-70<sup>0</sup>С, щоб попередити

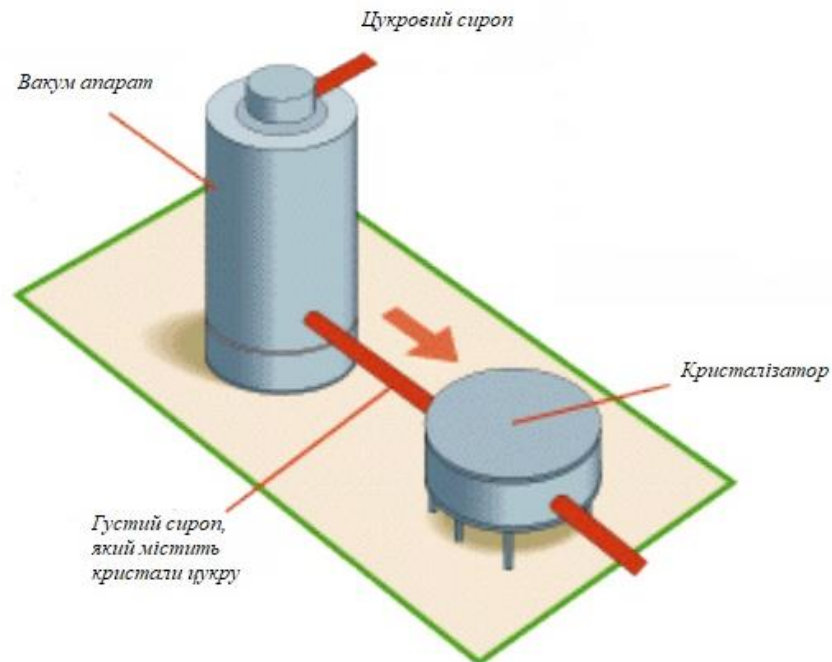


Рисунок 1.8 – Уварювання утфеля

карамелізацію сахарози. По мірі згущення сиропу до 80-82% сухих речовин температура його кипіння підвищується до 73-75<sup>0</sup>С.

Своєчасне введення кристалів і своєчасне зупинення їх утворення має важливе значення. Тому, як тільки в утфелі з'являється достатня кількість центрів кристалізації, введення зупиняють. Подальше нарощування (збільшення розмірів) кристалів ведуть при залишковому тиску 0,02 МПа при температурі 75<sup>0</sup>С.

Коли кристали сахарози досягнуть необхідної величини, утфель доводять до максимально можливої концентрації сухих речовин 92,5%, при цьому його температура не повинна перевищувати 75<sup>0</sup>С.

### *Центрифугування утфеля, відбілення та сушка цукру-піску.*

Уварений туфель одразу ж центрифугується. Для цього використовують автоматизовані центрифуги. Центрифугування відбувається під дією центробіжної сили. На поверхні кристалів цукру залишається тонка плівочка, що надає кристалам жовтуватого кольору. Щоб видалити її, тут в центрифугу ведуть очищення артезіанською водою (витрати 3-3,5% до маси утфеля).

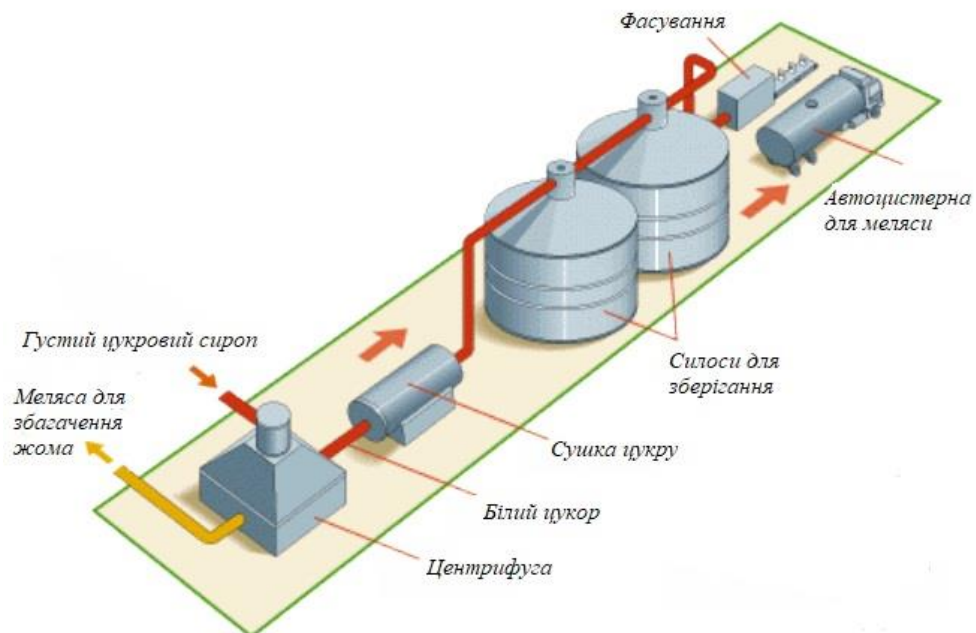


Рисунок 1.9 – Сушка цукру

Цукор-пісок після центрифугування має вологість 0,8-1,2%.

Для сушіння цукру-піску використовують апарат з двома барабанами, що обертаються. Всередині, на стінках, закріплені залізні лопатки. При обертанні барабанів цукор-пісок пересипається й пересувається по барабану.

До першого сушильного барабану вентилятором подається гаряче повітря. До другого – очищене холодне повітря для охолодження цукру-піску. Охолоджений цукор-пісок направляють на упаковання.

### ***Пакування***

Згідно ДСТУ 21-94 пакування цукру відбувається механізованим способом.

Цукор-пісок фасують в паперові або поліетиленові пакети масою нетто 0,5 та 1,0 кг. Допустимі відхилення від середньоарифметичного значення маси нетто пакетів з цукром не повинні перевищувати  $\pm 2,0\%$ .

Цукор-пісок фасують в пакетики з художнім оформленням масою нетто 5-20 г, які виготовлено з комбінованого матеріалу (папір з поліетиленовим покриттям) за діючою нормативною документацією або з імпортного паперу, рівнозначному за показниками якості і дозволенім до застосування органами охорони здоров'я.

Допустимі відхилення від середньоарифметичного значення маси нетто не повинно перевищувати  $\pm 3,0\%$ .

Поліетиленові пакети повинні бути виготовленні з поліетиленової плівки, що дозволена до застосування органами охорони здоров'я, за ДСТУ 10354, паперові – з двох шарів паперу: внутрішнього та зовнішнього. Для внутрішнього шару застосовують папір марки Д та Е-П для упакування продуктів на автоматах за ДСТУ 7247, папір для обгортання марки В та Д за ДСТУ 8273, етикетний папір марки А за ДСТУ 7625 або інші рівнозначні за показниками якості марки паперу, що дозволені до застосування органами охорони здоров'я. Маса паперу площею 1 м<sup>2</sup> повинна бути не менше 70 г.

Також цукор-пісок пакують масою нетто 50 кг:

- в нові тканні мішки за ДСТУ 8516 і рівнозначні за показниками якості мішки, що дозволені до застосування органами охорони здоров'я, що забезпечують зберігання продукції;

- в сухі чисті тканні мішки, що повертаються, першої та другої категорії;
- в тканні мішки з вкладишами – поліетиленовими товщиною не більше 0,100 мм, розміром 109 см х 59 см за ДСТУ 19360.

Допускається використовувати мішки третьої категорії та імпорتنі мішки, що не мають сторонніх запахів і дозволені до застосування органами охорони здоров'я. Цукор не повинен просипатися крізь тканину мішків.

Цукор-пісок також пакують масою нетто 1,0 т в м'які спеціалізовані контейнери типу МКР-1,0С за діючою нормативною документацією, з поліетиленовими вкладишами з плівки за ДСТУ 10354 марки 108-06 харчова.

На кожен мішок з цукром повинен бути прикріплений ярлик з відходів білої або світлої тканини суворого льняного полотна, синтетичного нетканого матеріалу на основі лавсану, розміром 9 см х 5 см. Ярлик накладається на горловину мішка й прошивають одночасно з мішком.

### ***Зберігання***

Згідно ДСТУ 26907 тривалому зберіганню підлягає цукор-пісок та цукор-рафінад, упаковані в тару або без пакування.

Строки зберігання цукру в упаковці встановлюють для цукру-піску:

на складах, що отоплюються – до 8 років,

на складах, що не отоплюються – від 1,5 до 4 років, залежно від кліматичних умов та виду тари.

Строки зберігання цукру в упаковці встановлюють для цукру-рафінаду:

на складах, що отоплюються – до 8 років,

на складах, що не отоплюються – до 5 років.

Температура цукру, що тривало зберігається, не повинна перевищувати 25°C.

Цукор зберігають окремо від харчів, що можуть зіпсувати його якість.

#### 1.4. Огляд конструкцій вакуум апаратів

Вакуум-випарні установки застосовуються для згущення цукрових соків.

Мета випарювання - концентрування сухих речовин згущуваної рідини шляхом видалення з неї частину води випаровуванням. При випарюванні співвідношення між окремими компонентами рідини зберігається. Рухливою силою випарювання є різниця температур теплоносія (гріє пара) і кипіння продукту, що концентрується.

Багатокорпусні випарні установки дозволяють більш економічно використовувати теплоту завдяки багаторазовому використанню пара і знижувати кількість випарованої води в останньому корпусі. Сік згущують в випарних установках, які є споживачами відпрацьованої пари і одночасно генераторами пара для технологічних потреб. У них пар більш високого потенціалу перетворюється в пар зі зниженим тиском і температурою, який потім використовується для нагрівання різних проміжних продуктів.

Випарні установки класифікують: по тиску вторинної пари в останньому корпусі (що працюють при надлишковому тиску і під вакуумом) і по числу корпусів (трьох-, чотирьох- і п'ятикорпусний). При цьому випарні установки компонують з вертикальних випарних апаратів з природною циркуляцією соку, мають номінальну площу поверхні теплообміну: 500, 600, 800, 1000, 1180, 1500, 1800, 2120, 2360, 3000 і 4500 м<sup>2</sup>.

Вакуум-апарати працюють при тиску нижче атмосферного і призначені для уварювання утфеля. Форма корпусу вакуум-апарату залежить від його конструкції і буває циліндричної (з розширеною верхньою частиною), сферичної або прямокутної з напівкруглої кришкою. Гріючі камери вакуум-апаратів можуть мати різну конструкцію. Найбільшого поширення набули вакуум-апарати з підвісними гріючими камерами, верхні і нижні трубні решітки яких мають різну конфігурацію (конічні, сферичні, двоххилі і ін.).

Пара поступає в міжтрубний простір гріючих камер, а уварюваний продукт переміщається всередині труб.

Діаметр гріючої камери в більшості конструкцій вакуум-апаратів менше діаметра корпусу апарату, таким чином, між стінками гріючої камери і корпусом вакуум-апарату утворюється кільцевий простір, по якому циркулює утфель.

Сепаруючі пристрій в вакуум-апаратах, так само як і в випарних апаратах, призначені для відділення від вторинного пара крапель продукту. Так як в вакуум-апаратах продукт має велику в'язкість, то використовуються сепаратори тільки інерційного типу, які встановлюються над утфельним простором у верхній частині корпусу апарату.

Утфель уварюється при температурах  $70 \dots 80 \text{ }^\circ \text{C}$  при залишковому тиску в надутфельном просторі апаратів близько  $0,015 \text{ МПа}$ . Перепади температури в вакуум-апаратах складають  $30 \dots 50 \text{ }^\circ \text{C}$  при обігріві парових камер вторинним паром випарних установок і близько  $80 \text{ }^\circ \text{C}$  при обігріві свіжим паром.

**Випарний апарат типу ВАГ** (рисунок 1.10) являє собою циліндричний корпус 3 звареної конструкції, всередині якого встановлені гріюча камера 4 і сепаратор 1 для уловлювання крапель випарюваного продукту. Внизу корпус має знімне днище 6, на якому розміщені люк 15 і патрубок для спуску 16.

У циркуляційній трубі 9 парової камери змонтовані напрямна воронка 10 і труба 8 з воронкою для відводу згущеного соку з апарату. Пар в гріючу камеру 4 підводиться через вісім штуцерів 5, розташованих в два яруси. Для кращого розподілу пари в міжтрубному просторі гріючої камери влаштовані проходи. Гази, що не конденсуються, відводяться з верхньої частини гріючої камери за допомогою розгалуженої системи труб 11.

Сік, що надійшов в апарат через патрубок 17, направляється кільцевим розподільником 7 в кип'ятільні трубки. Викинутий з кип'ятільних трубок на верхню трубну гратку сік стікає по направляючої воронці 10 в соковідвідну трубу 8. Так як остання внаслідок гідравлічного опору або відповідного

регулювання потоку не може пропустити всю кількість соку, частина соку стікає по циркуляційній трубі 9 і знову піднімається по кипятильним трубках.

Апарат забезпечений сепаратором 1 інерційного типу. Пара з сепаратора видаляється через патрубки 2 і 14, а відокремлені краплі продукту - через систему труб 13. Для спостереження за рівнем соку в апараті є оглядові скла 12. Апарати даної конструкції виготовляються з площею поверхні нагріву 1500, 1800, 2120 і 3000 м<sup>2</sup>.

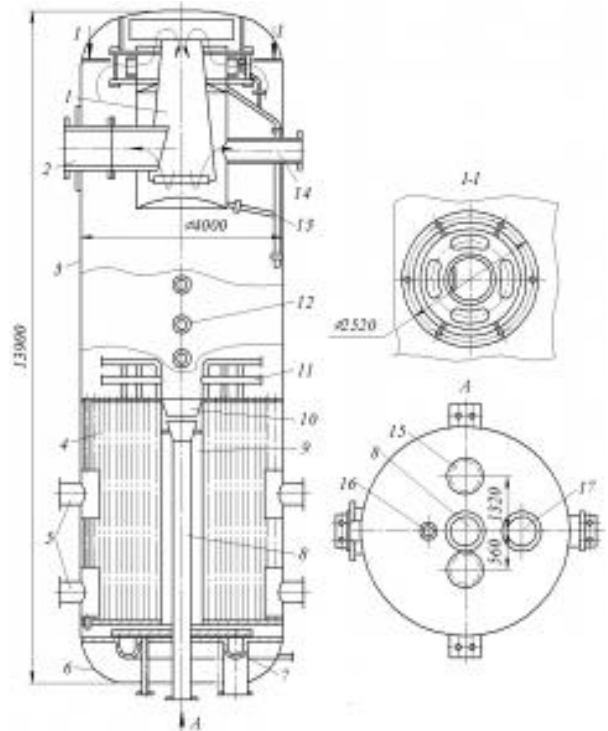


Рисунок 1.10 – Випарний апарат типу ВАГ

#### Технічна характеристика апарату типу ВАГ

Площа поверхні нагрівання, м <sup>2</sup> .....	3000
Максимальний тиск при гідравлічному випробуванні, МПа:	
в грійочій камері .....	0,6
в корпусі апарату .....	0,25
Число трубок, шт .....	7024
Довжина трубок, мм .....	4395
Діаметр трубок, мм .....	31/33
Маса апарату, кг .....	73 000
Маса апарату з продуктом, кг .....	183 400



### Випарний апарат ВЦ-1500

Випарний апарат ВЦ-1500 (рис.1.11 а)) складається з тих же вузлів, що і апарат ВАГ. У верхній частині апарату встановлений фланець 1, а в середній - опора 12. Трубні решітки 6 і 9 парової камери плоскі, двосхилі з нахилом 1: 20 до зовнішніх стінок корпусу апарату 5. Нахил нижньої трубної решітки забезпечує повне відведення конденсату з гріючої камери 8, верхньої решітки - швидкий стік циркулюючого соку в циркуляційні труби 7. За рівнем соку спостерігають через оглядове скло 4. Апарат забезпечений сепаратором 2, пар з якого видаляється через вентиль 3.

Циркуляційні труби 7 встановлені поза корпусу апарату, що дозволяє в апараті того ж діаметру розмістити велику поверхню нагріву. Апарати з площею поверхні нагріву 1500 і 1800 м<sup>2</sup> мають по дві циркуляційні труби, 2120 і 2360 м<sup>2</sup> - по чотири. Сік надходить в нижню частину апарата до днища 11. Сироп відводиться з апарату через штуцери 10, розташовані в нижній частині циркуляційних труб.

Підведення пара в гріючу камеру 8 здійснюється через кілька патрубків, розташованих по висоті камери з двох сторін. Аміачні гази видаляються через відтягнення, розташовані над верхньою трубної ґратами в найвищій точці.

Для збільшення площі поверхні нагрівання в апараті трубна решітка максимально заповнена трубками. Залишений тільки один центральний канал для введення і розподілу пара. Крок трубної решітки прийнятий рівним 43 ... 45 мм.



### Випарний апарат ВЦ-2120

Випарний апарат ВЦ-2120 (рисунок 1.11) має загальний циліндричний

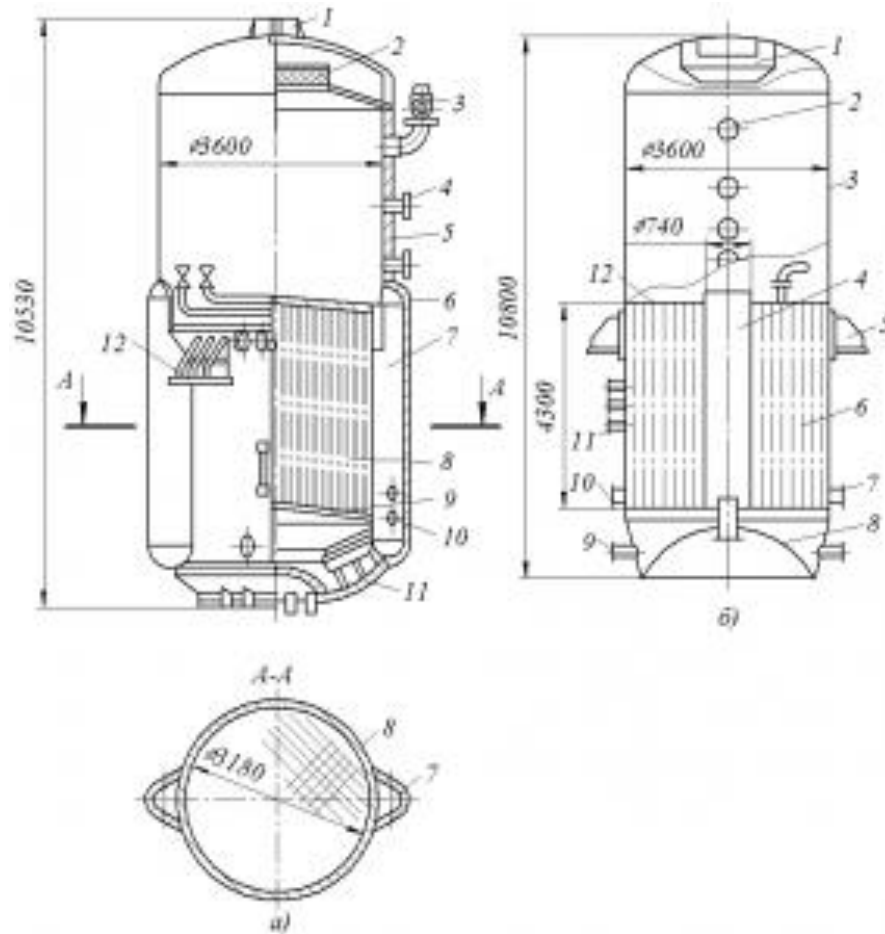


Рисунок 1.11 Випарний апарат типу ВЦ: а - з виносними циркуляційними трубами; б - з внутрішньої трубою, корпус 3, в нижній частині якого розташована гріє камера 6 з центральною трубою 4.

Трубні решітки 10 і 12 гріючої камери розташовані горизонтально.

У верхній частині апарату розміщена пастка 1 і встановлені оглядові вікна 2. У середній частині знаходиться опора 5, а в нижній (ближче до днища 8) - штуцери 7 для відведення конденсату, штуцер 9 для підведення соку і штуцер для підведення пари.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика випарних апаратів типу ВЦ

Показник	ВЦ- 1500	ВЦ- 2120
Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup>	1500	2120
Внутрішній діаметр корпусу, мм	3600	3600
Число кип'ятильних трубок, шт	4154	4992
Довжина кип'ятильних трубок, мм	4300	4300
Діаметр кип'ятильних трубок, мм	31/33	31/33
Робочий тиск, МПа:		
в паровій камері	0,3	0,3
в корпусі апарату	0,3	0,3
Маса, кг	35800	44460

Випарні апарати типу ВЦ випускаються з площею поверхні теплообміну 1500, 1800, 2120 і 2360 м<sup>2</sup>.

### **Плівковий прямоточний випарний апарат ВАПП-1250**

Плівковий прямоточний випарної апарат ВАПП-1250 показаний на рис.1.12, а. Сік, підігрітий до температури кипіння, надходить в приймальну камеру 7, потім в трубки 6, де закипає, і разом з утвореним паром рухається вгору 4. Пройшовши сепаруючий пристрій 2 і надставку 3, де від соку відділяється пар, сік далі через розподільний пристрій 13 надходить в кип'ятильні трубки 5 плівковою частиною апарату і у вигляді тонкої плівки стікає по внутрішній поверхні.

Пара, що утворилася разом зі згущеним соком надходить в нижній сепаратор 9. Вторинний пар по системі труб 12 з сепараторів 1 і 9 відводиться через зливний патрубок 8 в наступний корпус. Апарат відповідає технологічним і теплотехнічним вимогам, що пред'являються до випарним апаратів, і має кращі показники, ніж досягаються в типових апаратах з

природною циркуляцією. Час перебування соку в тонкоплівковому апараті значно менше, ніж в типових. Апарат може ефективно працювати при малій корисній різниці температур. Відсутні втрати корисної різниці температур від гідростатичного тиску внаслідок вільного стікання плівки випарюваного розчину.

На рис. 1.12, б представлені схеми зрошувальних пристроїв з кільцевих водозливом різної конструкції: з кільцевих водозливом 1, з розподільними дисками 2, з циліндричними вставками 3 і з трубними ґратами 4.

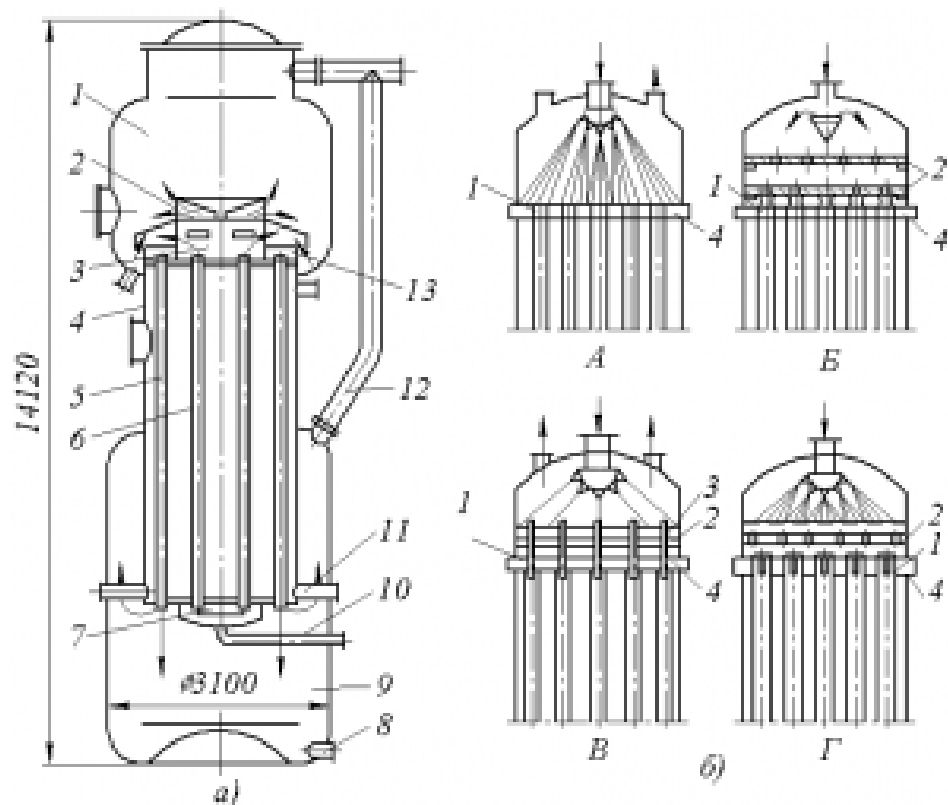


Рисунок 1.12 - Випарний апарат ВАПП-1250: а - схема апарату; б - схеми зрошувальних пристроїв випарних апаратів; А - зрошення за принципом кільцевого водозливу; Б - кільцевої водозлив з розподільними дисками; В - кільцевої водозлив з розподільними дисками і циліндричними вставками; Г - зрошення при наявності стовпа рідини на розподільному диску і трубної решітці

Технічна характеристика плівкового прямоочного випарного апарату

ВАПП-1250

Площа поверхні нагрівання, м <sup>2</sup> .....	1250
Повна довжина трубок поверхні нагрівання, мм .....	7000
Діаметр випарної трубки, мм .....	30/33
Робочий тиск в паровій камері, МПа .....	0,3
Робочий тиск в соковому просторі, МПа .....	до 0,3
Габаритні розміри, мм:	
висота .....	14 120
діаметр корпусу .....	.. 3100

**Випарні установки бурякоцукрових заводів**

Випарні установки вітчизняних цукрових заводів - чотирикорпусні, у яких перші три корпуси працюють під тиском, а останній четвертий і концентратор - під розрідженням. На малюнку 1.13 представлена схема чотирикорпусний випарної установки з концентратором, що працює під зменшеним розрідженням.

Сульфітований очищений сік перед згущенням нагрівають під тиском в багатоходових теплообмінниках 27 і 28 до температури кипіння (126 ° С) і направляють в I корпус (2) випарної установки, де з нього випаровується частина води. З I корпусу сік послідовно переходить в II (3), III (4), IV (5) корпусу і концентратор 6, де він згущується до щільності сиропу 63 ... 65% СВ. Сироп змішують з клеровкою цукру II і III кристалізації, сульфітують, нагрівають до 85 ... 90 ° С, фільтрують і подають на уварювання утфелю I кристалізації.

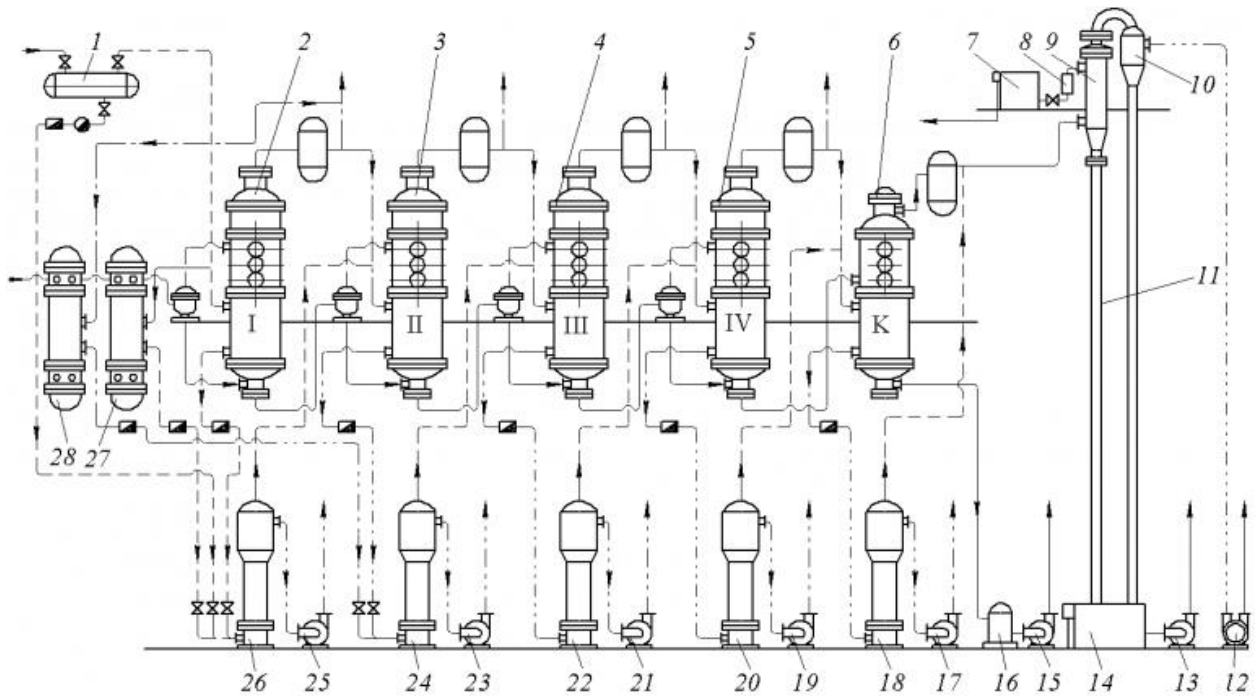


Рисунок 1.13 – Принципова схема чотирикорпусний випарної установки з концентратом

Для обігріву I корпусу і теплообмінників соку останньої групи перед випарною установкою використовують відпрацьовану пару парових турбін і редукує пар парових котлів, суміш яких відбирають з парозбірника 1. Перегрів технологічного пара ліквідують, розпорошуючи воду в потоці перегрітого пара.

Відпрацьована пара надходить тільки в парову камеру I корпусу, а наступні корпуси обігріваються вторинним паром попередніх корпусів, який попередньо звільняється в сепараторах від крапель соку. У концентраті 6 відбувається самовипаровування води за рахунок перепаду тиску. Надлишок вторинного пара з IV корпусу надходить в парову камеру концентратора. Частина вторинного пара з корпусу I можна повернути за допомогою пароструйного насоса 25 в парозбірник 1 і використовувати в якості пари, що гріє в I корпусі. Конденсат технологічного пара збирається в гідроколонки 18, 20, 22, 24 і 26, а потім насосами 17, 19, 21, 23 і 25 направляється в ТЕЦ для живлення парових котлів.

Багаторазове використання теплоти пара випарної установки можливо лише за умови, що температура кипіння соку, а отже, і тиску в корпусах будуть знижуватися від першого до останнього. Для створення різниці тисків I корпус обігривають відпрацьованим в турбіні паром з надлишковим тиском 0,3 ... 0,35 МПа і температурою 132 ° С. В результаті конденсації вторинної пари в вакуум конденсаційної установки створюється залишковий тиск 0,017 ... 0,021 МПа, що забезпечує кипіння соку в останньому корпусі випарної установки при температурі близько 90 ° С, а в I - при 126 ° С.

Таблиця 1.2 – Температурний режим чотирикорпусний випарної установки з концентратором

Параметри пара і соку	Корпуси				Концен- тратор
	I	II	III	IV	
Температура, °С:					
пари, що гріє	132	124,5	115	101	84
кип'ятіння соку	126	117	104,5	89	68,4
вторинного пара	125,5	116	102	85	65
конденсату	130	122,5	113	99	82
Корисна різниця температур, °С	6	7,5	10,5	12	-
Зниження температурної депресії, °С	0,5	1	2,5	4	3,4
Тиск пара, МПа					
гріючого	0,292	0,233	0,172	0,107	0,057
вторинного	0,241	0,178	0,111	0,059	0,026

Розрідження в останньому корпусі і концентраторі, а також видалення газів, з системи здійснюють за допомогою вакуум-конденсаційної установки, яка складається з конденсатора 9, каплеуловлювача 10, збірки барометричної води 14, вакуум-насоса 13, зрівняльного бачка 8 і збірки холодної води 7. Поличний конденсатор змішання 9 являє собою вертикальний циліндричний апарат з горизонтальними полицями. Знизу в нього надходить вторинний пар, а зверху - холодна вода.

## 1.5. Вимоги до насосів, які використовуються в цукровій промисловості

На цукрових заводах використовуються насоси для різних етапів виробництва.

Особливості їх конструкції, що застосовуються при виробництві, диктуються наступними факторами:

1. На перших етапах з подачі буряка з бурячних полі і до виготовлення з буряку бурячної стружки. насос повинен виконувати функцію підймання буряководяної суміші в співвідношенні буряк/вода 1:6-1:8 на висоту до 20 м. Під час підйому буряководяної суміші на висоту дроблення суміші повинно складати 5-6% до маси буряків.
2. На другому етапі, коли буряк попадає до дифузійної установки і до етапу сульфитації: насос повинен перекачування суспензії з вмістом зважених частинок до 30% за масою, соки, сиропи, рідини при температурі до 95 °С, з в'язкості рідини від 1 до 22 мм<sup>2</sup>/с, а також рідин (водневий показник рН від 4 до 13). Конструкція також повинна мати можливість підведення пари до сальникової камери, камери динамічної ущільнення і проточної частини, оскільки насос працює з в'язкою рідиною, яка може налипати на робочі поверхні, з метою здешевлення і пришвидшення обслуговування насоса. Робоче колесо відкритого типу. Їх використовують у випадках, коли робоча рідина має забруднення, маслянисті включення або тверді частинки. Конструкція відкритого робочого колеса дозволяє легко очистити забруднені канали. Відкритий тип робочого колеса мають ряд переваг - вони не так засмічуються і вельми просто очищаються від різноманітного

нальоту. Використання динамічних ущільнення, дозволяє врівноважити осьові сили, виключається використання ущільнюючої води, зменшується вартість експлуатації.

3. На третьому етапі після сульфитації (процес обробки соку або сиропу сірчистим газом або сірчистої кислотою) насос повинен перекачувати хімічно агресивних речовин з процесом часткової кристалізації, щоб у подальшому не призвело до поломки насоса.

## 1.6. Актуальність

Ощадне використання паливно-енергетичних ресурсів, водночас з раціональним використанням сировини і допоміжних матеріалів, має вирішальне значення для підвищення ефективності переробки цукрових буряків.

Рівень питомих втрат паливно-енергетичних ресурсів при виробництві цукру значною мірою визначає його собівартість і конкурентоспроможність.

Основним напрямком економії палива в цукровій галузі є зменшення витрат теплової енергії (пари) на технологічні потреби, яка в загальному балансі перевищує 80% як для цукрових заводів з високим показником енергоефективності, так і для заводів з типовим рівнем витрат паливно-енергетичних ресурсів.

З втрат тепла найбільшими є втрати з парою, що направляється в конденсатори з вакуум-апаратів та останнього корпусу випарної установки.

Тому доцільним є впровадження нового, високотехнологічного обладнання, з меншим споживанням теплової енергії, але при цьому зберегти, або навіть підвищити, потужність випарної установки.



Модернізація цукрового заводу та зниження собівартості виробництва цукру обов'язково передбачає оновлення існуючого обладнання. Насоси для перекачування цукрових продуктів: для сиропу, для утфелю, для меляси є однією з основних груп обладнання цукрового виробництва.

Відцентрові насоси використовують для перекачування рідких цукровмісних речовин.

Правильний підбір відцентрового насоса може зекономити підприємству близько 25% витрат на споживання електродвигунами електричної енергії. Надлишок тиску рідини на більшості насосних станціях та гідравлічних мереж на 20-30% перевищує об'єктивно необхідний напір. Складовою підбору насоса є точне проектування проточної частини та точний підбір електродвигуна.

Кафедрою ПГМ було спроектовано та виготовлено насосний агрегат для роботи на технологічній лінії виробництва цукру, а саме рециркуляція робочої рідини на 4-му плівковому випарному апараті. Витрата рідини складає  $400 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$ , необхідний напір 25 метрів.

Специфікою перекачування в'язкої рідини, а саме сиропу, є досить висока температура робочої рідини  $T = 105^\circ\text{C}$ , густина робочої рідини

$$\rho = 1220 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

вміст сухих речовин складає близько 52%, а також рівень соку на всмоктувальному трубопроводі 2 метри.

Отже, проаналізувавши вищеперераховані дані можна зробити висновок, що існує потреба в створенні насосного агрегата для перекачування в'язкої рідини на плівковому випарному апараті. Виходячи з технічних умов роботи насоса стає зрозуміло, що можлива робота насоса з кавітацією. Тому необхідно спроектувати насосний агрегат з покращеними анти кавітаційними характеристиками.

## РОЗДІЛ 2

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

#### 2.1. Об'єкт, мета і задачі дослідження

**Мета дослідження.** Метою дипломного проекту є створення уніфікованого насоса з покращеними кавітаційними характеристиками для потреб цукрового виробництва.

**Предметом** дослідження є насос АНС та його кавітаційна характеристика.

У якості **об'єкту** дослідження визначено робочий процес у проточній частині насоса АНС.

**Методи досліджень.** Під час вирішення поставлених задач використовувався аналітичний розрахунок. Для перевірки достовірності проведених розрахунків було проведено фізичний експеримент.

## 2.2. Патентне дослідження консольного насоса

В роботі [1] наведено технічне рішення відцентрового консольного насоса який має корпус зі входним і вихідним патрубками. До корпуса приєднана кришка з кронштейном, всередині розміщений вал з передвключеним колесом і робочим колесом, до того ж, на входному патрубку закріплений зворотний фланець. Недоліком даної конструкції є те, що при значних обертах передвключене колесо в підвідному патрубку закручує рідину, що надходить в насос.

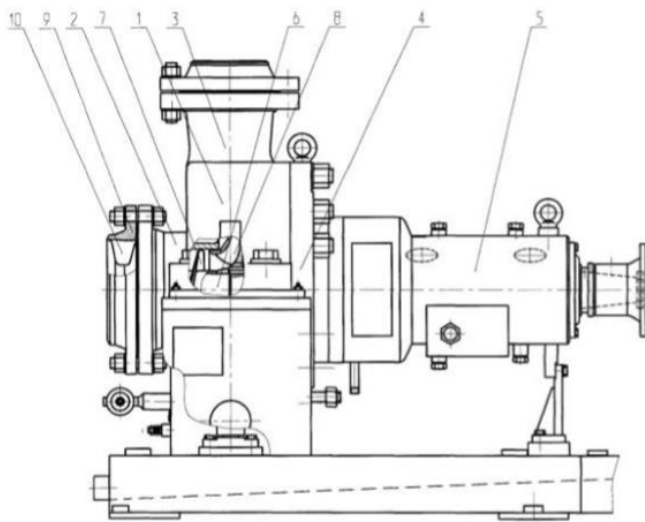


Рисунок 2.1 Відцентровий насос

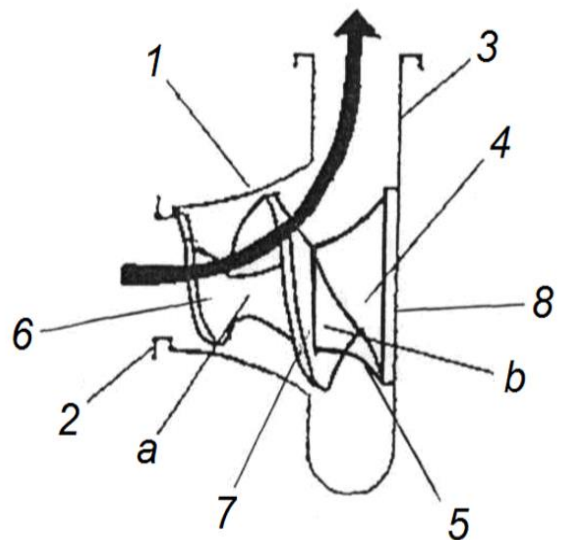


Рисунок 2.2 –  
Гвинтовідцентровий насос

В роботі [2] розглянута корисна модель, яка належить до галузі насособудування, а саме до конструкцій насосів. Відома конструкція лопатевого насоса, що містить корпус з входним і вихідним патрубками, відцентрове робоче колесо і передвключений шнек. Недоліком вказаної конструкції є неможливість її використання для перекачування густих рідин, сумішей, густої багнюки, будівельного розчину і таке ін. Причиною тому є надмірне стиснення течії в протічній частині насоса, що призводить до її

закупорювання і тим самим унеможлиблює роботу насоса. Усунути вказаний недолік дозволяє використання робочого колеса оригінальної конструкції, а саме - напіввідкритого гвинтовідцентрового, замість звичайних конструкцій передвключеного шнека і робочого колеса. В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення гвинтовідцентрового насоса шляхом зміни конструкції робочого колеса, що дозволяє створювати найбільш сприятливі умови для входження густої суміші в робоче колесо і подальше її переміщення по гідравлічному тракту, тим самим запобігаючи закупорюванню насоса.

Винахід [3] належить до галузі гідромашинобудування, а саме до відцентрових насосів з робочим колесом першого ступеня одностороннього або двостороннього входу для застосування в насосах з підвищеною всмоктувальною здатністю. Виникнення й розвиток кавітації в робочому колесі відцентрового насоса є наслідком зменшення тиску на вхідних ділянках лопатей робочого колеса. При натіканні потоку на вхідну кромку лопаті швидкість стрибкоподібно збільшується, що обумовлює зменшення тиску на цій ділянці, і у випадку, якщо він менше тиску насичених парів рідини, що перекачується, при даній температурі, утворюється каверна (парогазова порожнина), тобто починається кавітація. У зв'язку із цим при проектуванні перших ступенів з підвищеною всмоктувальною здатністю приділяється особлива увага вхідній ділянці лопатей, а саме розташуванню й формі вхідної кромки.

Запропоновані співвідношення на вхідній ділянці просторової лопаті

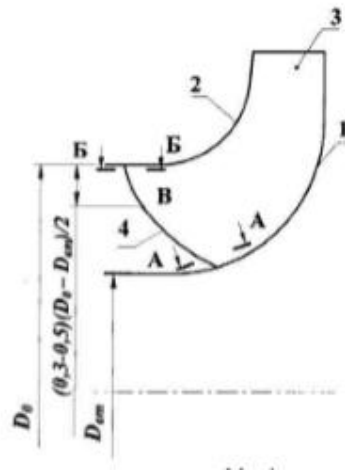


Рисунок 2.3 – Робоче колесо

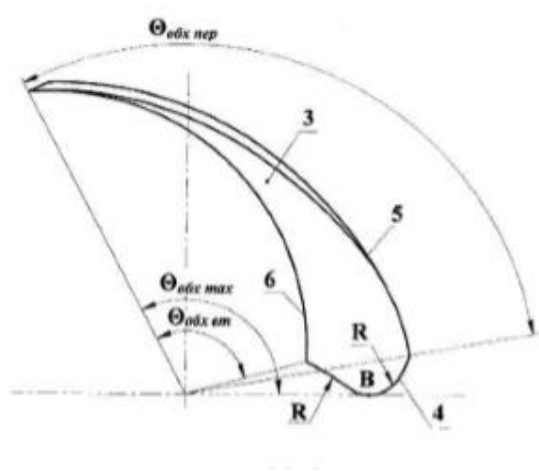
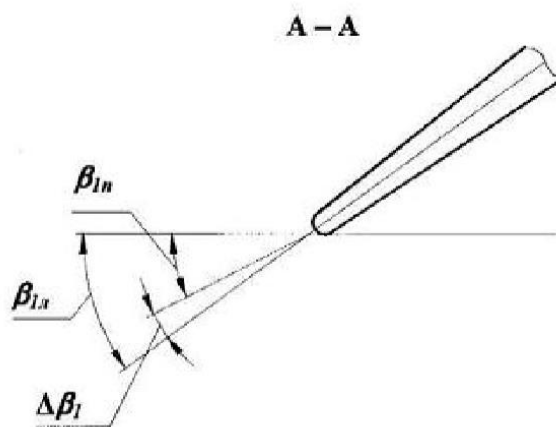


Рисунок 2.4 – Лопать в плані

виведені на основі теоретичного аналізу наявній інформації по впливу вхідних умов робочого колеса на кавітацію і результатів експериментів, проведених у ВНДІАЕН. Співвідношення вибиралися для забезпечення коефіцієнту входу в



робоче колесо  $k_{вх}$  від 4,5 до 4,6, що відповідає певному діаметру вхідної воронки робочого колеса, для якого характерні плавність і стійкість течії потоку на вході в робоче колесо, малі витоки в ущільненні

робочого колеса. Вибір значень кутів атаки лопатей робочого колеса  $\Delta\beta_1$  зі сторони покривного диска від  $0$  до  $2,5^\circ$  і зі сторони основного диска - від  $6$  до  $10^\circ$  сприяє поліпшенню форми напірної характеристики внаслідок зменшеної зони відриву на вході в робоче колесо, забезпеченню високої всмоктувальної здатності при збереженні високого к.к.д. насоса. Плавність її форми, що приводить до безвідривного обтікання без зниження к.к.д. робочого колеса. Запропоноване технічне рішення пояснюється кресленнями.

Робоче колесо відцентрового насоса містить основний диск 1 (рис 2.3) і покривний диск 2 і розташовані між ними з утворенням міжлопатевих каналів просторові лопаті 3 із вхідними кромками 4 (рис 2.4). Вхідні кромки 4 лопатей 3 витягнуті щодо периферійної поверхні 5 (покривний диск 2) і втулкової поверхні 6 (основний диск 1).

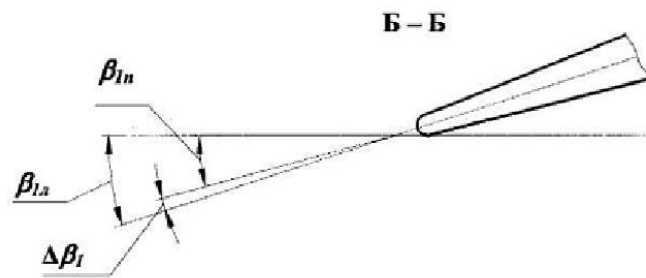


Рисунок 2.5 – Вхідна ділянка лопаті зі сторони основного диска, переріз А-А рис. 2.3

### 2.3. Огляд аналогів

При проектуванні та виготовленні насоса варто розуміти з якими машинами та агрегатами він буде конкурувати. На даний момент на території України найбільшими виробниками насосного обладнання, зокрема для цукрової промисловості, є KSB та Sulzer. Окрім цього варто звернути увагу на те, що деякі цукрові заводи до цього часу використовують малоефективні насоси СКМ. Розглянемо більш детально кожну машину.

Насос KSB MegaCPK [4] призначений для використання в: хімічній і нафтохімічній промисловості; паперовій та целюлозній промисловості; опріснення морської води зворотнього осмосу; харчовій промисловості та виробництва напоїв; спиртовій промисловості. Спиральний корпус виконано з радіальним роз'ємом та відлитими лапами. Ущільнення

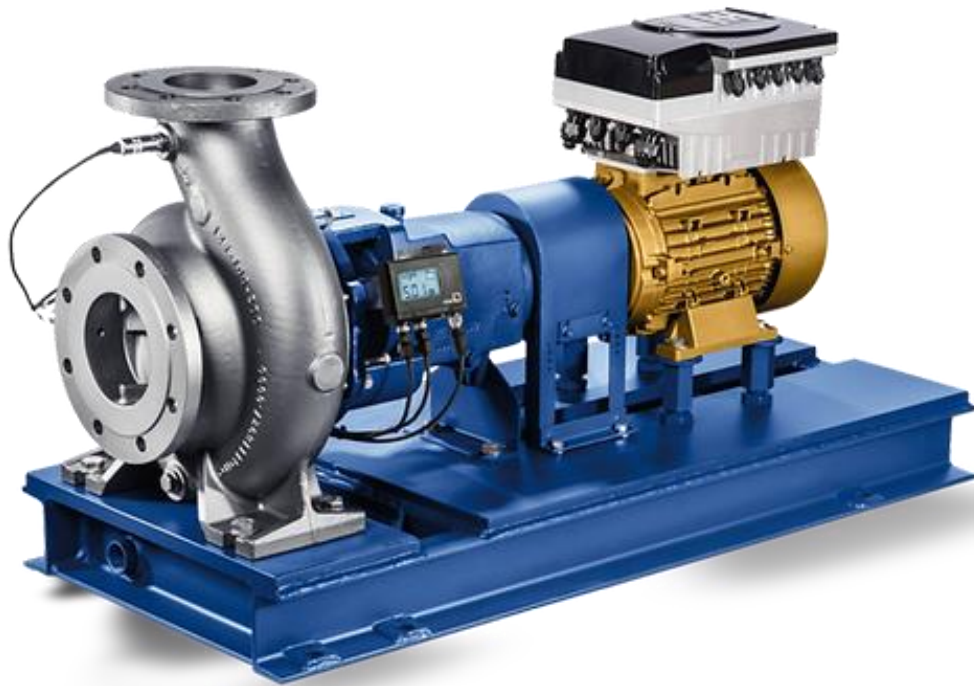


Рисунок 2.7 – Насосний агрегат KSB MegaCPK

вала пропонується на вибір споживача, робоче колесо з просторово вигнутими лопатками.

Дана лінійка насосів перекриває широке поле робочих характеристик при різних частотах обертання.

MegaCPK, n = 960 об/мин

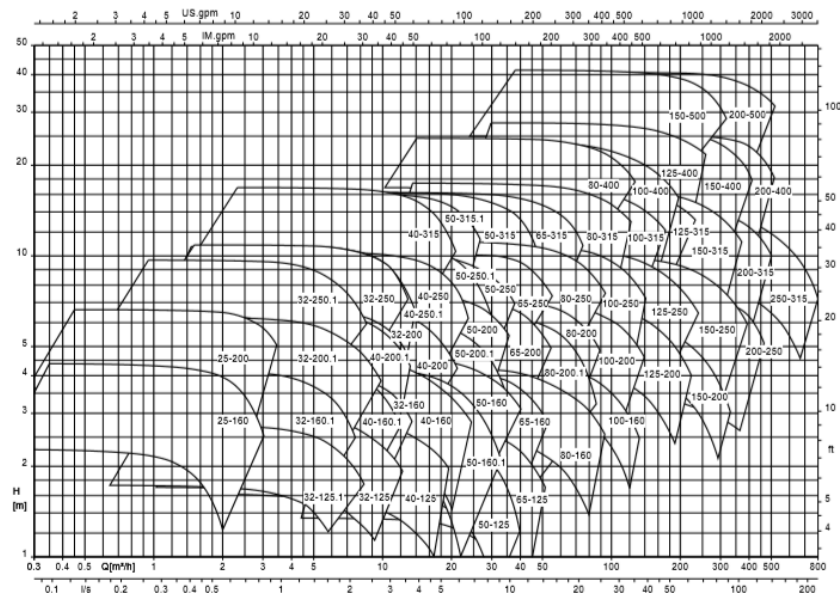


Рисунок 2.8 – Поле характеристик насоса KSB MegaCPK

До негативних аспектів цього насоса можна віднести закрите робоче колесо, неможливість використання динамічного ущільнення та відсутність пристроїв для пропарки проточної частини. Під час роботи з в'язкими сиропами при високій температурі даний насос буде малоефективним, зменшиться його надійність та довговічність.

Насос Sulzer SNS [5] був розроблений для експлуатації в різних областях промисловості для перекачування: чистих і слабо забруднених рідин; рідин з в'язкістю до 3000 сСт; волокнистих суспензій з концентрацією до 6%. Запропоновано декілька конструктивних рішень, серед яких: високоефективне робоче колесо з низьким кавітаційним запасом; балансувальні отвори



Рисунок 2.9 – Насос Sulzer SNS



робочого колеса; різноманітні механічні ущільнення валу; уніфікована конструкція.

Виробник заявляє основні переваги лінійки насосів Sulzer SNS: найвищий ККД на ринку технологічних насосів що забезпечує значну економію електроенергії;

На деяких заводах зроблено спробу використання насосів типу СКМ для рециркуляції сиропу у випарному апараті, оскільки його вартість значно менша за наведені вище аналоги. Основним недоліком насосів СКМ є невідповідні антикавітаційні характеристики.



Рисунок 2.10 – Насос СКМ

## 2.4. Опис конструкції

Основною метою роботи є розробка уніфікованого насосу – наявність певних елементів насосу (різні типи робочих коліс, корпусів, ущільнень, привідних муфт) дозволяє запропонувати замовнику насос, який повністю відповідає його вимогам. Запропоновано 3 види робочих коліс: РК закритого типу, РК відкритого типу, РК шнеко-відцентрового типу. Декілька типорозмірів корпусів дозволяють забезпечити діапазон подач від 80 м<sup>3</sup>/год до 600 м<sup>3</sup>/год. Для різних типів робочих рідин пропонуються три типи кінцевого

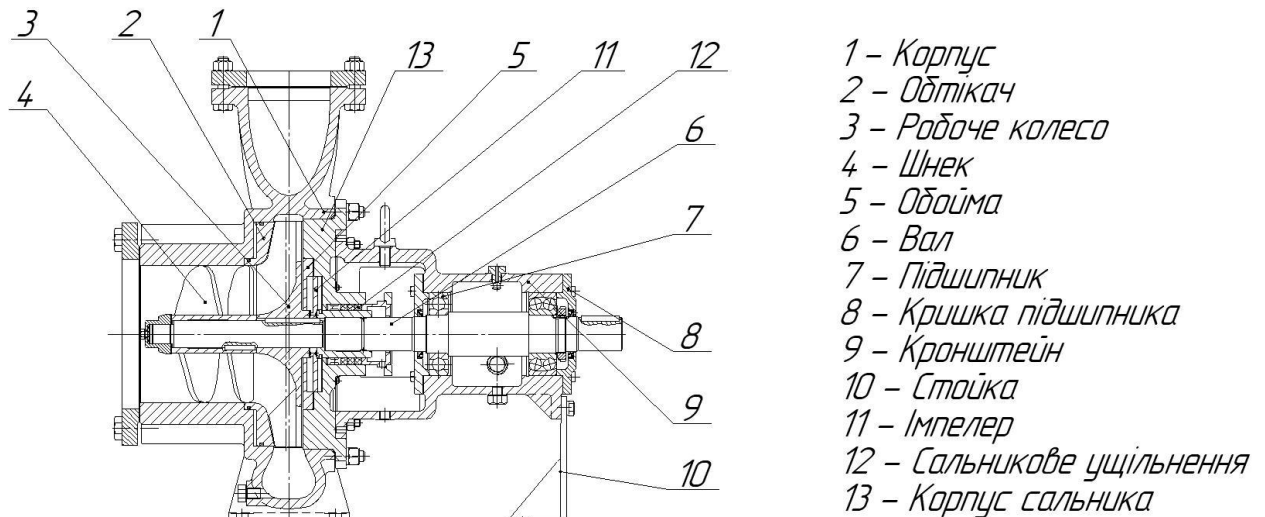


Рисунок 2.11 – Схема насоса АНС 400-25

ущільнення валу: комбіноване – динамічне і сальникове, торцеве зі зовнішніми пружинами, подвійне торцеве ущільнення. Пропонується три типу привідних муфт: втулково-пальцева, з пружним демпфером та типу «Перифлекс».

Рідина через вхідний патрубок потрапляє до проточної частини. При роботі насоса виникають радіальне та осьове зусилля. Осьове зусилля направлено в бік вхідного патрубка і частково розгружується імпелером 11 та сприймається підшипниками. Базова деталь насоса – литий чавунний корпус, опорні лапи відлиті суцільно з корпусом.

Проточна частина насоса складається з осевого підводу, шнека, робочого колеса відкритого типу, зі спіральним відводом. Робоче колесо – відкритого типу для полегшення проходу в'язких рідин.

Комбіноване ущільнення валу складається з імпелера та сальникового ущільнення. Сальникове ущільнення в свою чергу складається з корпусу сальника, сальникової набивки, кільця гідравлічного ущільнення і ґрундбукси. Торцева поверхня ґрундбукси служить опорою для сальникової набивки.

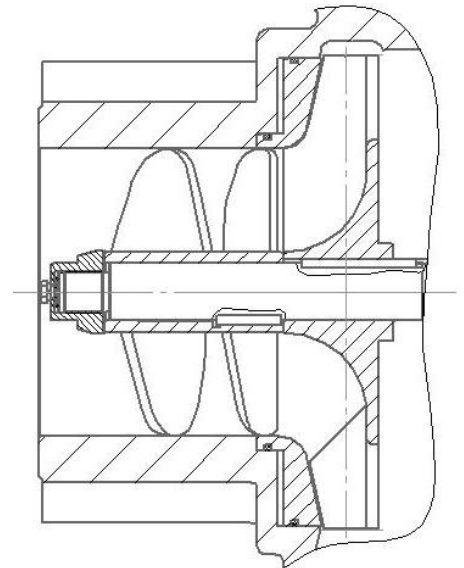


Рисунок 2.12 – Шнек

Вузол опорного кронштейна містить корпус підшипників, вал, кришки підшипників, шарикопідшипники, пробки для заливання та зливання рідкого мастила.

Передньою опорою вала служить радіальний шарикопідшипник SKF, задньою опорою є радіальний сферичний дворядний шарикопідшипник SKF. Мастило кулькових підшипників на вибір споживача: рідке або консистентне. Обертання валу – за годинниковою стрілки, якщо дивитися з боку приводу.

Кронштейн має вікна для обслуговування вузла ущільнення вала насоса.

Насос горизонтальний, консольний з осевим підводом рідини виготовленої за допомогою лиття підвода заодно к корпусом насоса. Базовою деталлю насоса є корпус - спіральний з опорними лапами, виготовлений за допомогою лиття в піщано – глинясту форму.

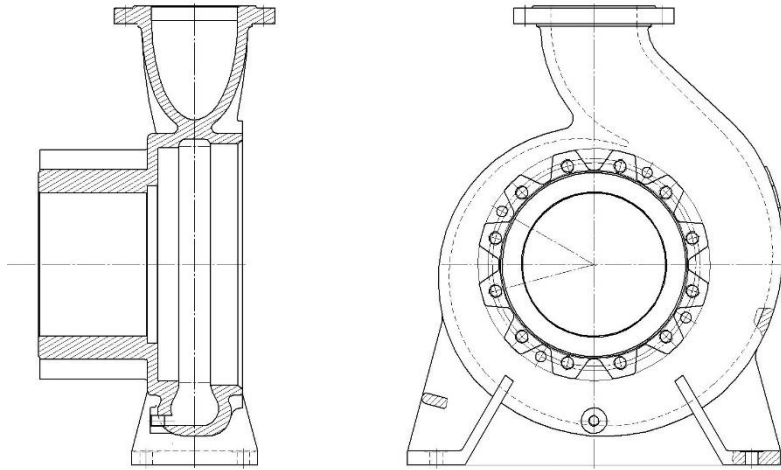
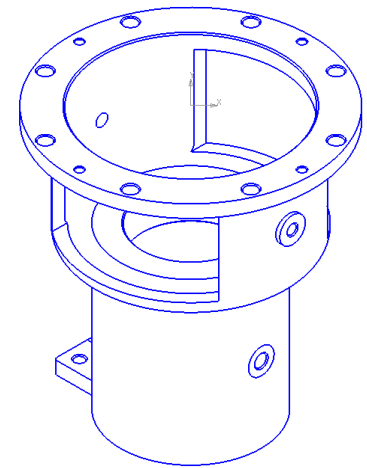


Рисунок 2.13 - Корпус насоса АНС

Рисунок 2.14 – Кронштейн насосу АНС



Внутрішня поверхня оброблена від залишків піщаної суміші для зменшення шорсткості. Додатково внутрішня поверхня корпусу покрита гідрофобним розчином. Обробка шліфувальними машинками та покриття розчином необхідне для зменшення гідравлічних втрат та підвищення ККД.

Напірний патрубок розташований вертикально вгору за стандартами ISO.

Установка комбінованого кінцевого ущільнення суттєво знижує зовнішній витік, це призводить до зменшення об'ємних втрат які в свою чергу піднімають загальний ККД насоса що робить його конкурентоспроможним на ринку. Необхідна при перекачуванні кристалічних середовищ промивка насосу після зупинки здійснюється парою без його розбирання, для цього на кришці сальника зроблений отвір для встановлення спеціального штуцера.

Мастило на вибір споживача - рідке або консистентне, кронштейн може комплектуватися як тавотницями так і пробками для зливу і заливу мастила в залежності від виконання.

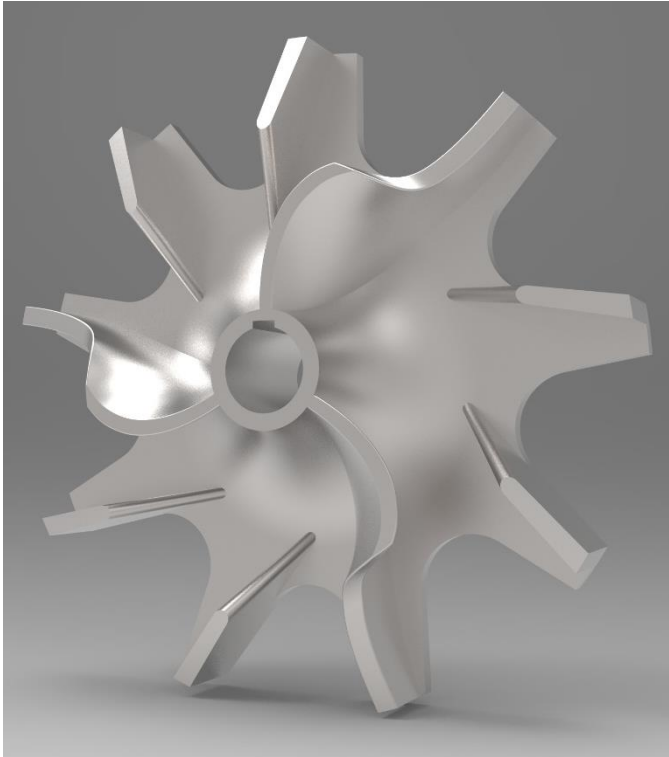


Рисунок 2.15 – Відкрите робоче колесо

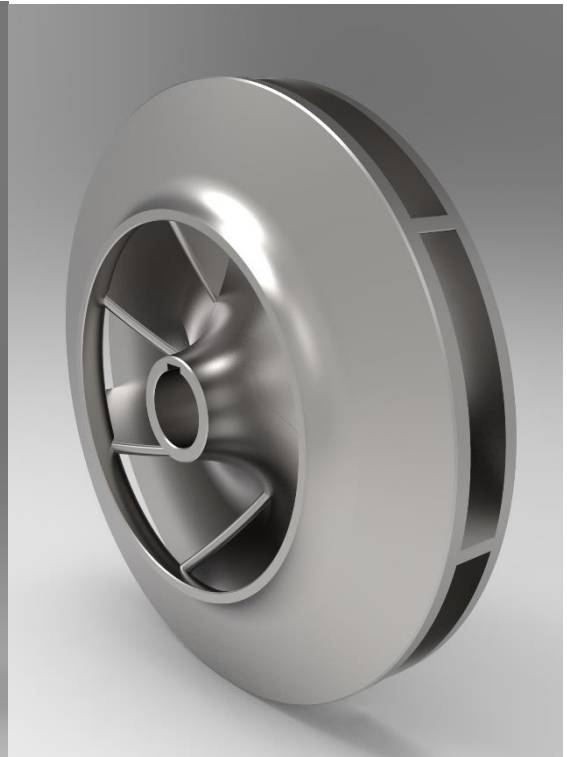


Рисунок 2.16 – Закрите робоче колесо

Особливостями конструкції є можливість регулювання зазору між обтікачем та робочим колесом по мірі зносу зазору. Регулювання зазору необхідне для зменшення перетоків рідини від периферії до всмоктувальної воронки. Це дає змогу зменшити гідравлічні втрати на робочому колесі та підвищити ККД.

Також можливе виконання з різними видами кінцевого ущільнення - замість сальникового ущільнення пропонується варіант з торцевим ущільненням, для перекачування сиропів. Для цього торцеве ущільнення виконане з зовнішніми пружинами, що забезпечує зручність в обслуговуванні. Також можливе встановлення подвійного торцевого ущільнення для хімічних та чистих рідин.

## РОЗДІЛ 3

### ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Вихідними даними для розрахунку є:

- Подача 400 м<sup>3</sup>/год;
- напір 25 метрів;
- робоча рідина – сироп з густиною  $\rho=1220$  кг/м<sup>3</sup>;
- вміст сухих речовин – 52%;
- температура сиропу 105°С;
- висота рідини на всмоктувальному патрубку – 2 метри.

Зважаючи на вихідні дані обираємо конструкцію насоса з консольним розміщенням вала, з відкритим робочим колесом та перед включеним шнеком. Частоту обертання валу обираємо 1000 об/хв для покращення анти кавітаційних якостей насоса.

#### 3.1 РОЗРАХУНОК ШНЕКА НАСОСА

Кавітаційна характеристика - один з факторів, що визначають конструкцію і техніко-економічні показники насосів. Її поліпшення дозволяє знизити масу і зменшити габарити насоса. В даний час ця задача найбільш ефективно може бути вирішена за рахунок використання шнековідцентрових ступенів.

### Розрахунок кавітаційного запасу

Для попередження виникнення кавітації необхідно вірно визначити геометричну висотку всмоктування насоса і не допускати її підвищенню. По визначенню кавітаційний запас дорівнює

$$\Delta h = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \frac{P_{н.п.}}{\rho \cdot g} \quad (3.1)$$

$$\text{де } \frac{P_a + P_n}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h - \Sigma h - \text{з рівняння Бернуллі;}$$

Знаходимо абсолютну еквівалентну шорсткість сталюї безшовної труби за таблицею Б.5:  $\Delta_e = 0,035$  мм.

Визначаємо величину відносної еквівалентної гладкості для всмоктувального трубопровода  $\frac{d_2}{\Delta_e} = \frac{150}{0,035} = 4285$  та за допомогою графіка

ВТІ за відомими  $Re_2$  та  $\frac{d_2}{\Delta_e}$  визначаємось з областю гідравлічних опорів: всмоктувальний трубопровід належить до області гідравлічно-гладких труб.

Отже, коефіцієнт гідравлічного тертя буде залежати лише від числа Рейнольдса для обох трубопроводів і визначатиметься за формулою Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (3.2)$$

Швидкість у всмоктувальному трубопроводі:

$$V_2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_2^2} = \frac{4 \cdot 0,111}{\pi \cdot 0,125^2} = 2,26 \text{ м/с} \quad (3.3)$$

Число Рейнольдса для всмоктувального трубопровода:

$$Re = \frac{V_2 \cdot d_2}{\nu} = \frac{1,4 \cdot 0,15}{16,675 \cdot 10^{-6}} = 9352 \quad (3.4)$$

Коефіцієнт гідравлічного тертя для всмоктувального трубопровода:

$$\lambda_2 = \frac{0,3164}{9352^{0,25}} = 0,03 \quad (3.5)$$

Розраховуємо втрати напору у всмоктувальному трубопроводі, які визначаються сумою втрат по довжині і втрат у місцевих опорах:

$$\sum h_2 = \left( \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} + \sum \zeta_n \right) \cdot \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.6)$$

Для визначення складової загальних втрат у всмоктувальному трубопроводі (місцевих втрат), потрібно визначитись із коефіцієнтами місцевих опорів  $\zeta$ . В всмоктувальному трубопроводі присутні такі місцеві опори:

- коліно 1  $\zeta_6=1,3(\beta=90^\circ)$ ;

- коліно 1  $\zeta_6=1,3(\beta=90^\circ)$ ;

- коліно 1  $\zeta_6=1,3(\beta=90^\circ)$ ;

- вентиль  $\zeta_6=2$ ;

- вихід в трубу  $\zeta_8 = 1$ .

Втрати напору у всмоктувальному трубопроводі складатимуть:

$$\Sigma h = \left( \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} + \Sigma \zeta \right) \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} = \left( 0,03 \cdot \frac{6}{0,125} + 3 \cdot 1,3 + 2 + 1 \right) \cdot \frac{2,26^2}{2 \cdot 9,81} = 0,809 \text{ м}$$

$$\text{Отже } \frac{P_a + P_n}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h - \Sigma h = 10,4 - 0,809 = 9,6 \text{ м.}$$

Наступним кроком визначимо тиск насиченої пари для цукрового сиропу, з вмістом твердих частинок цукру в суміші  $\omega=52\%$ .

$$P_{\text{н.п.}} = P_0 - P_0 \frac{n}{N + n} \quad (3.7)$$

де  $P_0=120,79 \cdot 10^3$  Па – тиск насиченої пари для води при  $t = 105^\circ\text{C}$ ;

$$n = \frac{w}{M} = \frac{52}{342} = 0,152 \text{ моль} \text{ – кількість цукру в сиропі};$$

$M = 342$  г/моль – молярна маса цукру;

$$N = \frac{100-w}{M_B} = \frac{48}{18} = 2,6 \text{ моль} \text{ – кількість води в сиропі};$$

Отже тиск насиченої пари сиропу дорівнює:

$$P_{\text{н.п.}} = 120,79 \cdot 10^3 - 120,79 \cdot 10^3 \frac{0,152}{2,6 + 0,152} = 95,7 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Наступним кроком визначаємо кавітаційний запас:

$$\Delta h = 9,6 - \frac{95,7 \cdot 10^3}{1220 \cdot 9,81} = 1,643 \text{ м}$$



### Розрахунок шнека

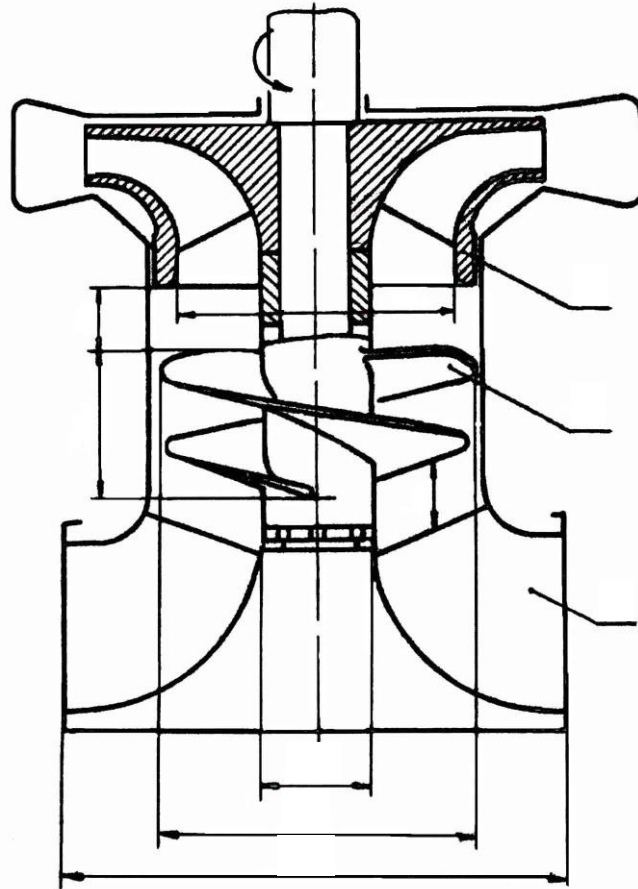


Рисунок 3.1 – Типова схема щнеко-відцентрового ступеня

1 – відцентрове робоче колесо, 2 – шнек, 3 - підвід

Обираємо попередньо конструктивне виконання першого ступеню, виходячи зі значення допустимого кавітаційного коефіцієнта швидкохідності

$$C_{кр} = \frac{5,62 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{\Delta h^{\frac{3}{4}}} \quad (3.8)$$

$$C_{кр} = \frac{5,62 \cdot 1000 \cdot \sqrt{0,111}}{1,643^{\frac{3}{4}}} = 1291$$

Приймаємо однопотічну шнеко-відцентрову спупінь.

Діаметр втулки шнека приймаємо рівним діаметру втулки РК

$$d_{вт} = d_{вт.к} = 0,07 \text{ м}$$

Проводимо оцінку умови відсутності кавітаційної ерозії по графіку

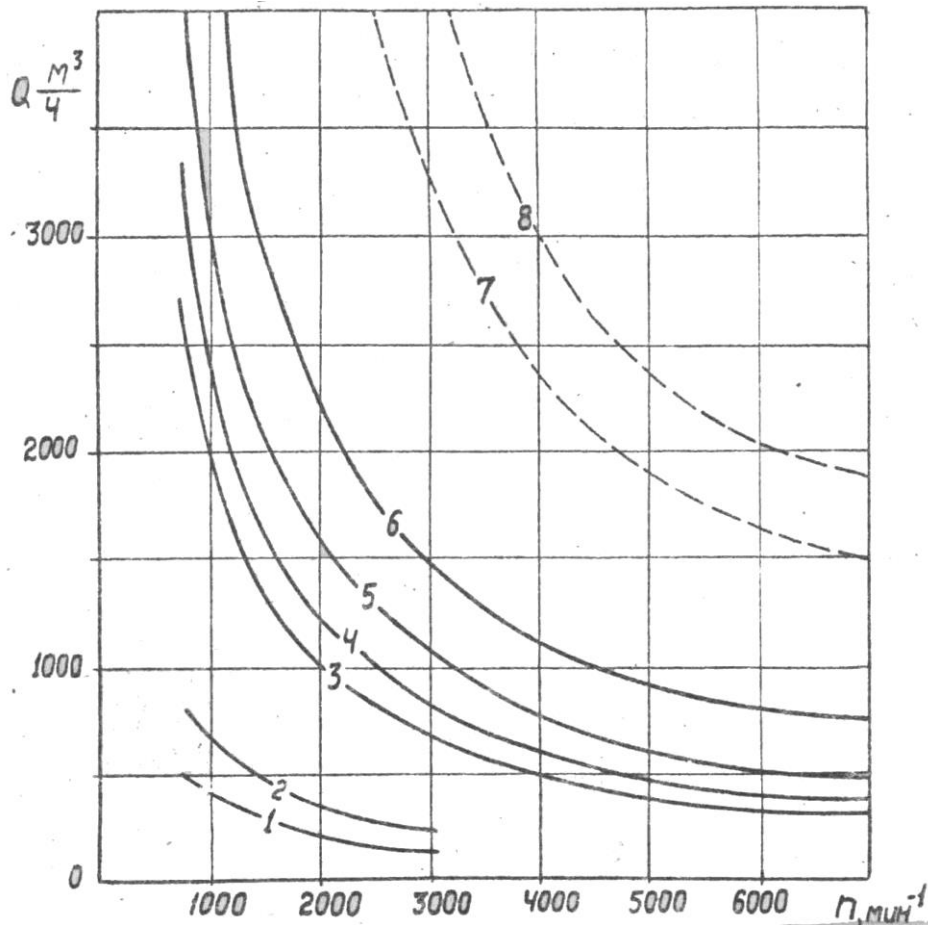


Рисунок 3.2 – Графіки для вибору конструкції

шнека

рис.3.1

1,4-для пластини при роботі на воді з температурою до 100 градусів і вище 150 градусів;

2,6-для пластини зі збільшеним радіальним зазором при роботі на воді відповідно з температурою до 100градусов і вище 150 градусів;

3,7-для шнека з виступом при роботі на воді відповідно з температурою до 100 градусів і вище 150 градусів;

5,8-для пластини і шнека з виступом при роботі з нафтою

З метою підвищення кавітаційно-ерозійних властивостей шнека обираємо тип профіля шнека – профіль зі середньою лінією в вигляді дужки круга з виступом.

Визначаємо зовнішній діаметр шнека

$$D_{\text{ш}} = \sqrt{k_{D_{\text{ш}}}^2 \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^{\frac{2}{3}} + d_{\text{вТ}}^2} \quad (3.9)$$

де  $k_{D_{\text{ш}}} = 6,0 \dots 8,0$ . Збільшення  $k_{D_{\text{ш}}}$  підвищує кавітаційні якості, але знижує ККД і стійкість роботи ступеня на часткових подачах.

$$D_{\text{ш}} = \sqrt{6 \cdot \left(\frac{0,111}{1000}\right)^{\frac{2}{3}} + 0,07^2} = 0,293 \text{ м}$$

З конструктивних особливостей проєктованого насоса, приймаємо  $D_{\text{ш}} = 0,250 \text{ м}$ .

Додатково уточнюємо умови роботи шнека без кавітаційної ерозії.

$$K_{ni} = U_{\text{ш}} \cdot D_{\text{ш}}^{\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

$$U_{\text{ш}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ш}} \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,25 \cdot 1000}{60} = 13 \text{ м/с}$$

Для води з температурою менше  $150 \text{ }^\circ\text{C}$   $K_n = 20$ .

$$K_{ni} = 13 \cdot 0,25^{0,5} = 6,5; \quad K_{ni} = 6,5 < K_n = 20$$

Отже, умова безерозійної роботи шнека виконується.

Визначаємо кут потоку на зовнішньому діаметрі шнека

$$\beta_{\text{пш}} = \arctg \frac{4Q}{\pi(D_{\text{ш}}^2 - d_{\text{вТ}}^2) \cdot U_{\text{ш}}} = 10^\circ, 36' \quad (3.11)$$

Визначаємо кут встановлення лопаті на зовнішньому діаметрі шнека

$$\beta_{\text{лш}} = \beta_{\text{пш}} + \alpha$$

Приймаємо кут атаки  $\alpha = 4^\circ$ .

$$\beta_{\text{лш}} = 10^\circ, 36' + 4^\circ = 14^\circ 36'$$

Визначаємо кут встановлення лопаті в проміжних перетинах

- біля втулки

$$\beta_{\text{лвт}} = \arctg \frac{D_{\text{ш}} \cdot \text{tg} \beta_{\text{лш}}}{d_{\text{вТ}}}$$

$$\beta_{\text{ЛВТ}} = \arctg \frac{0,25 \cdot \operatorname{tg} 14^{\circ} 36'}{0,07} = 42^{\circ} 59'$$

- на середньому діаметрі

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{ш}} + d_{\text{ВТ}}}{2} = \frac{0,25 + 0,07}{2} = 0,16 \text{ м}$$

$$\beta_{\text{лсрш}} = \arctg \frac{0,25 \cdot \operatorname{tg} 14^{\circ} 36'}{0,16} = 22^{\circ} 12'$$

Таблиця 3.1 – Значення порогового параметра кавітаційної ерозії

Характеристика геометрії шнека	Значення порогового параметра кавітаційної ерозії $K_n$		
	Вода $t < 50^{\circ} \text{C}$	Вода $t > 150^{\circ} \text{C}$	Нафта
Профіль – пластина, дужка круга	9	22	25
Профіль – пластина, дужка кола зі збільшеним радіальним зазором	12	30	-
Шнеки з виступами	20	50*	55*
* - прогнозовані параметри			

Обираємо число лопатей і довжину лопатей. Число лопатей  $z_{\text{ш}}$  приймаємо рівним 2, а довжину лопаті – з умови забезпечення густоти лопатевої решітки.

Довжина лопаті на  $D_{\text{ш}}$ :

$$l_{D_{\text{ш}}} = 1,1 \left( \frac{\pi \cdot D_{\text{ш}}}{z_{\text{ш}}} \right) = 0,432 \text{ м}$$

Приймаємо  $l_{D_{\text{ш}}} = 0,4$ .

Довжина лопаті на  $d_{\text{ВТ}}$ :

$$l_{d_{\text{ВТ}}} = 1,7 \left( \frac{\pi \cdot d_{\text{ВТ}}}{z_{\text{ш}}} \right) = 0,187 \text{ м}$$

На середньому діаметрі  $l_{\text{срш}}$  визначаємо за результатами побудови проєкції лопаті в плані з умови радіального розташування вихідної кромки.

Радіус скруглення вхідної кромки

$$\rho = (0,25 \dots 0,3) D_{\text{ш}} = (0,25 \dots 0,3) \cdot 0,25 = 0,0625 \dots 0,075 \text{ м.}$$

Приймаємо  $\rho = 0,07 \text{ м.}$

Величина напору шнека орієнтовно може бути розрахована за формулою, отриманої на підставі обробки результатів експерименту

$$H_{\text{ш}} = 0,195 \text{tg} \alpha \cdot U_{\text{ш}}^2 \quad (3.12)$$

$$H_{\text{ш}} = 0,195 \text{tg} 4^\circ \cdot 13^2 = 2,39 \text{ м}$$

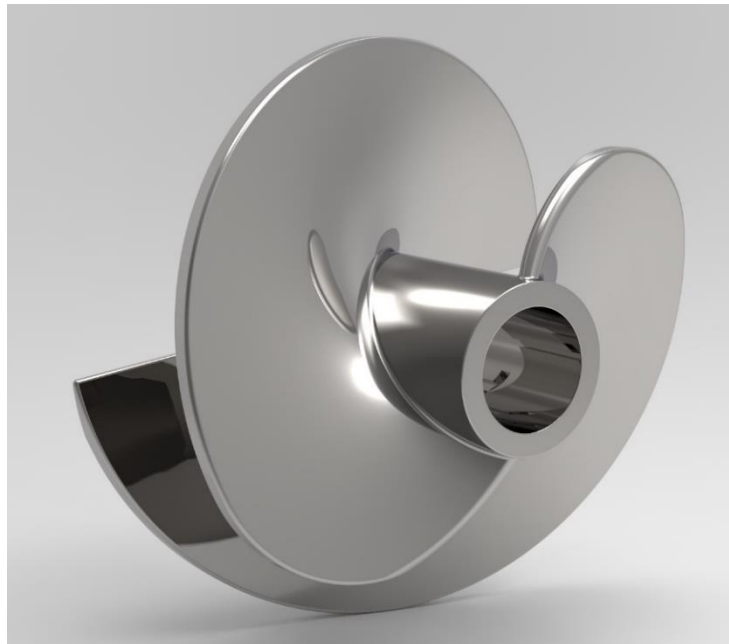


Рисунок 3.3 – Шнек

Оцінюємо вплив шнека на економічність ступеня.

$$\eta = \frac{\eta_k}{1 + \frac{H_{\text{ш}}}{H} (\frac{\eta_k}{\eta_{\text{ш}}} - 1)} \quad (3.14)$$

де  $\eta_{\text{ш}} = 0,75$  – для шнека зі середньою лінією профіля лопаті в вигляді дужки круга;

$\eta_k = 0,77$  – повний ККД насоса.

$$\eta = \frac{0,77}{1 + \frac{2,39}{25} \left( \frac{0,77}{0,75} - 1 \right)} = 0,768$$

### 3.2. Проектування відцентрового відкритого робочого колеса

#### 3.2.1. Розрахунок гідравлічних та геометричних параметрів

##### Визначення основних геометричних параметрів

Коефіцієнт швидкохідності

$$n_s = \frac{3,65n\sqrt{Q'}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (3.15)$$

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 1000 \cdot \sqrt{0,111}}{25^{\frac{3}{4}}} = 108,8$$

Приведений діаметр робочого колеса визначається за формулою Суханова, мм:

$$D_{1np} = K_{ex} \sqrt[3]{\frac{Q'}{n}} \quad (3.16)$$

де  $K_{ex} = 3,5 - 5,0$  - коефіцієнт вхідної воронки робочого колеса (більші значення беруться для підвищення кавітаційних якостей робочого колеса)

$$D_{1np} = 5 \sqrt[3]{\frac{0,111}{1000}} = 0,24 \text{ м}$$

Подача робочого колеса

$$Q_{p.k.} = \frac{Q'}{\eta_{об}} \quad (3.17)$$

$$Q_{PK} = \frac{0,111}{0,971} = 0,114$$

де  $\eta_{об}$  - об'ємний ККД, що визначається за формулою

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + 0,68n_s^{\frac{2}{3}}} \quad (3.18)$$

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot 108^{\frac{2}{3}}} = 0,971$$

Повний ККД насоса

$$\eta = \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{мех} \cdot \eta_{об} \quad (3.19)$$

де  $\eta_{\Gamma} = \eta_{\GammaЗРК} \cdot \eta_{во}$  - гідравлічний ККД в проточній частині з ВРК;

$\eta_{\GammaЗРК}$  - гідравлічний ККД в проточній частині з ЗРК;

Гідравлічний ККД обраховуємо за формулою

$$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2} \quad (3.20)$$

$$\eta_{\GammaЗРК} = 1 - \frac{0,42}{(\lg 0,24 - 0,172)^2} = 0,985$$

$\eta_{во}$  - гідравлічний ККД втрат вихрового обміну, що враховує додаткові гідравлічні втрати в ВРК;

$$\begin{aligned} \eta_{во} = & 0,403 - 1,75 \cdot \delta_m / b_2 + 0,03 \cdot \beta_{2,l} - 0,153 \cdot W_1 / W_{2\infty} + \\ & + 0,93 \cdot (\delta_m / b_2)^2 - 0,0003 \cdot \beta_{2,l}^2 + 0,043 \cdot (W_1 / W_{2\infty})^2 + \\ & + 0,014 \cdot (\delta_m / b_2 \cdot \beta_{2,l}) + 0,032 \cdot (\delta_m / b_2 \cdot W_1 / W_{2\infty}) - 0,0016 \cdot (\beta_{2,l} \cdot W_1 / W_{2\infty}), \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\text{де } \left( \frac{W_1}{W_2} \right)_{онт} = 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^2 - 18,23 \cdot 10^{-3} \cdot n_s + 2,65 \quad (3.22)$$

$$\frac{W_1}{W_{2\infty}} = 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot 108,8^2 - 18,23 \cdot 10^{-3} \cdot 108,8 + 2,65 = 1,339$$

Отримуємо  $\eta_{во} = 0,868$ .

$$\eta_{\Gamma} = 0,985 \cdot 0,868 = 0,855$$

$\eta_{мех} = \eta_i \cdot \eta'_{мех} \cdot \eta_d$  - механічний ККД;

$\eta_d = 0,991$  - ККД дискового тертя;

$\eta_i$  – ККД імпеллера, приймається в залежності від типу робочого колеса за результатами експерименту.

Приймаємо  $\eta_i = 0,965$ .

$\eta'_{\text{мех}}$  - зовнішній механічний ККД.

Визначається в залежності від типу кінцевого ущільнення і потужності насоса.

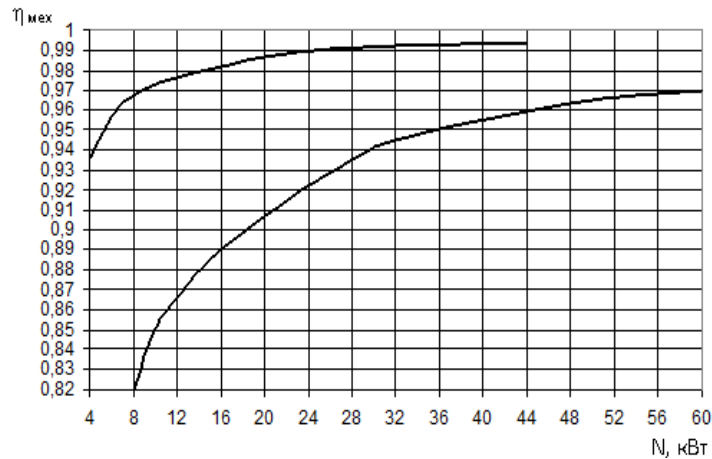


Рисунок 3.4 – Залежність механічного ККД від типу кінцевого ущільнення і потужності

Приймаємо  $\eta'_{\text{мех}} = 0,96$

$$\eta_{\text{мех}} = 0,965 \cdot 0,96 = 0,93$$

Повний ККД насоса

$$\eta = 0,855 \cdot 0,93 \cdot 0,97 = 0,76$$

Потужність, споживана насосом (Вт), визначається за формулою

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (3.23)$$

де  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння.

$$N = \frac{1220 \cdot 9,81 \cdot 0,111 \cdot 25}{0,76} = 43603 \text{ Вт}$$

Визначення діаметра вала та втулки робочого колеса



У першому наближенні діаметр вала, мм, визначається з розрахунку на кручення за формулою

$$d_g = \sqrt[3]{\frac{M \cdot 16}{\pi \cdot [\tau_k]}} \quad (3.24)$$

де  $M$  - крутний момент на валу насоса, Н·м;

$N_{\max}$  - максимальна потужність насоса, Вт;

$[\tau_k] = 20$  МПа- занижене максимальне напруження на кручення, МПа (при  $\alpha=1$ ).

$$M = \frac{N_{\max} \cdot 30}{\pi n} \quad (3.25)$$

$$N_{\max} = 1,1 \cdot N \quad (3.26)$$

$$N_{\max} = 1,1 \cdot 43606 = 47963 \text{ Вт}$$

Обираємо двигун з запасом  $N$  на 10-20%. Обираємо асинхронний двигун АІР 250М6 з наступними параметрами  $N=55$  кВт,  $n=1000$  об/хв.

$$M = \frac{47963 \cdot 30}{3,14 \cdot 1000} = 458 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 440}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,049 \text{ м}$$

Отримане значення діаметра округляють згідно ГОСТ 6636-69. Приймаємо  $d_g = 50$  мм.

Діаметр втулки, мм, орієнтовно вибирають з виразу

$$d_{gm} = (1,2 - 1,25)d_g \quad (3.27)$$

$$d_{BT} = (1,2 - 1,25) \cdot 0,05 = 0,06 - 0,063 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_{\text{вТ}} = 70$  мм

Визначення геометричних параметрів входу у робоче колесо

Діаметр вхідної воронки робочого колеса, мм, визначають з виразу

$$D_0 = \sqrt{D_{\text{вп}}^2 + d_{\text{вТ}}^2} \quad (3.28)$$

$$D_0 = \sqrt{0,24^2 + 0,07^2} = 0,248 \text{ м}$$

Швидкість потоку на вході у робоче колесо

$$V_0 = \frac{4Q_{\text{р.к}}}{\pi \cdot D_{\text{вп}}^2} \quad (3.29)$$

$$V_0 = \frac{4 \cdot 0,111}{3,14 \cdot 0,248^2} = 2,52 \text{ м/с}$$

Задаємося положенням вхідної кромки, яка, як правило, розміщується у зоні повороту потоку з осьового напрямку у радіальний під кутом 45-30° до осі насоса. При цьому визначають радіус середньої точки  $R_1 = \frac{D_1}{2}$ , за яким ведеться розрахунок кута потоку на вході  $\beta_{1П}$ .

Визначимо орієнтовне значення діаметра положення вхідної кромки

$$D_1 = 0,8D_0 \quad (3.30)$$

$$D_1 = 0,8 \cdot 0,248 = 0,198 \text{ м}$$

При вході потоку на лопать меридіанна складова абсолютної швидкості визначається виразом:

$$V_{1m} = \Psi_1 \cdot V_0 \quad (3.31)$$

де  $\Psi_1 = 1,15 - 1,3$  - коефіцієнт стиснення потоку на

вході.

$$V_{1m} = 1,11 \cdot 2,5 = 2,77 \text{ м/с}$$

Кут потоку на вході, град, розраховують з трикутника швидкостей за формулою

$$\beta_{1П} = \operatorname{arctg} \frac{V_{1m}}{U_1 - V_{1U}} \quad (3.32)$$

де  $U_1$  - переносна швидкість на вході у робоче колесо, м/с;

$V_{1U}$  - колова складова абсолютної швидкості на вході у робоче колесо, м/с.

Переносна швидкість:

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} \quad (3.33)$$

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,198 \cdot 1000}{60} = 10,3 \text{ м/с}$$

У консольних та відцентрових насосах  $V_{1U} = 0$ .

$$\beta_{1П} = \operatorname{tg} \left( \frac{V_{1m}}{U_1} \right) = \operatorname{tg} \left( \frac{2,77}{10,3} \right) = 15^\circ$$

Кут нахилу лопаті на вході у робоче колесо, град:

$$\beta_1 = \beta_{1П} + \Delta\beta \quad (3.34)$$

де  $\Delta\beta = 3 - 8^\circ$  - кут атаки, вводиться з метою зменшення гідравлічних втрат в області робочого колеса та покращання його кавітаційних властивостей.

$$\beta_1 = 15^\circ + 8^\circ = 23^\circ$$

Кут установки лопаті на вході в робоче колесо необхідно узгодити, з розрахованим для шнеко-відцентрового робочого колеса кутом установки лопаті на середньому діаметрі.

Кут установки лопаті на вході визначаються за умовою прийнятої схемою осьового течії з рівномірним по ширині каналу розподілом меридіанній швидкості. При цьому кут атаки на вході в робоче колесо  $\alpha = 8 \dots 10^\circ$ .

$$\beta_1 = 22^\circ + 8^\circ = 30^\circ$$

### Визначення числа лопатей та їх товщини

Для узгодження течії між шнеком та робочим колесом лопаті виконаємо дво ярусні. Верхній ярус складається з трьох лопатей котрі своєю формою продовжують форму лопатки шнека. Інші 6 з нижнього ярусу рівномірно розподілені.

Товщину лопаті робочого колеса вибирають з технологічних міркувань (залежно від матеріалу робочого колеса, його розмірів та технологічних ливарних можливостей підприємства). Орієнтовно можна взяти товщину лопаті на вході у робоче колесо 7 мм .

Приймаємо кількість лопатей  $z=9$ , товщина лопаті на вході у робоче колесо  $s_1=7$  мм.

### Уточнення коефіцієнта стиснення потоку

Після вибору числа лопатей та їх товщини уточнюють значення  $\Psi'_1$  за формулою

$$\Psi'_1 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot s_1}{2\pi \cdot D_1 \sin \beta_1}} \quad (3.35)$$

$$\psi'_1 = \frac{1}{1 - \frac{9 \cdot 0,007}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,198 \cdot \sin(30^\circ)}} = 1,113$$

Повинна бути забезпечена умова  $|\Psi'_1 - \Psi_1| \leq 0,01$ .

$$|1,113 - 1,11| = 0,003 \leq 0,01$$

Умова виконується.

Ширину робочого колеса на вході знаходять з виразу:

$$b_1 = \frac{Q_{p.k}}{\pi D_1 V_{1m}} \quad (3.36)$$

$$b_1 = \frac{0,111}{3,14 \cdot 0,198 \cdot 2,8} = 0,066 \text{ м}$$

Уточнення зовнішнього діаметра робочого колеса

Спираючись на дослідження проведені на кафедрі ПГМ, приймаємо кут на виході з робочого колеса  $\beta_2$  рівним  $72^\circ$ .

Відносний торцевий зазор між лопатями робочого колеса і корпусом насоса приймається оптимальне значення з технологічних міркувань і в залежності від кута  $\beta_2$ . Приймаємо  $\delta_m/b_2 = 0,1$ .

Теоретичний напір робочого колеса, м:

$$H_T = \frac{H}{\eta_T} \quad (3.37)$$

$$H_T = \frac{25}{0,855} = 29,3 \text{ м}$$

Коефіцієнт окружний складової абсолютної швидкості на виході потоку з робочого колеса визначається за графіком  $\overline{V_{u2}} = f(\beta_2)$ .

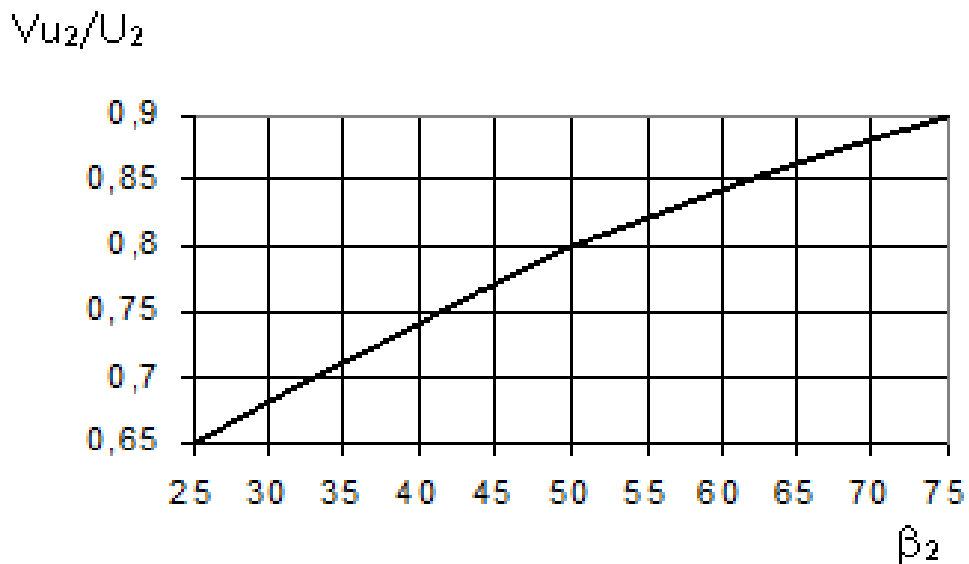


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта окружної швидкості від кута установки лопаті на виході з робочого колеса

За графіком приймаємо  $\overline{V_{u2}} = V_{u2} / U_2 = 0,87$ .

Колова швидкість на виході з робочого колеса (1-е наближення) визначається з рівняння Ейлера для теоретичного напору при відсутності закрутки потоку на вході в робоче колесо.

$$U_2 = \sqrt{\frac{gH_m}{\overline{V_{u2}}}} \quad (3.38)$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 29,2}{0,87}} = 21,8 \text{ м/с.}$$

Зовнішній діаметр на виході з робочого колеса (наближено).

$$D_2 = \frac{60U_2}{\pi \cdot n} \quad (3.39)$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot 21,8}{3,14 \cdot 1000} = 0,417 \text{ м}$$

### Уточнення коефіцієнта стиснення потоку на виході з робочого колеса

Коефіцієнт стиснення потоку лопатями на виході з робочого колеса

$$\Psi'_2 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot s_2}{\pi D_2 \sin \beta_2}} \quad (3.40)$$

$$\psi'_2 = \frac{1}{1 - \frac{7 \cdot 0,012}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,417 \cdot \sin(72^\circ)}} = 1,095$$

Ширину робочого колеса на виході  $b_2$  приймаємо рівною 38 мм на основі експериментальних досліджень проведених на кафедрі ПГМ СумДУ.

Визначення теоретичного напору при кінцевому числі лопатей

Меридіанна швидкість на виході з робочого колеса

$$V_{m2} = \frac{Q \cdot k_2}{\pi \cdot D_2 b_2} \quad (3.41)$$

$$V_{m2} = \frac{0,111 \cdot 1,095}{3,14 \cdot 0,417 \cdot 0,038} = 2,4 \text{ м/с}$$

Колова складова абсолютної швидкості на виході з робочого колеса при  $z=\infty$

$$V_{u2\infty} = U_2 - \frac{V_{m2}}{\operatorname{tg}\beta_2} \quad (3.42)$$

$$V_{u2\infty} = 21,8 - \frac{2,4}{\tan 72^\circ} = 21,04 \text{ м/с.}$$

Теоретичний напір при  $z=\infty$

$$H_{m\infty} = \frac{U_2 V_{u2\infty}}{g} \quad (3.43)$$

$$H_{m\infty} = \frac{21,8 \cdot 21,04}{9,81} = 46,8 \text{ м.}$$

Поправка на кінцеве  $y$   
число лопатей визначається за  
графіком  $y=f(\beta_2)$

Приймаємо  $y=0,895$ .

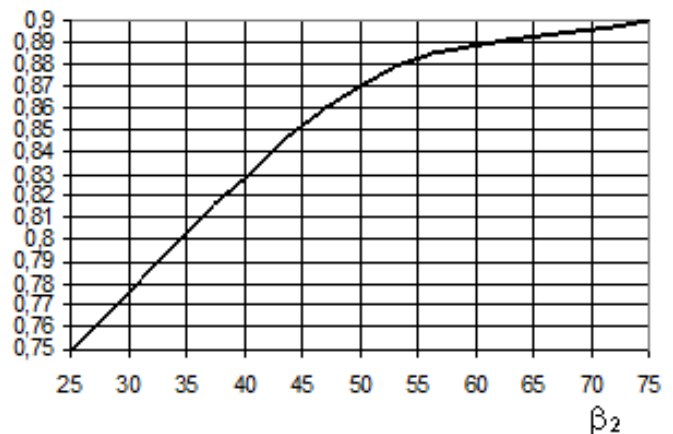


Рисунок 3.6 – Залежність  $y = f(\beta_2)$

Теоретичний напір при  
кінцевому числі лопатей

$$H_m = y H_{m\infty} \quad (3.44)$$

$$H_T = 0,895 \cdot 46,8 = 41,9 \text{ м}$$

### 3.2.2. Проектування меридіанного перерізу робочого колеса

#### Загальні положення

Зробивши всі необхідні розрахунки щодо визначення геометричних розмірів та параметрів робочого колеса, приступаємо до побудови меридіанного перерізу робочого колеса.

З урахуванням конструктивних міркувань вибираємо положення втулки, намічаємо контур меридіанного перерізу колеса, керуючись при цьому такими рекомендаціями:

- контури меридіанного перерізу повинні бути плавно окресленими. Кожна зі стінок утворюється двома відрізками прямих, з'єднаних одним або декількома радіусами;
- нахил стінок на виході  $\gamma_1 = \gamma_2 = 0 - 5^\circ$ . Можливі випадки  $\gamma_1 \neq \gamma_2$  (тоді  $\gamma_1 > 5^\circ$ , а  $\gamma_2 = 0$ );
- при виборі окреслень стінок необхідно уникати як надмірного збільшення осьового розміру робочого колеса, так і значного його зменшення;
- площа нормального перерізу проточної частини робочого колеса повинна плавно зростати від входу до виходу.

Рекомендації з проектування меридіанного перетину і профілізації лопаті відкритого робочого колеса: аналіз літературних даних і результати випробувань показали, що форма меридіанного перетину практично не впливає на характеристики насосів з НВРК і ВРК. Тому доцільно вибирати більш просту форму меридіанного перетину з метою зниження трудомісткості виготовлення робочого колеса і полегшення складання насоса. Перевірка розрахункових площ в меридіанному перетині виконується за методикою,



такою як і для ЗРК; лопать профілюється за тією ж методикою, що і в ЗРК. Але так як форма лопаті (просторова або циліндрична) не впливає на енергетичні характеристики насоса з НВРК і ВРК, тому лопать може бути виконана більш простої циліндричної форми по всій довжині, крім вхідної ділянки, яка виконується просторовою з метою поліпшення кавітаційних характеристик; форма вирізу в ВРК повинна вибиратися близькою до аналогу з умови забезпечення необхідної розвантаження осьового зусилля.

### Методика побудови меридіанного перерізу

Контури меридіанного перерізу знаходимо методом послідовних наближень.

Намічаємо попередньо «на око» контури перерізу.

Для того щоб з'ясувати характер зміни площі нормального перерізу проточної частини колеса для наміченого меридіанного перерізу, необхідно побудувати графік  $F = f(l)$ , де  $l$  - відстань вздовж середньої лінії меридіанного перерізу колеса від входу до виходу. При цьому робимо так: у намічений меридіанний переріз колеса вписуємо тонкими лініями від входу до виходу 8–10 кіл. У зоні повороту потоку кола розташовуємо густіше. Центр першого кола розміщується на лінії, проведеної перпендикулярно до осі колеса через точку, розміщену на відстані  $l_1$  від центра дуги радіусом  $R_1$ . Центр останнього кола розміщується на лінії, що визначається зовнішнім діаметром колеса.

З'єднуючи центри вписаних кіл плавною лінією, отримуємо середню геометричну лінію меридіанного перерізу. Центри вписаних кіл нумеруємо цифрами 1, 2, 3, ... від входу до виходу

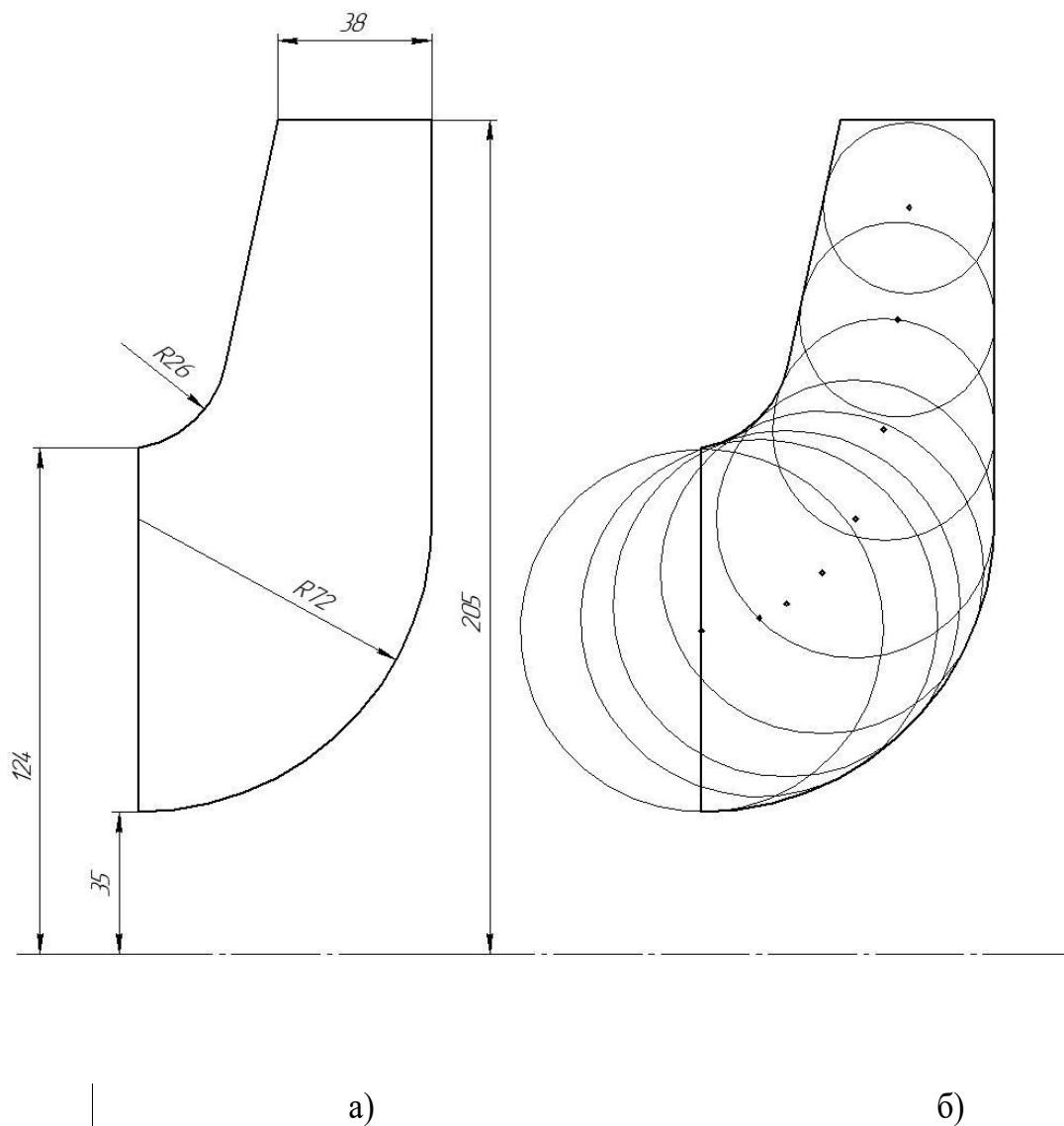


Рисунок 3.7 – Меридіанний переріз робочого колеса

Обчислюємо площі нормальних перерізів:

- початкового (на вході у робоче колесо):

$$F_{\text{вх}} = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - d_{\text{см}}^2) \quad (3.45)$$

$$F_{\text{вх}} = \frac{3,14}{4} (248^2 - 70^2) = 44456 \text{ мм}^2$$

- кінцевого (на виході з колеса):

$$F_{\text{вих}} = \pi D_2 b_2 \quad (3.46)$$

$$F_{\text{вих}} = 3,14 \cdot 420 \cdot 53 = 48946 \text{ мм}^2$$

- проміжних:

$$F_i = 2\pi r_i b_i \quad (3.47)$$

Величини  $r_i$  та  $b_i$  визначаються з креслення.

Результати обчислень зводяться до таблиці 1.1.

Таблиця 3.3 – Розрахунок площ

№	r, мм	b, мм	F, мм <sup>2</sup>
1	79,57	89,13	44560
2	82,63	87,67	45516
3	86,13	85,14	46075
4	93,8	78,4	46213
5	106,9	69,27	46530
6	128,9	57,9	46958
7	155,9	48,76	47764
8	183,4	42,12	48536

За даними таблиці 3.3 будуюмо графік  $F = f(l)$ .

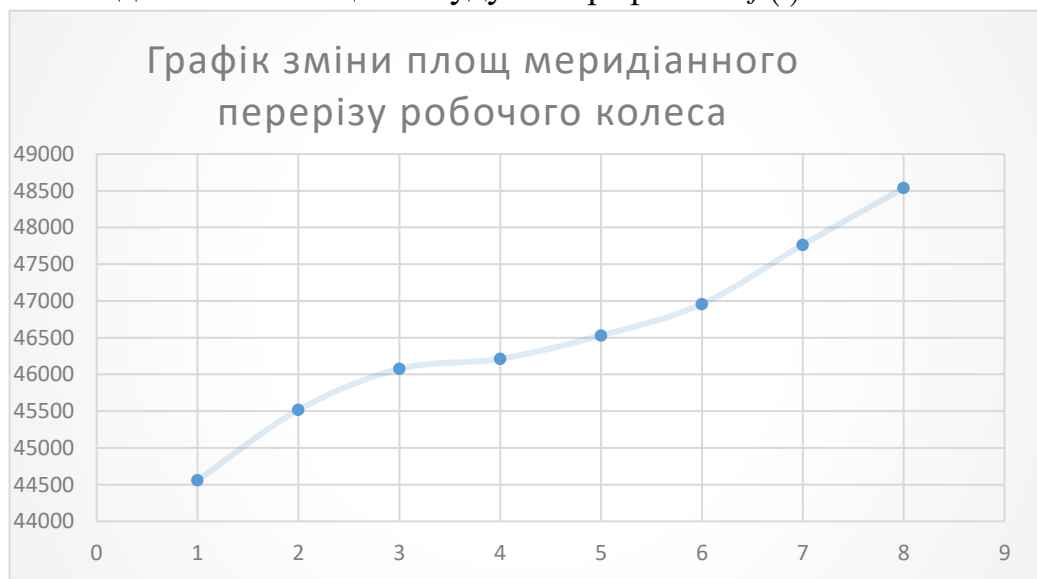


Рисунок 3.8 – Графік зміни площ меридіанного перерізу робочого колеса

## Підготовка меридіанного перерізу робочого колеса для профілювання лопаті

Підготовка меридіанного перерізу колеса полягає у побудові розрахункових ліній течії. Для побудови розрахункових ліній течії (струминок) необхідно на меридіанному перерізі колеса спочатку побудувати нормалі та прийняти розподіл меридіанної швидкості у перерізах колеса вздовж нормалей.

Лінії течії утворюються перетином поверхонь струму меридіанній площиною. По ширині меридіанного перетину робочого колеса меридіанна швидкість  $V_m$  розподіляється нерівномірно, причому нерівномірність тим більше, чим ширше канал і менше радіус повороту потоку. Точний розподіл  $V_m$  уздовж нормалей невідомо.

При проектуванні відцентрових робочих коліс широкого поширення набула гіпотеза рівношвидкісного потоку, по якій меридіанна швидкість  $V_m$  приймається постійною уздовж нормалі. Теоретичного обґрунтування механізму рівношвидкісного потоку немає, але практика показала, що робочі колеса відцентрових насосів, розраховані за прийнятою спрощеною схемою ( $V_m = \text{const}$  вздовж нормалі), досить добре забезпечують задані параметри і форма поверхонь при цьому виходить плавною.

Метод побудови рівношвидкісного потоку безпосередньо впливає з його визначення. Потік будується послідовним наближенням в заданому меридіанном перетині. Поверхні дисків робочого колеса приймаються за крайні лінії течії. Проміжні лінії течії проводять таким чином, щоб вони ділили меридіанний перетин робочого колеса на ділянки, за якими протікав би однаковий витрата рідини. Кількість таких ділянок залежить від коефіцієнта швидкохідності  $n_s$ .

## Побудова нормалей

У меридіанний переріз вписуються тонкими лініями рівномірно від входу до виходу 8-10 кіл. Будуються нормалі до кожної лінії течії, нумеруються від входу до виходу.

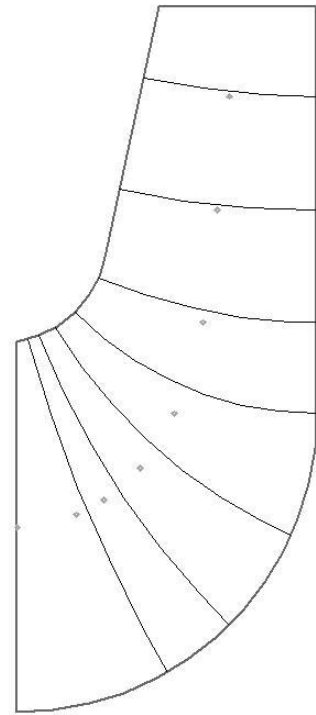


Рисунок 3.9 – Побудова нормалей

## Побудова ліній течії

Лінії течії утворюються перерізом поверхонь течії меридіанною площиною. По ширині меридіанного перерізу робочого колеса меридіанна швидкість рідини  $V_m$  розподіляється нерівномірно, причому нерівномірність тим більша, чим ширшим є канал та меншим радіус. Розрахунок робочого колеса відцентрових насосів ведеться за прийнятою спрощеною схемою ( $V_m = const$ ). Розрахункові лінії течії зручно проводити таким чином, щоб вони ділили меридіанний переріз робочого колеса на ділянки, у яких протікала б однакова кількість рідини. Кількість таких ділянок залежить від  $n_s$ . Для  $n_s=108$  кількість потоків  $k=2$ , кількість розрахункових перерізів (ліній течії)  $n=3$ .

Таким чином, за умови рівношвидкісного потоку, що відповідає постійності меридіанної швидкості  $V_m$  вздовж даної нормалі, через кожен струминку, окреслену лініями течії, протікають рівні кількості рідини:

$$q = \frac{Q_{p.k}}{k} = 2\pi V_m (r_{\psi.m} l)_1 = 2\pi V_m (r_{\psi.m} l)_2 = 2\pi V_m (r_{\psi.m} l)_k \quad (3.48)$$

Оскільки швидкість  $V_m$  вздовж нормалі стала, то наведена вище умова матиме вигляд

$$r_{\psi.m} l = const \quad (3.49)$$

Відхилення між добутками на одній нормалі не перевищує 5%.

Отримані результати зводимо у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Лінії течії

№ точки	$l, \text{мм}$	$r, \text{мм}$	$l \times r, \text{мм}^2$	$l, \text{мм}$	$r, \text{мм}$	$l \times r, \text{мм}^2$
2	28,31	94,08	2663,40	44,97	57,36	2579,48
3	30,56	98,53	3011,08	49,98	60,08	3002,80
4	34,12	103,42	3528,69	50,11	70,5	3532,76
5	35,5	112,44	3991,62	42,63	94,25	4017,88
6	33,14	124,49	4125,60	35,01	116,44	4076,56
7	31,12	137,76	4287,09	31,57	134,13	4234,48
8	29,82	157,21	4688,00	29,82	155,13	4625,98
9	28,07	182,18	5113,79	28,07	180,23	5059,06
10	26,56	203,74	5411,33	26,56	201,89	5362,20

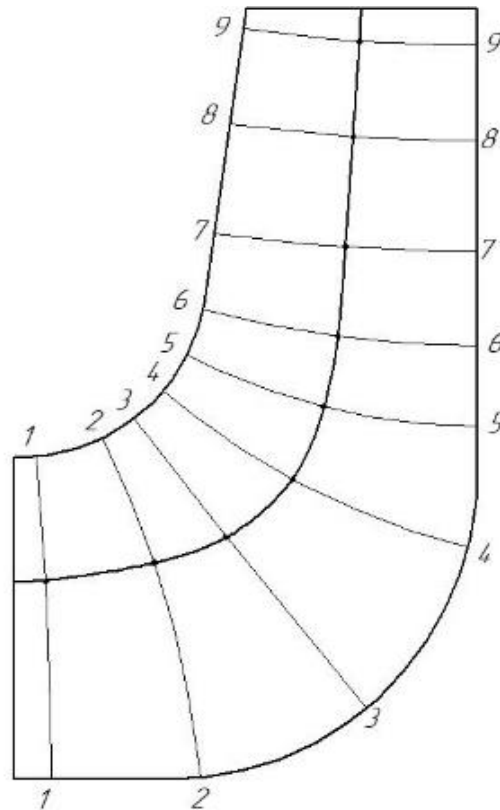


Рисунок 3.10 – Побудова ліній течії

### 3.2.3. Профілювання лопаті

#### Побудова координатної сітки на розгортці циліндра

Координатна сітка необхідна для встановлення взаємозв'язку між відповідними точками поверхні течії та конформної діаграми.

Приймаємо  $R_{к.ц} = 150 \text{ мм.}$ ;  $\Theta = 500$ ,  $\Delta\varphi = 50$ .

Розміри  $\Delta S$  та  $\Delta L$  визначаємо за формулами:

$$\Delta L = \frac{R_{к.ц}}{C} \quad (3.50)$$

де  $C$  - стала, що, як правило, береться такою, що дорівнює 10 (для спрощення розрахунків);

$$\Delta L = \frac{150}{10} = 15 (\text{мм})$$

$$\Delta S = \frac{\pi R_{\text{к.ц.}} \Delta \varphi^\circ}{180^\circ} \quad (3.51)$$

$$\Delta S = \frac{3,14 \cdot 150 \cdot 5^\circ}{180^\circ} = 13 (\text{мм})$$

Побудова конформного відображення координатної сітки на поверхні течії

Ця побудова полягає у розбивці усіх розрахункових ліній течії а, b, с (рис. 3.9) на відрізки  $\Delta l$  за умовами конформності

$$\frac{r_{icc}}{\Delta l_i} = \frac{R_{\text{к.ц.}}}{\Delta L} = \text{const} \quad (3.52)$$

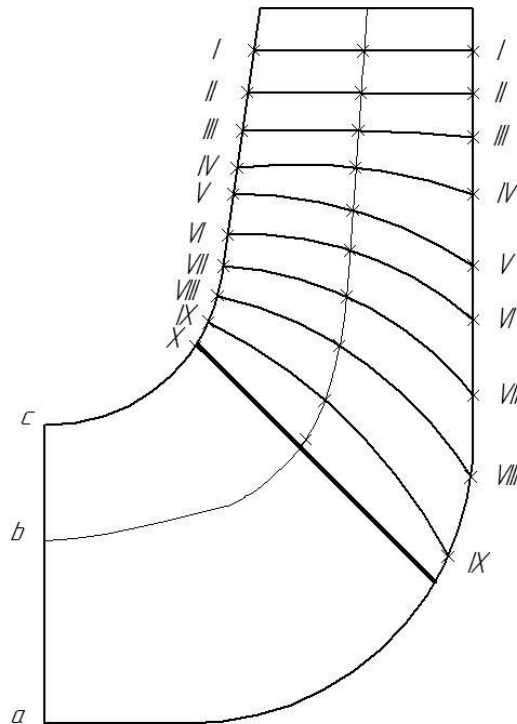


Рисунок 3.11 – Розбивка ліній течії



Обчислення з розбивки лінії течії на відрізки  $\Delta l$  зручно виконувати у табличній формі (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Лінія течії

№	Точки покривного диску			Точки лінії течії			Точки основного диску		
	$r_i$	$l_i$	$r_i/l_i$	$r_i$	$l_i$	$r_i/l_i$	$r_i$	$l_i$	$r_i/l_i$
1	195,5	19,5	10,03	195,3	19,5	10,02	195,25	19,5	10,01
2	177,37	17,7	10,02	176,84	17,6	10,05	176,75	17,5	10,10
3	160,93	15,9	10,12	160,26	15,75	10,18	160,05	15,9	10,07
4	146,13	14,5	10,08	145,27	14,45	10,05	144,88	14,45	10,03
5	134,04	13,2	10,15	131,47	13,1	10,04	131,1	13,1	10,01
6	126,65	12,5	10,13	119,56	11,9	10,05	118,63	11,85	10,01
7				108,89	10,8	10,08	107,35	10,7	10,03
8				99,75	9,9	10,08	97,2	9,7	10,02
9				92,24	9,2	10,03	88,14	8,8	10,02

### Профілювання поверхні лопаті на розгортці циліндра

Перенесення точок на конформну діаграму здійснюється за допомогою властивостей конформного відображення за залежністю

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta X}{x} \quad (3.53)$$

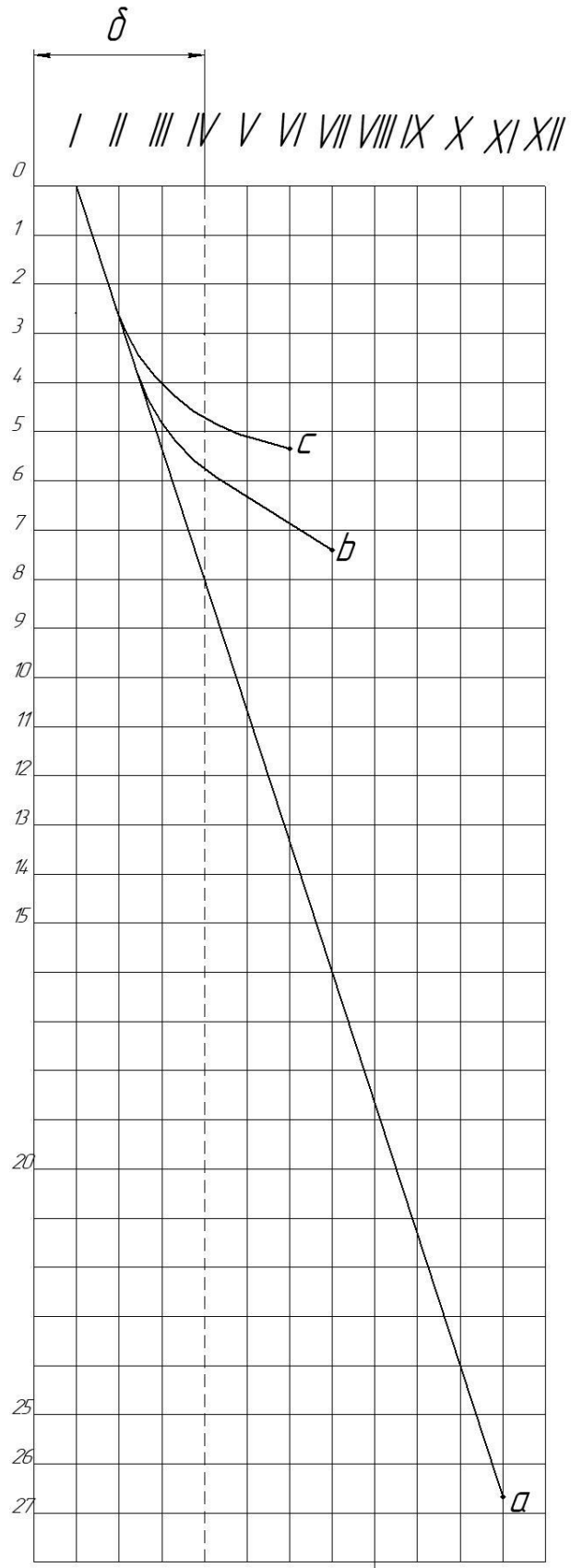


Рисунок 3.12 – Конформна діаграма

## Побудова лопаті у плані

Побудова лопаті у плані зображена на рис. 3.13

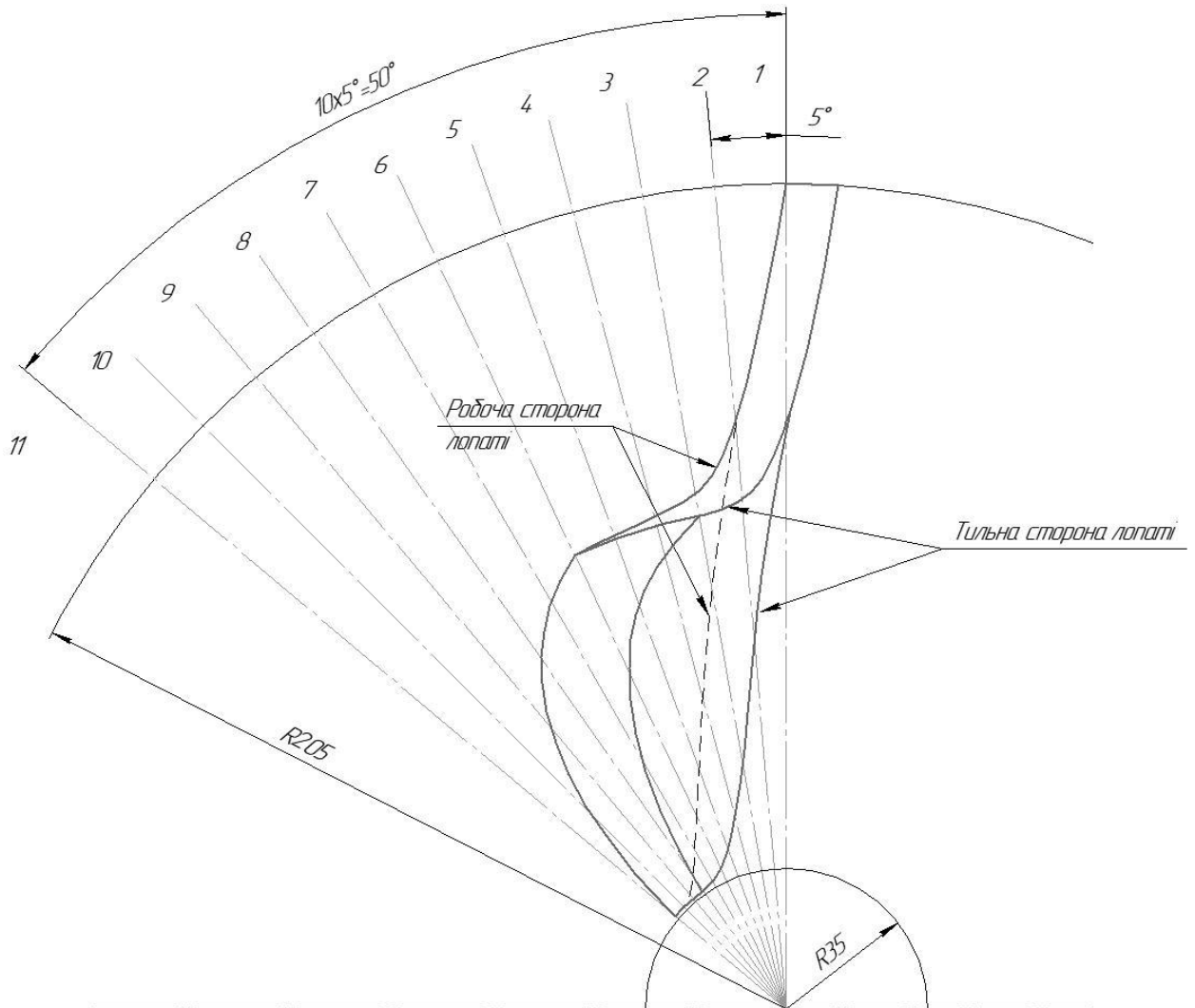


Рисунок 3.13 – Побудова лопаті у плані

На меридіанній проекції вимірюють відстані  $R_i$  та  $r_i$  від осі робочого колеса до точок перетину меридіанних перерізів з лініями течії на основному та покривному дисках і переносять ці відстані на план. Отримані точки з'єднують плавними кривими, отримуючи таким чином робочі сторони лопаті по основному та покривному дисках. Потім на плані відкладають нормальні товщини лопаті  $s_i$  та будують тильну сторону лопаті.

### 3.3. Проектування відцентрового закритого робочого колеса

#### 3.3.1. Розрахунок гідравлічних та геометричних параметрів

##### Визначення основних геометричних параметрів

Коефіцієнт швидкості

$$n_s = \frac{3,65n\sqrt{Q'}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

(3.54)

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 1000 \cdot \sqrt{0,111}}{25^{\frac{3}{4}}} = 108,8$$

Приведений діаметр робочого колеса визначається за формулою Суханова, мм:

$$D_{1np} = K_{ex} \sqrt[3]{\frac{Q'}{n}}$$

(3.55)

$$D_{1np} = 5 \sqrt[3]{\frac{0,111}{1000}} = 0,24 \text{ м}$$

Подача робочого колеса

$$Q_{p.k.} = \frac{Q'}{\eta_{об}} \tag{3.56}$$

$$Q_{PK} = \frac{0,111}{0,971} = 0,114$$

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + 0,68n_s^{\frac{2}{3}}} \tag{3.57}$$

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot 1000^{-\frac{2}{3}}} = 0,971$$

Повний ККД насоса

$$\eta = \eta_{об} \eta_{Г} \eta'_{М} \eta_{М} \quad (3.58)$$

Гідравлічний ККД

$$\eta_{Г} = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2} \quad (3.59)$$

$$\eta_{Г} = 1 - \frac{0,42}{(\lg 0,216 - 0,172)^2} = 0,835$$

Внутрішній механічний ККД

$$\eta'_{М} = \frac{1}{1 + 820 n_s^{-2}} \quad (3.60)$$

$$\eta'_{М} = \frac{1}{1 + 820 \cdot 1000^{-2}} = 0,935$$

Зовнішній механічний ККД задаємо  $\eta_i = 0,95 - 0,99$ .

$$\eta = \eta_{об} \cdot \eta_{Г} \cdot \eta'_{М} = 0,971 \cdot 0,835 \cdot 0,935 = 0,75$$

Потужність, споживана насосом (Вт), визначається за формулою

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (3.61)$$

$$N = \frac{1220 \cdot 9,81 \cdot 0,111 \cdot 25}{0,75} = 44261 \text{ Вт}$$

Теоретичний напір робочого колеса, м:

$$H_T = \frac{H}{\eta_{Г}} \quad (3.62)$$

$$H_T = \frac{25}{0,835} = 29,9 \text{ м}$$

Визначення діаметра вала та втулки робочого колеса

У першому наближенні діаметр вала, мм, визначається з розрахунку на кручення за формулою

$$d_\varepsilon = \sqrt[3]{\frac{M \cdot 16}{\pi \cdot [\tau_k]}} \quad (3.63)$$

$$M = \frac{N_{\max} \cdot 30}{\pi n} \quad (3.64)$$

$$N_{\max} = 1,1 \cdot N \quad (3.65)$$

$$N_{\max} = 1,1 \cdot 44261 = 48687 \text{ Вт}$$

Обираємо двигун з запасом  $N$  на 10-20%. Обираємо асинхронний двигун АІР 250М6 з наступними параметрами  $N=55$  кВт,  $n=1000$  об/хв.

$$M = \frac{48687 \cdot 30}{3,14 \cdot 1000} = 464 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$d_\varepsilon = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 464}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,049 \text{ м}$$

Отримане значення діаметра округляють згідно ГОСТ 6636-69.

Приймаємо

$$d_\varepsilon = 50 \text{ мм.}$$

Діаметр втулки, мм, орієнтовно вибирають з виразу

$$d_{\text{вт}} = (1,2 - 1,25)d_\varepsilon \quad (3.66)$$

$$d_{\text{вт}} = (1,2 - 1,25) \cdot 50 = 0,06 - 0,063 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_{\text{BT}} = 70$  мм

Визначення геометричних параметрів входу у робоче колесо

Діаметр вхідної воронки робочого колеса, мм, визначають з виразу

$$D_0 = \sqrt{D_{\text{inp}}^2 + d_{\text{em}}^2} \quad (3.67)$$

$$D_0 = \sqrt{0,24^2 + 0,07^2} = 0,25 \text{ м}$$

Швидкість потоку на вході у робоче колесо

$$V_0 = \frac{4Q_{\text{p.k.}}}{\pi \cdot D_{\text{inp}}^2} \quad (3.68)$$

$$V_0 = \frac{4 \cdot 0,111}{3,14 \cdot 0,24^2} = 2,52 \text{ м/с}$$

Задаємося положенням вхідної кромки, яка, як правило, розміщується у зоні повороту потоку з осьового напрямку у радіальний під кутом 45-30° до осі насоса. При цьому визначають радіус середньої точки  $R_1 = \frac{D_1}{2}$ , за яким ведеться розрахунок кута потоку на вході  $\beta_{1П}$ .

Визначимо орієнтовне значення діаметра положення вхідної кромки

$$D_1 = 0,8D_0 \quad (3.69)$$

$$D_1 = 0,8 \cdot 0,25 = 0,2 \text{ м}$$

При вході потоку на лопать меридіанна складова абсолютної швидкості визначається виразом:

$$V_{1m} = \Psi_1 \cdot V_0 \quad (3.70)$$

$$V_{1m} = 1,15 \cdot 2,5 = 3,2 \text{ м/с}$$

Кут потоку на вході, град, розраховують з трикутника швидкостей за формулою

$$\beta_{1\Pi} = \text{arctg} \frac{V_{1m}}{U_1 - V_{1U}} \quad (3.71)$$

Переносна швидкість:

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} \quad (3.72)$$

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,2 \cdot 1000}{60} = 10,4 \text{ м/с}$$

У консольних та відцентрових насосах  $V_{1U} = 0$ .

$$\beta_{1\Pi} = \text{tg} \left( \frac{V_{1m}}{U_1} \right) = \text{tg} \left( \frac{2,5}{10,4} \right) = 15^\circ 32'$$

Кут нахилу лопаті на вході у робоче колесо, град:

$$\beta_1 = \beta_{1\Pi} + \Delta\beta \quad (3.73)$$

де  $\Delta\beta = 3 - 8^\circ$  - кут атаки, вводиться з метою зменшення гідравлічних втрат в області робочого колеса та покращання його кавітаційних властивостей.

$$\beta_1 = 15^\circ 32' + 8^\circ = 23^\circ 32'$$

Визначення числа лопатей та їх товщини

Більшість відцентрових насосів різних розмірів та коефіцієнтів швидкохідності з високими техніко-економічними показниками має число лопатей  $z=5-9$ .



Товщину лопаті робочого колеса вибирають з технологічних міркувань (залежно від матеріалу робочого колеса, його розмірів та технологічних ливарних можливостей підприємства). Орієнтовно можна взяти товщину лопаті на вході у робоче колесо мм при мм.

Приймаємо кількість лопатей  $z=9$ , товщина лопаті на вході у робоче колесо  $s_1=7$  мм.

#### Уточнення коефіцієнта стиснення потоку

Після вибору числа лопатей та їх товщини уточнюють значення  $\Psi'_1$  за формулою

$$\Psi'_1 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot s_1}{2\pi \cdot D_1 \sin \beta_1}} \quad (3.74)$$

$$\psi_1 = \frac{1}{1 - \frac{9 \cdot 0,007}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot \sin(23^\circ 32')}} = 1,144$$

Повинна бути забезпечена умова  $|\Psi'_1 - \Psi_1| \leq 0,01$ .

$$|1,15 - 1,144| = 0,006 \leq 0,01$$

Умова виконується.

Ширину робочого колеса на вході знаходять з виразу:

$$b_1 = \frac{Q_{p.k}}{\pi D_1 V_{1m}} \quad (3.75)$$

$$b_1 = \frac{0,111}{3,14 \cdot 0,2 \cdot 2,5} = 0,063 \text{ м}$$

Визначення геометричних параметрів виходу з РК

Попереднє значення зовнішнього діаметра робочого колеса(при нескінченному числі лопатей):

$$D_2 = m_2 \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{n}$$

$$m_2 = 19,2 \left( n_s / 100 \right)^{\frac{1}{6}} = 19,37$$

$$D_2 = 19,37 \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 25}}{1000} = 0,429 \text{ м}$$

Кут установки лопаті на виході з робочого колеса:

$$\beta_2 = \arcsin \left[ \left( \frac{W_1}{W_2} \right)_{\text{опт}} \cdot \frac{\psi_2}{\psi} \cdot \frac{V_{m1}}{V_{m2}} \cdot \sin(\beta_1) \right]$$

$$\left( \frac{W_1}{W_2} \right)_{\text{опт}} = 5,68 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^2 - 18,23 \cdot 10^{-3} \cdot n_s + 2,65$$

$$\left( \frac{W_1}{W_2} \right)_{\text{опт}} = 1,29$$

$$\psi_2 = 1,36$$

$$\beta_2 = 17^\circ 42'$$

Уточнення зовнішнього діаметра робочого колеса з урахуванням кінцевого числа лопатей

Уточнений зовнішній діаметр робочого колеса знаходиться з виразу

$$D_2 = \frac{60U_2}{\pi \cdot n} \tag{3.76}$$

де  $U_2$  - колова швидкість на виході з робочого колеса.

$$U_2 = \frac{V_{2m}}{2tg\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{V_{2m}}{2tg\beta_2}\right)^2 + gH_{T\infty} + V_{1U}U_1} \quad (3.77)$$

$$H_{T\infty} = \frac{H}{\eta_r K_z} \quad (3.78)$$

Поправку  $K_z$  на кінцеве число лопатей визначаємо за формулою

Пфлейдерера:

$$K_z = \frac{1}{1+p} \quad (3.79)$$

де

$$p = 2 \frac{\Psi}{z} \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2} \quad (3.80)$$

Коефіцієнт  $\Psi$  визначається залежно від  $n_s$ :

$$\Psi = (0,55 - 0,65) + 0,6 \sin \beta_2 \quad (3.81)$$

$$\psi = 0,6 + 0,6 \cdot \sin(23^\circ 32') = 0,738$$

$$p = 2 \cdot \frac{0,738}{7} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{0,2}{0,429}\right)^2} = 0,223$$

Поправка на кінцеве число лопатей

$$K_s = \frac{1}{1 + 0,223} = 0,818$$

Теоретичний напір при нескінченному числі лопатей

$$H_{T\infty} = \frac{25}{0,818 \cdot 0,835} = 36,5 \text{ м}$$

За формулою (3.77) визначаємо колову швидкість на виході із р.к.:

$$U_2 = \frac{1,9}{2 \cdot \operatorname{tg}(17^\circ 42')} + \sqrt{\left(\frac{1,9}{2 \cdot \operatorname{tg}(17^\circ 42')}\right)^2 + 9,81 \cdot 36,5} = 22,3 \text{ м/с}$$

Уточнений зовнішній діаметр р.к. за формулою (3.76):

$$D_2 = \frac{60 \cdot 22,3}{3,14 \cdot 1000} = 0,425 \text{ м}$$

Уточнення коефіцієнта стиснення потоку на виході з робочого колеса

Визначивши,  $s_2=0,012$  та  $D_2 = 0,425$  м уточнюємо коефіцієнт стиснення потоку на виході з робочого колеса:

$$\Psi'_2 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot s_2}{\pi D_2 \sin \beta_2}} \quad (3.82)$$

$$\psi_2 = \frac{1}{1 - \frac{9 \cdot 0,012}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,425 \cdot \sin(17^\circ 42')}} = 1,36$$

При цьому повинна бути забезпечена умова  $|\Psi'_2 - \Psi_2| \leq 0,01$ .

$|1,36 - 1,36| = 0 \leq 0$  - умова виконується.

Ширину робочого колеса на виході знаходять з виразу

$$b_2 = \frac{Q_{p.k}}{\pi D_2 V_{2m}} \quad (3.83)$$

$$b_2 = \frac{0,111}{3,14 \cdot 0,425 \cdot 1,9} = 0,043 \text{ м}$$

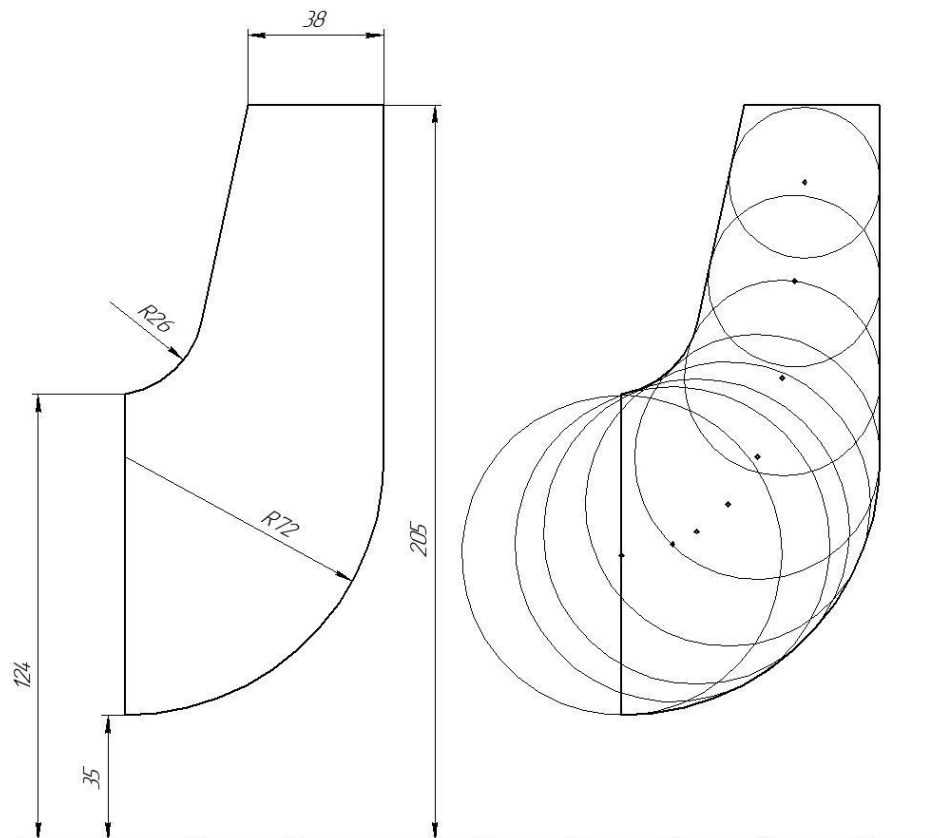
Приймаємо  $b_2 = 38 \text{ мм}$ .

### 3.3.4. Проектування меридіанного перерізу робочого колеса

#### Загальні положення

Зробивши всі необхідні розрахунки щодо визначення геометричних розмірів та параметрів робочого колеса, приступаємо до побудови меридіанного перерізу робочого колеса.

#### Методика побудови меридіанного перерізу



а)

б)

Рисунок 3.14 – Меридіанний переріз робочого колеса

Обчислюємо площі нормальних перерізів:

- початкового (на вході у робоче колесо):

$$F_{\text{вх}} = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - d_{\text{ам}}^2) \quad (3.84)$$

$$F_{\text{вх}} = \frac{3,14}{4} (248^2 - 70^2) = 44456 \text{ мм}^2$$

- кінцевого (на виході з колеса):

$$F_{\text{вих}} = \pi D_2 b_2 \quad (3.85)$$

$$F_{\text{вих}} = 3,14 \cdot 420 \cdot 53 = 48946 \text{ мм}^2$$

- проміжних:

$$F_i = 2\pi r_i b_i \quad (3.86)$$

Величини  $r_i$  та  $b_i$  визначаються з креслення.

Таблиця 3.6 – Визначення проміжних площ

№	r, мм	b, мм	F, мм <sup>2</sup>
1	79,57	89,13	44560
2	82,63	87,67	45516
3	86,13	85,14	46075
4	93,8	78,4	46213
5	106,9	69,27	46530
6	128,9	57,9	46958
7	155,9	48,76	47764
8	183,4	42,12	48536

За даними таблиці 3.6 будуємо графік  $F = f(l)$ .

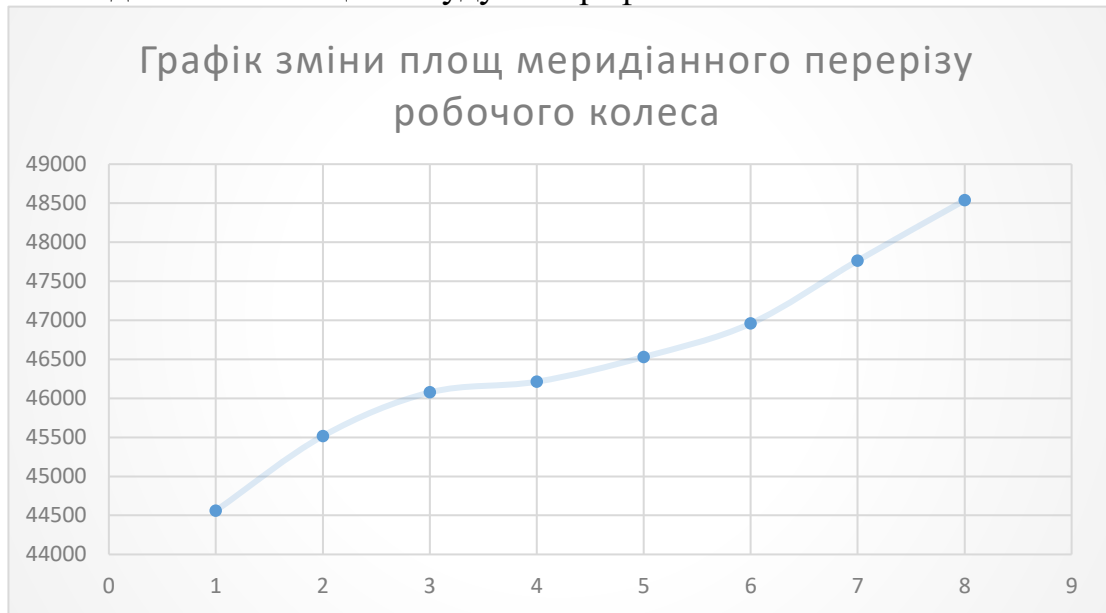


Рисунок 3.15 – Графік зміни площ меридіанного перерізу  
робочого колеса

### Побудова нормалей

У меридіанний переріз вписуються тонкими лініями рівномірно від входу до виходу 8-10 кіл. Будуються нормалі до кожної лінії течії, нумеруються від входу до виходу (рис. 3.16)

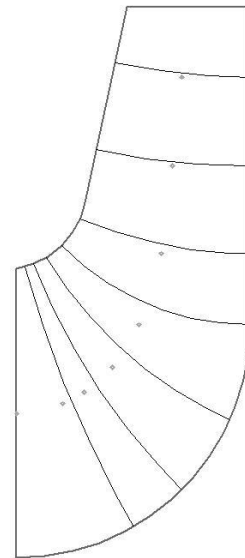


Рисунок 3.16 – Побудова нормалей

## Побудова ліній течії

Таблиця 3.7 – Лінії течії

№ точки	$l, мм$	$r, мм$	$l \times r, мм^2$	$l, мм$	$r, мм$	$l \times r, мм^2$
2	28,31	94,08	2663,40	44,97	57,36	2579,48
3	30,56	98,53	3011,08	49,98	60,08	3002,80
4	34,12	103,42	3528,69	50,11	70,5	3532,76
5	35,5	112,44	3991,62	42,63	94,25	4017,88
6	33,14	124,49	4125,60	35,01	116,44	4076,56
7	31,12	137,76	4287,09	31,57	134,13	4234,48
8	29,82	157,21	4688,00	29,82	155,13	4625,98
9	28,07	182,18	5113,79	28,07	180,23	5059,06
10	26,56	203,74	5411,33	26,56	201,89	5362,20

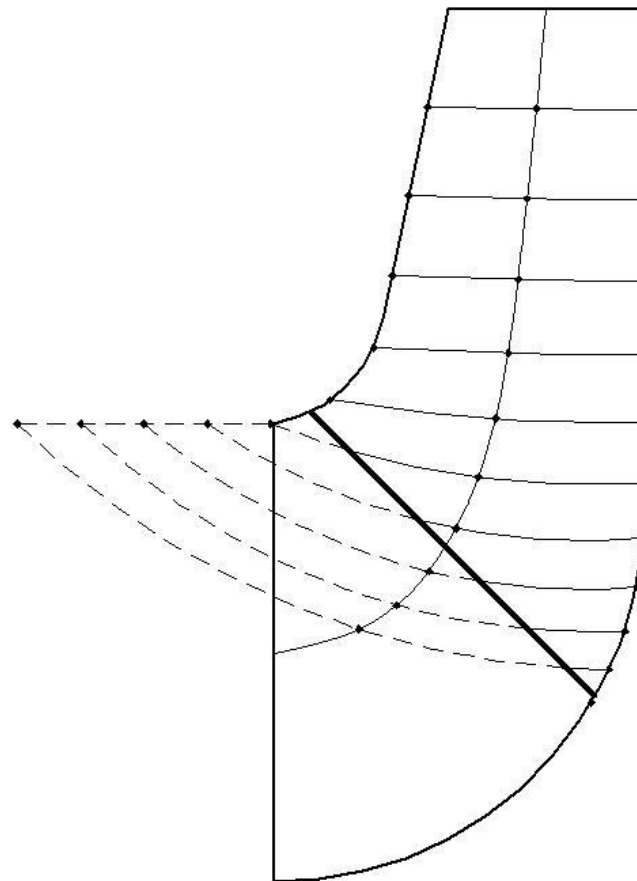


Рисунок 3.17 – Побудова ліній течії



### 3.2.3. Профілювання лопаті

Побудова координатної сітки на розгортці циліндра

Приймаємо  $R_{к.ц} = 150 \text{ мм.}$ ;  $\Theta = 1100$ ,  $\Delta\varphi = 100$ .

Розміри  $\Delta S$  та  $\Delta L$  визначаємо за формулами:

$$\Delta L = \frac{R_{к.ц}}{C} \quad (3.87)$$

$$\Delta L = \frac{150}{10} = 15 (\text{мм})$$

$$\Delta S = \frac{\pi R_{к.ц} \cdot \Delta\varphi^{\circ}}{180^{\circ}} \quad (3.88)$$

$$\Delta S = \frac{3,14 \cdot 150 \cdot 10^{\circ}}{180^{\circ}} = 26 (\text{мм})$$

Побудова конформного відображення координатної сітки на  
поверхні течії

Ця побудова полягає у розбивці усіх розрахункових ліній течії а, б, с (рис. 3.18) на відрізки  $\Delta l$  за умовами конформності

$$\frac{r_{icc}}{\Delta l_i} = \frac{R_{к.ц}}{\Delta L} = const \quad (3.89)$$

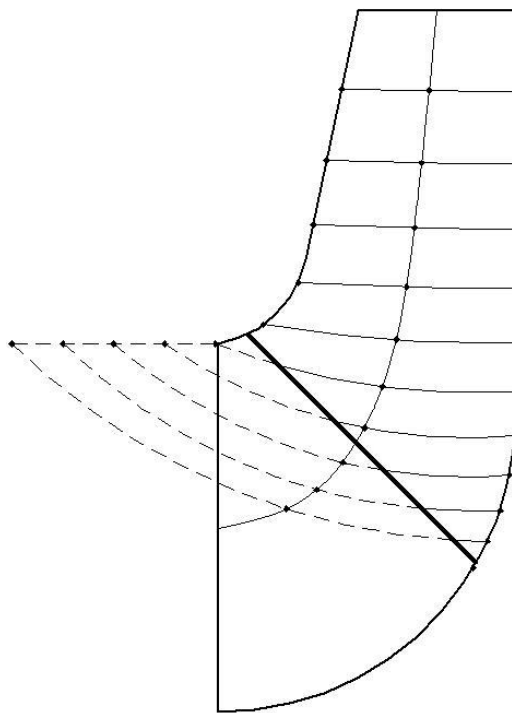


Рисунок 3.18 – Розбивка ліній течії

Таблиця 3.8 – Лінії течії

№	Точки покривного диску			Точки лінії течії			Точки основного диску		
	$r_i$	$l_i$	$r_i/l_i$	$r_i$	$l_i$	$r_i/l_i$	$r_i$	$l_i$	$r_i/l_i$
1	195,5	19,5	10,03	195,3	19,5	10,02	195,25	19,5	10,01
2	177,37	17,7	10,02	176,84	17,6	10,05	176,75	17,5	10,10
3	160,93	15,9	10,12	160,26	15,75	10,18	160,05	15,9	10,07
4	146,13	14,5	10,08	145,27	14,45	10,05	144,88	14,45	10,03
5	134,04	13,2	10,15	131,47	13,1	10,04	131,1	13,1	10,01
6	126,65	12,5	10,13	119,56	11,9	10,05	118,63	11,85	10,01
7				108,89	10,8	10,08	107,35	10,7	10,03
8				99,75	9,9	10,08	97,2	9,7	10,02
9				92,24	9,2	10,03	88,14	8,8	10,02

## Профілювання поверхні лопаті на розгортці циліндра

Перенесення точок на конформну діаграму здійснюється за допомогою властивостей конформного відображення за залежністю

$$\frac{\Delta Y}{y} = \frac{\Delta X}{x}$$

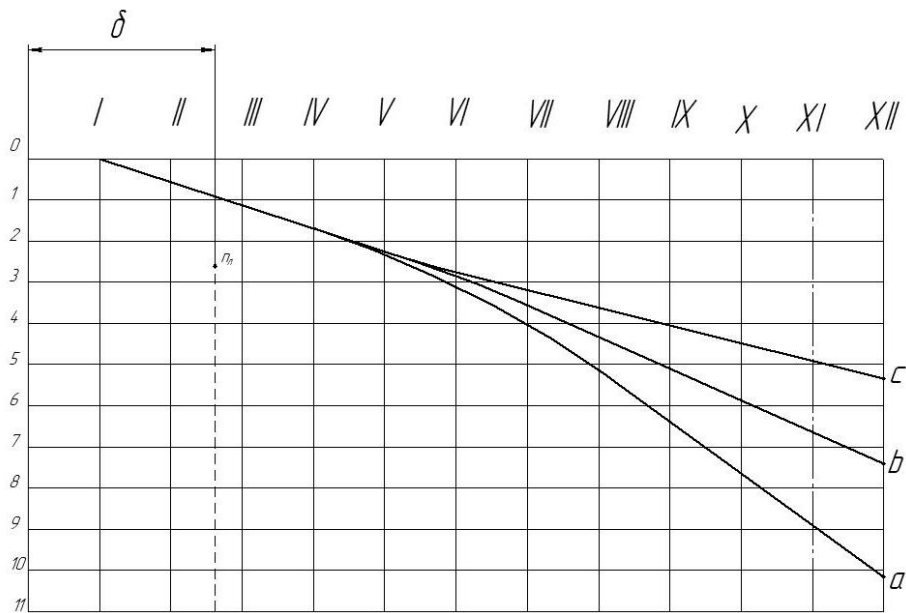


Рисунок 3.19 – Конформна діаграма

## Побудова лопаті у плані

Побудова лопаті у плані зображена на рис. 3.20

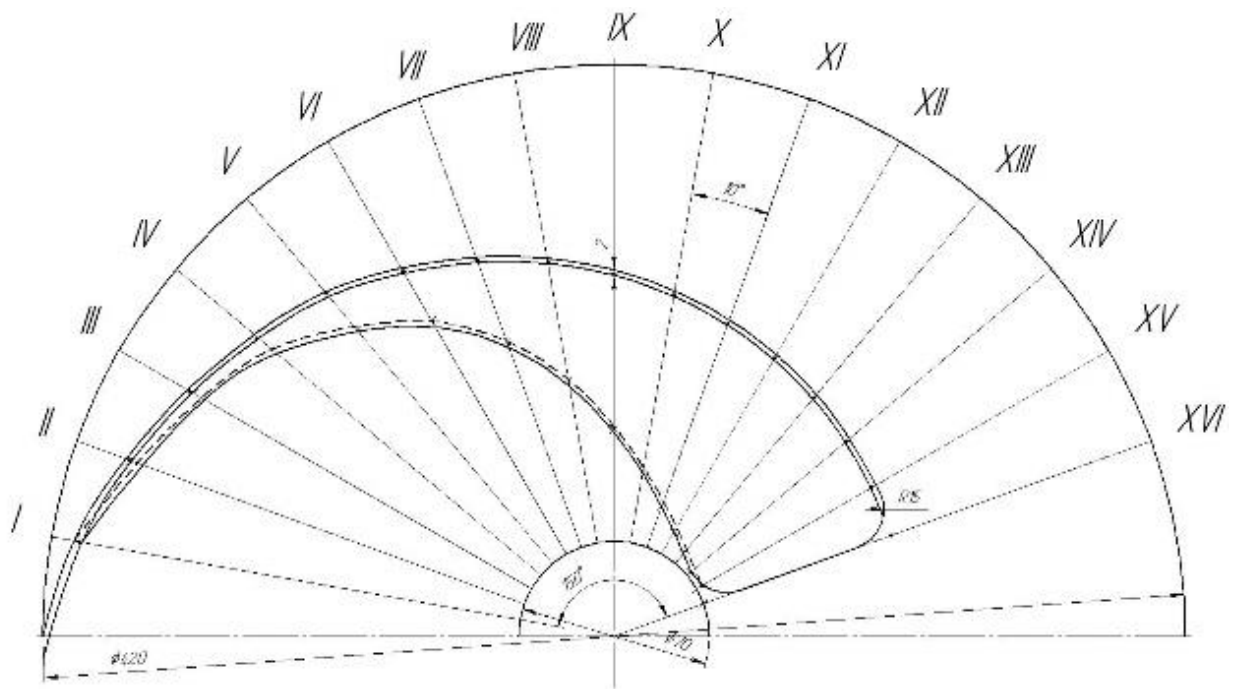


Рисунок 3.20 – Побудова лопаті у плані

На меридіанній проекції вимірюють відстані  $R_i$  та  $r_i$  від осі робочого колеса до точок перетину меридіанних перерізів з лініями течії на основному та покривному дисках і переносять ці відстані на план. Отримані точки з'єднують плавними кривими, отримуючи таким чином робочі сторони лопаті по основному та покривному дисках. Потім на плані відкладають нормальні товщини лопаті  $s_i$  та будують тильну сторону лопаті.

### 3.4. Розрахунок і проектування спірального відводу с тангенціальним виходом

Призначення відводів наступне:

- зібрати рідину за робочим колесом і відвести її до вихідного патрубку;
- погасити момент швидкості рідини, що виходить з робочого колеса;
- перетворити кінетичну енергію в потенційну (зазвичай в дифузори перетворюється від 1/4 до 1/3 напору робочого колеса);
- забезпечити осесиметричний потік за робочим колесом, що створює умови для сталого відносного руху в області робочого колеса.

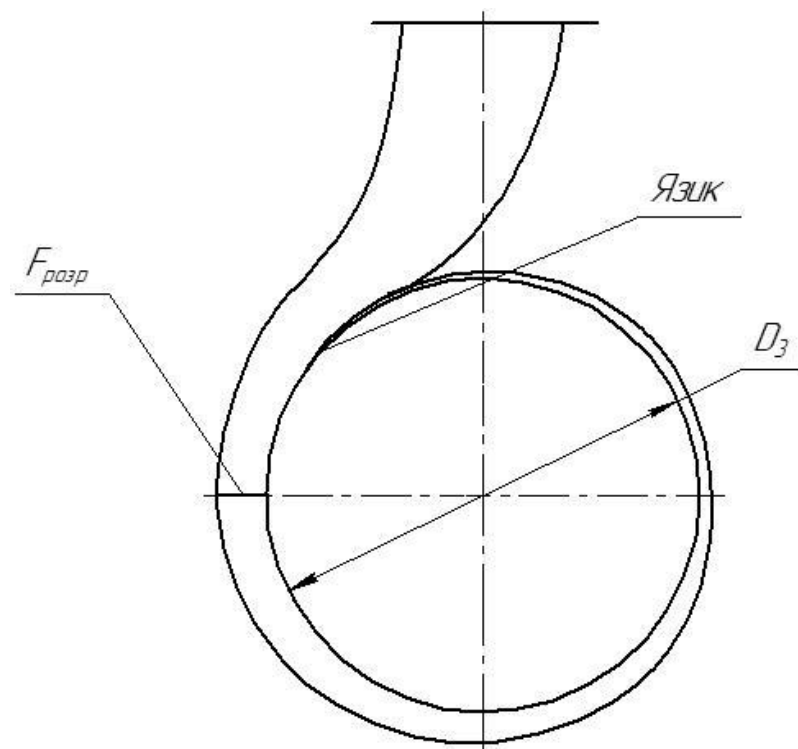


Рисунок 3.21 – Спіральний відвід

Розрахунок і проектування спірально відвода

Визначаємо діаметр початкової окружності  $D_3$  і ширину входу в спіраль  $b_3$ . Їх розміри є постійними для спіральної камери. Діаметр початкової окружності  $D_3$  рекомендують вибирати з умови мінімальних гідравлічних втрат в зазорі між робочим колесом і відведенням і мінімальної віброактивності насоса. Цій умові задовольняє такий вираз для  $D_3$ :

$$D_3 = (1 + n_s \cdot 10^{-3}) \cdot D_2 . \quad (3.90)$$

$$D_3 = (1 + 108 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,42 = 0,455(\text{м})$$

$$\text{Приймаємо } D_3 = 0,412 \text{ м}$$

Ширина входу в спіраль  $b_3$  вибирають в залежності від ширини робочого колеса на виході  $b_2$  :

$$b_3 = b_2 + 0,05 \cdot D_2, \quad (3.91)$$

$$b_3 = 38 + 0,05 \cdot 0,41 = 0,058 \text{ (м)}$$

$$\text{Приймаємо } b_3 = 55$$

### Нахил бічних стінок

Нахил бічних стінок може здаватися ставленням  $a/h$  або кутом  $\gamma$  (рис. 3.24):

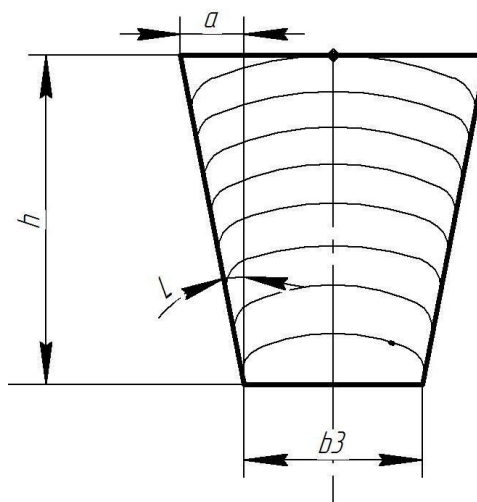


Рисунок 3.22 – Нахил бічних стінок спірального відводу  
 $n_s > 80 \quad \gamma = 14-22^\circ \quad (a/h = 0,25 - 0,4).$ ;

Приймаємо кут  $\gamma = \arctg(0,46) = 25^\circ$ .

### Кут охоплення спіралі в плані

Кут охоплення спіралі  $\varphi_{сп}$  (рис. 3.23) залежить від коефіцієнта швидкохідності  $n_s$  і може бути вибраний з табл. 3.9

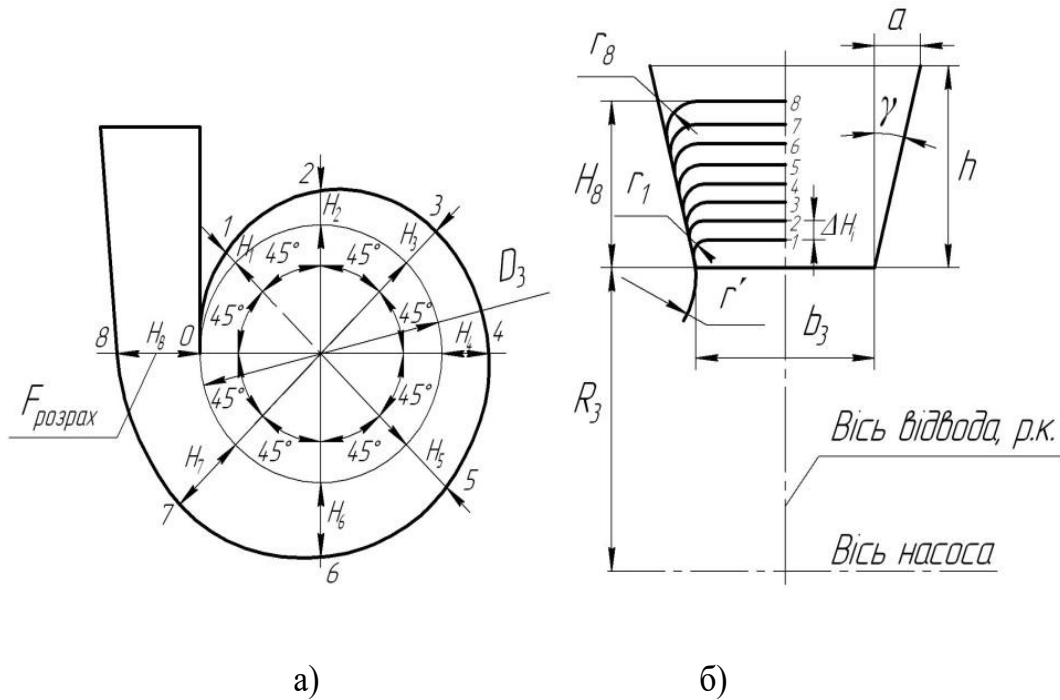


Рисунок 3.23 – План спірального відвода (а) і меридіанний переріз відвода (спіралі) (б)

Таблиця 3.9 – Залежність кута охоплення спіралі від коефіцієнта швидкохідності

$n_s$	50-70	70-90	90-110	110-130	130-150	150-180	180-210	210-240	>240
$\varphi_{сп}$ , град.	360	350	345	340	335	330	325	320	315

При  $n_s=108$  приймаємо  $\varphi_{сп}=345^\circ$

### Визначення пропускної здатності спіралі $A_{сп.розр}$

Визначаємо пропускну здатність спіралі  $A_{сп.розр}$  :

$$A_{сп.расч} = \frac{\varphi_{сп}}{360} \cdot \frac{\pi \eta_z n Q}{30 H g} ; \quad (3.92)$$

$$A_{спроз} = \frac{345}{360} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,855 \cdot 1000 \cdot 0,111}{30 \cdot 25 \cdot 9,81} = 39 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

### Визначення площі розрахункового перерізу

Визначаємо площу розрахункового перетину  $F_{розр}$ .

Для цього використовуємо графоаналитичний спосіб. Розрахунок виконуємо в табличній формі.

Таблиця 3.10 – Розрахунки до визначення площі розрахункового перерізу спіралі

Номер точки	$r_i$	$b_i$	$B_i = \frac{b_i}{r_i}$	$\frac{B_i + B_{i+1}}{2}$	$K_2 \cdot \frac{B_i + B_{i+1}}{2} \cdot \Delta r$	$\Sigma \Delta Q_i$
1	0,211	0,0550	0,2607	-	-	0
2	0,224	0,0593	0,2649	0,3584	0,0118	0,0118
3	0,237	0,0713	0,3010	0,3697	0,0122	0,0239
4	0,250	0,0840	0,3359	0,3799	0,0125	0,0361
5	0,263	0,0966	0,3674	0,3931	0,0129	0,0490
6	0,276	0,1093	0,3960	0,3975	0,0131	0,0621
7	0,289	0,1219	0,4219	0,4052	0,0133	0,0754
8	0,302	0,1346	0,4457	0,4122	0,0135	0,0889
9	0,315	0,1472	0,4674	0,4187	0,0138	0,1027
10	0,328	0,1600	0,4877	0,4246	0,0140	0,1166

В таблиці  $K_2$  визначаємо за формулой:



$$K_2 = \frac{30 \cdot g \cdot H}{\pi \eta_2 n} \quad (3.93)$$

$$K_2 = \frac{30 \cdot 9.81 \cdot 25}{3,14 \cdot 0,855 \cdot 1000} = 2,739 \text{ (Н.м)}$$

Величина  $\Delta Q_i$ , визначається за формулою :

$$\Delta Q_i = K_2 \cdot \frac{B_i + B_{i+1}}{2} \cdot \Delta r \cdot \frac{360}{\varphi_{сн}} \quad (3.94)$$

Значення  $\Delta r = 12 \text{ мм}$  постійне і вибираються довільно в залежності від параметрів насоса. Значення  $b_i$  переносимо з меридіанного перетину спіралі при відповідних значеннях  $r_i$  (рис.3.26). Закінченням для розрахунку служить значення  $\sum \Delta Q_i$ , трохи більше  $Q$ . За табличними даними будуюмо графік  $Q = f(r)$  - рис. 3.26 (поєднуємо його з меридіанними перетином).

По осі  $Q$  відкладаємо  $Q = Q_{розр}$  і отриманий на рис. 3.13 розмір  $H'9$  обмежить площа трапеції, відповідну площі розрахункового перерізу. Гострі кути трапеції скругляються радіусом  $r8$  з умови забезпечення рівності статичних моментів площ  $F_x$  і  $F_y$ :

$$F_x r_x = F_y r_y, \quad (3.95)$$

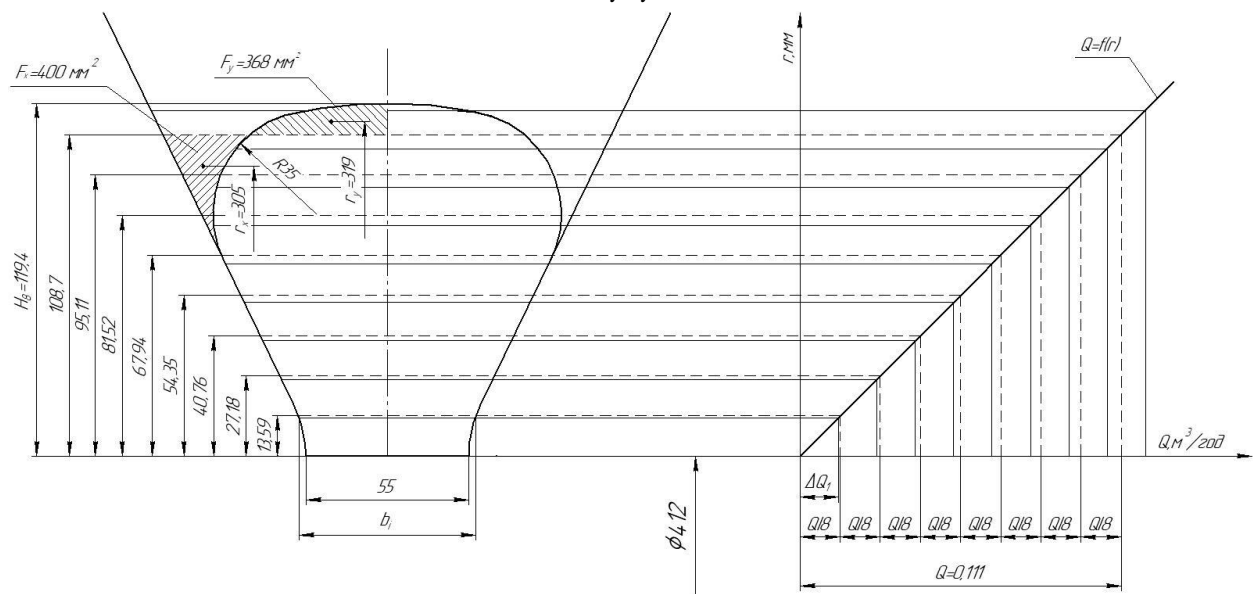


Рисунок 3.24 – Визначення розмірів розрахункового дев'ятого  $F_{расч}$  ( $F_8$ ) і проміжних ( $F_8-F_1$ ) перерізів

Перевірка правильності визначення  $F_{розр}$ 

Перевіряємо правильність визначення площі розрахункового перерізу  $F_{розр}$ .

Для цього будемо наведену площу  $F_{пр}$  (рис. 3.25)

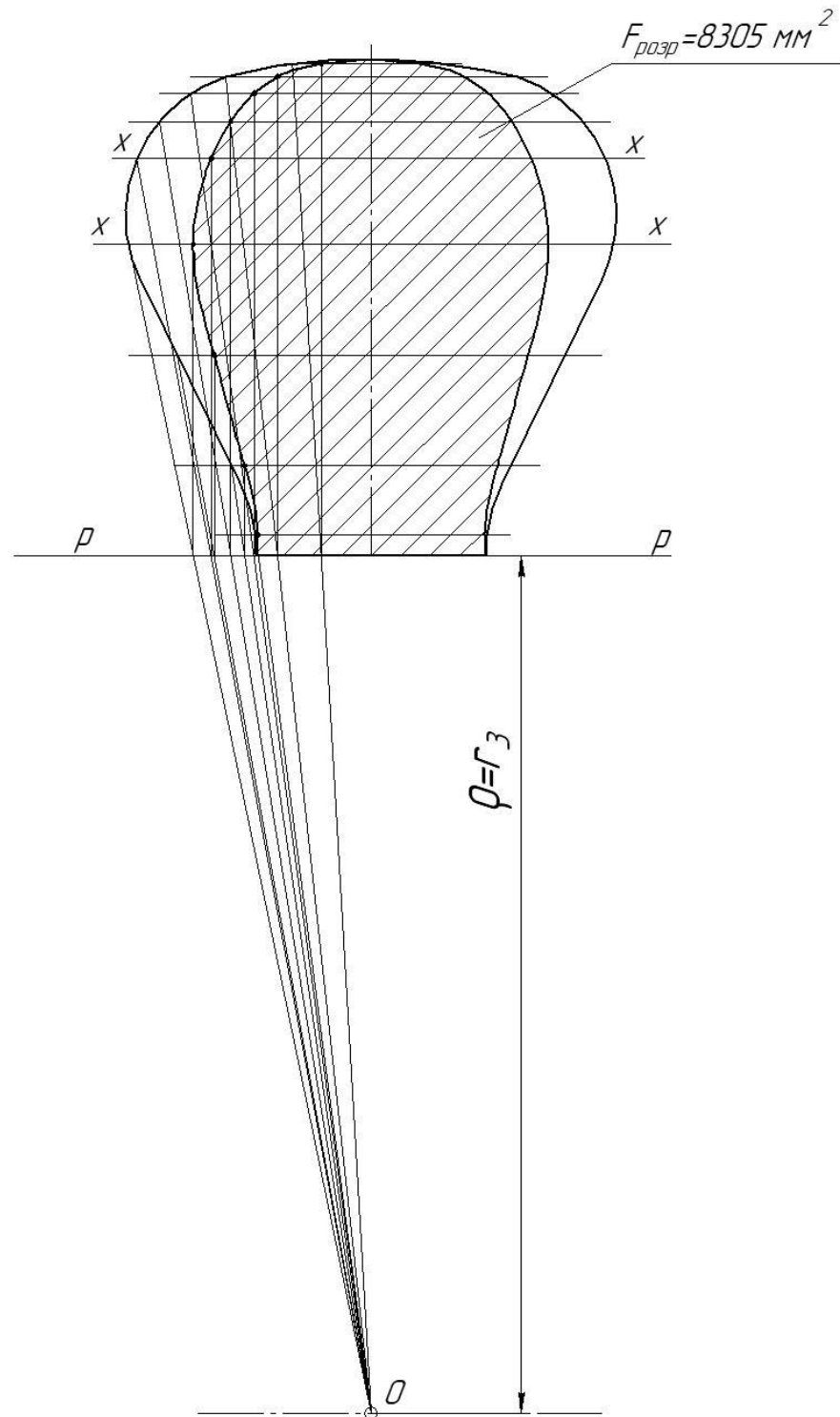


Рисунок 3.25 – Перевірка правильності визначення площі розрахункового перерізу  $F_{расч}$

Методика побудови  $F_{пр}$  наступна: меридіанний перетин розтинають поруч паралельних прямих  $x-x$ , паралельних осі насоса, а через точки їх перетину з контуром перерізу довільну точку  $O$  на осі обертання колеса проводять прямі  $x-O$ . Далі проводять пряму  $P-P$  на довільному полюсному відстані  $\rho$  від осі насоса і опускають перпендикуляри з точок перетину прямих  $P-P$  і  $x-O$  на відповідні лінії  $x-x$ . Отримана таким чином система точок « $o$ » утворює контур приведенного перерізу (пунктирна лінія на рис.3.5). Критерієм правильності визначення  $F_{расч}$  є умова

$$A_{сп. расч} \approx A_{сп.граф}, \quad (3.96)$$

$$A_{сп. граф} = F_{пр}/\rho \quad (3.97)$$

$$A_{сп. граф} = 8305/206 = 40,3 \text{ мм}^2$$

$$A_{сп. граф} = 40,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

### Визначення площі проміжних перетинів (від 0 до 9)

Визначаємо площі проміжних перетинів (від 0 до 9) графічним способом (рис. 3.24).

Для цього на графіку  $Q = f(r)$  ділянку прямої на осі від  $Q = 0$  до  $Q = Q_{расч}$  ділимо на вісім рівних частин, а потім побудовою (пунктирні лінії) отримуємо відповідні проміжним перетинах трапеції (аналогічно розрахунковому перетину). Гострі кути трапецій скругляються радіусами з умови забезпечення рівності статичних моментів відповідних площ (аналогічно розрахунковому перетину). При цьому форма перетинів повинна змінюватися плавно без стрибків, що досягається за рахунок монотонної зміни радіусів заокруглення  $R_i$  і  $r_i$  і висот  $H_i$ .

### Побудова плану спіралі

Від початкового кола діаметром  $D_3$  в перетинах (після їх розмітки) відкладаємо відповідні висоти  $H_1-H_9$  (рис. 3.25); отримані точки з'єднуємо

дугами різних радіусів (три-чотири радіусу). Дуга кожного радіуса повинна без перегинів сполучатися з дугою наступного. Побудова починається від язика.

### Розрахунок і проектування диффузорної ділянки 2

Диффузорний ділянку (рис. 3.23) починається від розрахункового перерізу 8 і закінчується колом напірного патрубку діаметром  $D_{вих}$ .

Середня швидкість на виході з насоса ( $V_{вих}$ ) повинна лежати в межах від 2 до 8 м/с;

Діаметр напірного патрубку визначаємо з умови нерозривності потоку

$$D_{вих} = \sqrt{4Q/\pi V_{вих}}; \quad (3.98)$$

$$D_{вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,111}{3,14 \cdot 6}} = 0,154$$

Значення  $D_{вих}$  корегується згідно наступного ряду: 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400 мм і т.д.;

Приймаємо  $D_{вих} = 150$  мм.

Довжина диффузора  $L$  і кут його конусності повинні визначатися з умови мінімальних гідравлічних втрат:

$$\varepsilon_{opt} = 2 \arctg \left( \frac{D_{вих} - d_{екв}}{2L} \right), \quad (3.99)$$

де  $\varepsilon_{opt} = 8-10^\circ$

$d_{екв}$  - еквівалентний діаметр розрахункового перетину.

$$d_{екв} = \sqrt{\frac{4F_{розр}}{\pi}} \quad (3.100)$$

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8305}{3,14}} = 102,8 \text{ мм}$$

Остаточний вибір  $L$  здійснюється з урахуванням конструктивних міркувань. величина  $L=400$  мм.

Для виготовлення моделі корпусу необхідно задати, щонайменше, два проміжних перетину дифузора (рис. 3.26).

Поєднуємо окружність  $D_{\text{вих}}$  і нижня частина дифузора таким чином, щоб центр кола співпадав з серединою висот нижньої основи (рис. 3.25);

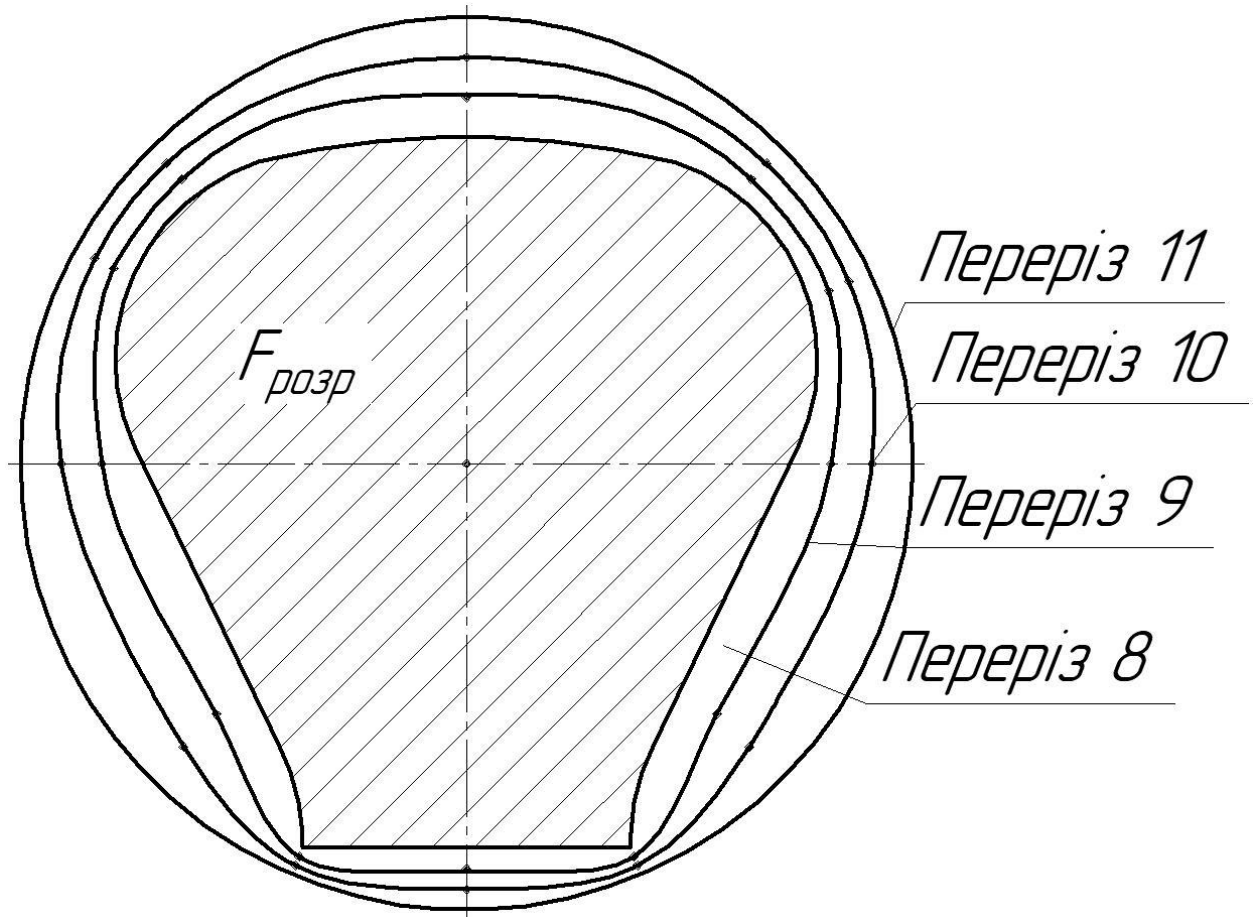


Рисунок 3.26 – До побудови проміжних перетинів дифузора

Довільно проводимо промені 1, 2, 3, і т.д. і ділимо відрізки цих променів між контурами підстав конуса (між перетинами 8 і 11) на частини, пропорційні

відрізках 11, 12 і 13 (рис. 3.25). Отримані точки з'єднуємо плавними кривими, які будуть шуканими перетинами 9-9 і 10-10.

### Особливості проектування спірального відводу з радіальним виходом

Спіральні відводи з радіальним виходом (рис. 3.27) набули поширення в конструкціях консольних насосів, виконаних по ISO 2858-75.

При розрахунку і проектуванні таких відводів може бути використано більшість рекомендацій з проектування спіральних відводів з тангенціальним виходом. У той же час є деякі особливості проектування:

- незалежності від  $nS$  куту охоплення спіралі  $\phi_{сп}=360^\circ$ ;
- кут між площиною розрахункового перетину і віссю вихідного патрубку
- зазвичай вибирається  $\gamma = 25-45^\circ$  (рис. 3.27);
- розмір  $D_{вх}$  і  $H$  вибираються по ISO 2858-75.

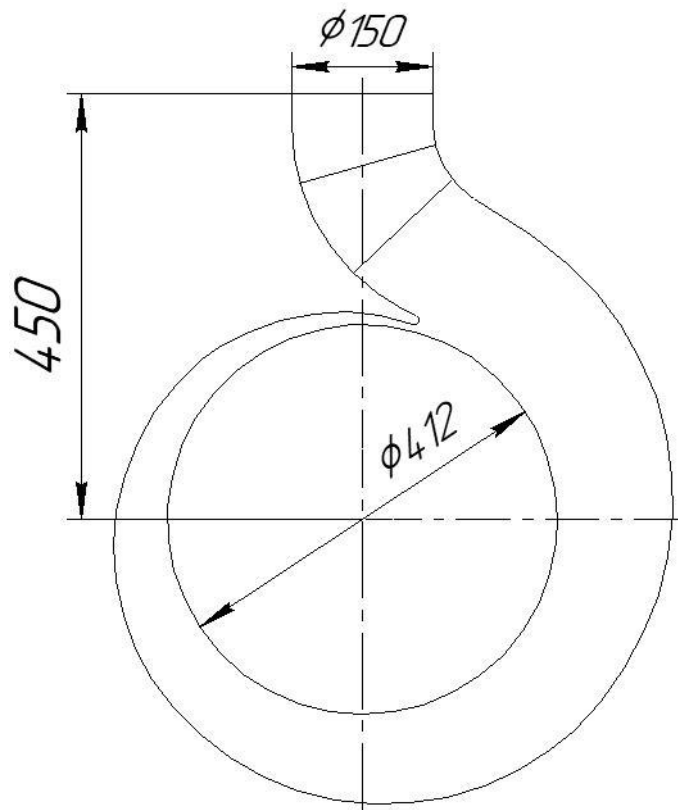


Рисунок 3.27 – Спіральний відвід з радіальним виходом

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА МАРШРУТНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СПІРАЛЬНОГО ВІДВОДУ

#### Вступна частина

Корпус є базовою деталлю насоса, в ньому розміщається відвід. Призначення відводів наступне:

- зібрати рідину за робочим колесом і відвести її до вихідного патрубку;
- погасити момент швидкості рідини, що виходить з робочого колеса;
- перетворити кінетичну енергію в потенційну (зазвичай в дифузори перетворюється від 1/4 до 1/3 напору робочого колеса);
- забезпечити осесиметричний потік за робочим колесом, що створює умови для сталого відносного руху в області робочого колеса.

На корпус, під час роботи насоса, постійно діють гідравлічні навантаження. Робоча рідина має температуру  $T = 105^{\circ}\text{C}$ , та містить до 52% сухих речовин, можливе утворення кавітаційних бульбашок на всмоктуючому патрубку. Вібраційним навантаженням навантажений в мірі, достатній для стабільної роботи.

#### Вихідні дані

Вихідними даними є:

- 1 креслення машинобудівної деталі, для якої розробляється технологічний процес – ПГМ 2019.002.100.01;
- 2 тип (серійність) виробництва – дрібносерійне;
- 3 технологічний процес відбувається в лабораторії кафедри ПГМ, обладнання універсальне.

Послідовність проектування технологічного процесу :

- 4 розрахунок темпу випуску деталі і обґрунтування типу виробництва;

- 5 технологічний аналіз конструкції деталі;
- 6 вибір способу отримання заготовки, проектування прогресивної заготовки;
- 7 визначення технологічних баз;
- 8 визначення методів оброблювання поверхонь деталі;
- 9 побудова технологічного маршруту оброблювання деталі;
- 10 розроблення технологічних операцій.

Розрахунок типу випуску та обґрунтування  
типу виробництва

Проектування технологічного процесу розпочнемо з визначення дійсного темпу випуску деталі і типу виробництва.

Доцільність використання того або іншого методу механічного оброблення деталі встановлюється на основі порівнювання середньої величини штучного часу  $t_{шт.сер}$  для кількох основних операцій з дійсним темпом  $t$ :

$$K_{об} = \frac{t_{шт.сер}}{t} \quad (4.1)$$

$$K_{об} = \frac{2,6}{16,5} = 0,157$$

У формулі (4.1)

$$t_{ум.сер} = \frac{1}{n}(t_{ум.1} + t_{ум.2} + t_{ум.3} + \dots + t_{ум.n}), \quad (4.2)$$

$$t_{шт.сер} = \frac{1}{6}(3 + 5 + 1 + 1 + 1 + 5) = 2,6$$

Таблиця 4.1 – Розрахунок часу на механічну обробку корпусу



Операція	Час, год
Зачистка	3
Токарна чорнова і чистова по 1-й стороні	5
Токарна чорнова і чистова по 2-й стороні	1
Фрезерування	1
Токарна (фланець)	1
Свердління та нарізання різьб	5
Разом, $T_k$	16

де  $n$  – число найбільш характерних операцій механічного оброблювання.

Дійсний темп роботи  $t$  (цеху, дільниці та ін.) залежить виключно від обсягу випуску і визначається за формулою

$$t = \frac{F}{N}, \quad (4.3)$$

$$t = \frac{33}{2} = 16,5$$

У формулі (4.3):

$F$  – дійсний фонд часу (річний, за зміну, за інший відрізок часу), год.;

$N$  – програмне завдання (випуск деталей у штуках за визначений період часу).

Якщо величина  $t$  значно перевищує відрізок часу на реалізацію окремих операцій механічного оброблення, то виготовлення деталі повинно виконуватися за принципом серійного або штучного виробництва.

Технологічний аналіз конструкції деталі

Головною метою технологічного аналізу є виявлення можливостей підвищення технологічності конструкції деталі. Тому максимальна увага приділяється:

- 11 зменшенню кількості та розмірів оброблюваних поверхонь (що зменшує трудомісткість механічного оброблення);
- 12 уніфікації конструктивних елементів (пазів, галтелей, канавок, отворів тощо), що звужує номенклатуру різальних інструментів і скорочує час оброблення;
- 13 підвищенню жорсткості деталі з метою використання багатоінструментального оброблення і високо-продуктивних режимів різання;
- 14 забезпеченню надійності базування під час оброблення деталі;
- 15 виявленню можливостей суміщення конструкторської і технологічної баз для підвищення точності механічного оброблення і таке інше.

На цьому етапі виконується якісне та кількісне оцінювання технологічності конструкції деталі.

Якісне оцінювання визначає технологічність конструкції узагальнено, на основі досвіду проектувальника, виробника і розглядається як попереднє. Під час якісного оцінювання альтернативні рішення конструкції деталі розрізняють тільки за принципом: ліпші чи гірші, прийнятні чи неприйнятні для заданих умов.

Методи механічного оброблення поверхонь деталі відповідно до їх точності і шорсткості

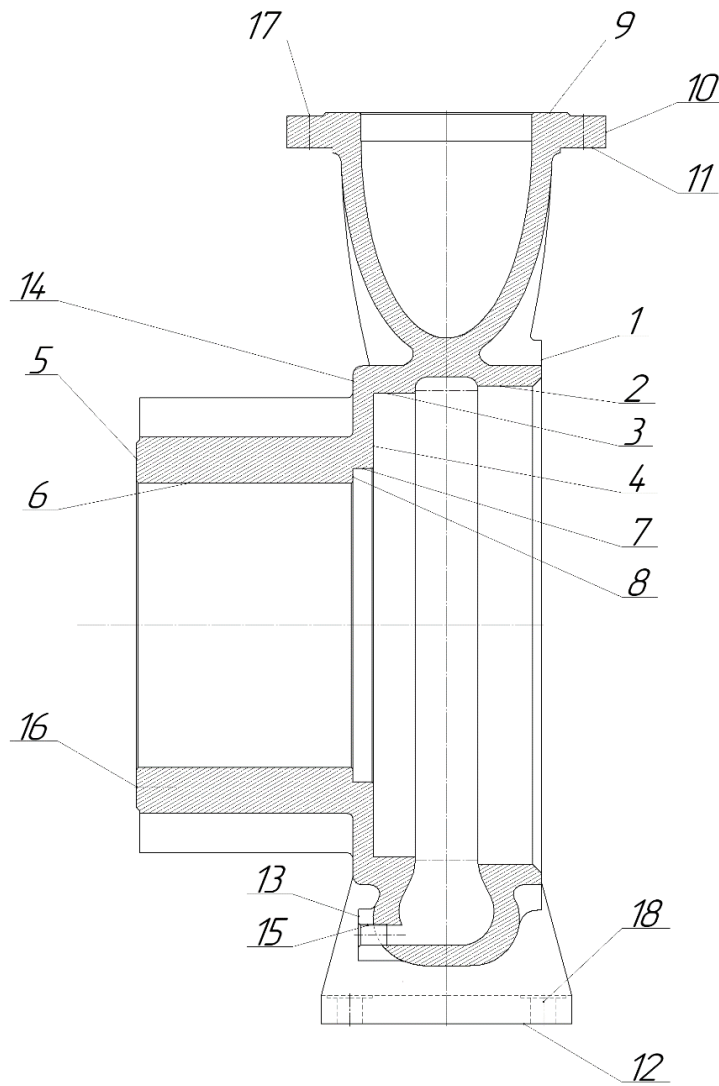


Рисунок 4.1 – Оброблювані поверхні корпусу

- Поверхня 1 – точіння, шорсткість  $Ra$  1,6.
- Поверхня 2 – точіння, шорсткість  $Ra$  1,6.
- Поверхня 3 – точіння, шорсткість  $Ra$  1,6.
- Поверхня 4 – точіння, шорсткість  $Ra$  3,2.
- Поверхня 5 – точіння, шорсткість  $Ra$  6,3.
- Поверхня 6 – точіння, шорсткість  $Ra$  1,6.
- Поверхня 7 – точіння, шорсткість  $Ra$  1,6.
- Поверхня 8 – точіння, шорсткість  $Ra$  3,2.
- Поверхня 9 – точіння, шорсткість  $Ra$  6,3.
- Поверхня 10 – точіння, шорсткість  $Ra$  12,5.

Поверхня 11 – точіння, шорсткість  $Ra$  12,5.

Поверхня 12 – фрезерування, шорсткість  $Ra$  12,5.

Поверхня 13 – фрезерування, шорсткість  $Ra$  6,3.

Поверхня 14 – точіння, шорсткість  $Ra$  6,3.

Поверхня 15 – свердління, шорсткість  $Ra$  3,2.

Поверхня 16 – свердління, шорсткість  $Ra$  3,2.

Поверхня 17 – свердління, шорсткість  $Ra$  12,5.

Поверхня 18 – свердління, шорсткість  $Ra$  12,5.

### Вибір способу отримання заготовки

Проектування деталі і заготовки органічно пов'язані. Тому здебільшого креслення деталі містить інформацію щодо способу отримання заготовки та основні технологічні вимоги до неї.

Згідно креслення приймаємо спосіб отримання заготовки – лиття у піщано-глинясту форму.

Для остаточного вибору того чи іншого способу виготовлення заготовки застосовують коефіцієнт використання матеріалу  $K_{в.м}$  (особливо для умов серійного та масового виробництва), який визначається за формулою

$$K_{в.м} = \frac{M_d}{M_z}, \quad (4.4)$$

$$K_{в.м} = \frac{180}{273} = 0,69$$

де  $M_d$ ,  $M_z$  – відповідно маса готової деталі і маса заготовки.

Чим більший  $K_{в.м}$ , тим більш технологічною, більш прогресивною вважається заготовка, тим більше за своєю геометрією вона наближається до форми готової деталі.

Для визначення величини припусків статистичним способом використовувався ГОСТ 26645-85.

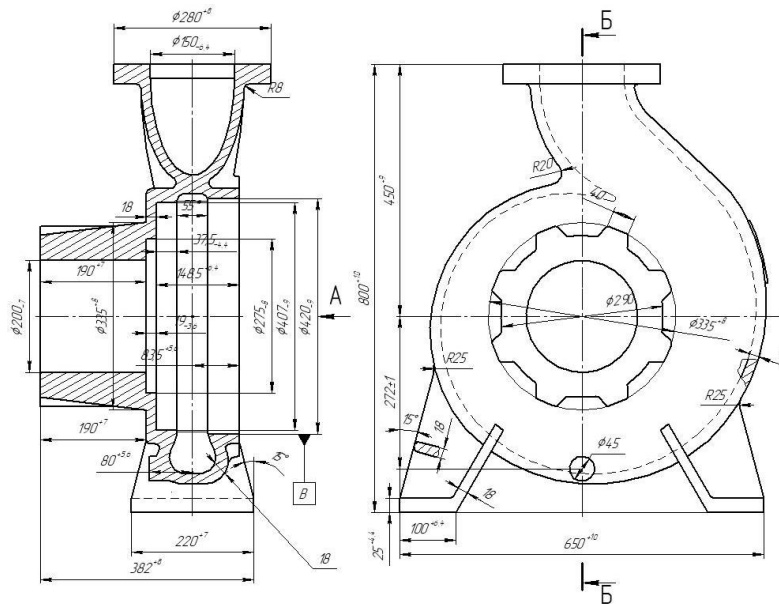


Рисунок 4.2 – Розміри заготовки з припусками

### Побудова технологічного маршруту оброблення деталі

Під час побудови технологічного маршруту оброблення в центрі уваги повинні знаходитися вимоги до якості деталі. Щоб забезпечити ці вимоги, розробник маршруту включає в технологічний процес контрольні операції.

Контроль передбачають після операцій, які забезпечують виконання заданих вимог (після всього оброблення, після термічного, термомеханічного оброблення; після використання покриттів) або впливають на точність наступних операцій. Якщо виникає кілька варіантів технологічних операцій, то вже на цій стадії проектування повинні бути виконані наближені розрахунки, які дають можливість дібрати більш раціональний для заданих умов варіант. Дібір роблять на основі порівняння варіантів за якістю, трудомісткістю та іншими показниками, що характеризують варіанти.

Поряд з основними операціями в маршруті повинні бути також передбачені допоміжні операції, наприклад: миття, сушіння, слюсарне зачищення гострих кромки і таке інше.

Паралельно з призначенням операцій фіксується і технологічне обладнання, необхідне для їх реалізації.

На основі побудованого маршруту і розмірів дібраної заготовки розраховують припуски на оброблення заданих поверхонь деталі, визначають проміжні розміри деталі за всіма операціями і технологічними переходами.

Результати побудови технологічного маршруту представлені у вигляді маршрутної карти (Додаток А) та карти ескізів (Додаток Б).

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ АНС 400-25

Собівартість продукції - це витрати підприємства на виробництво та реалізацію товарів, виражені у грошовій формі. У собівартість продукції включаються витрати на сировину, матеріали, паливо та енергію, амортизацію основних фондів, заробітну плату працівників та інші витрати на виробництво необхідної продукції. Собівартість - один з важливих якісних показників, що характеризує всі аспекти діяльності підприємства. Вона відображає ефективність використання трудових і матеріальних ресурсів для виробництва продукції.

Розраховуємо повну собівартість насосного агрегату

Витрати на основні матеріали:

$$Z_M = \sum_{i=1}^n C_i \cdot N_i - C_{\text{від}}, \quad (5.1)$$

де  $C_i$  – оптова ціна і-ої одиниці матеріалу, грн.;

$N_i$  – норма витрати на одиницю виробу і-того матеріалу, кг;

$C_{\text{від}}$  – вартість зворотніх реалізованих відходів, грн;

$n$  – число видів матеріалів.

Дані для розрахунку наведені в таблиці 5.1.

Таким чином отримаємо за формулою 5.1:

$$Z_M = 31663 - 800 = 30863 \text{ грн}$$

Таблиця 5.1 – Матеріали

№ п/п	Назва деталі	Матеріал	Вага, кг	К-сть	Ціна за кг, грн	Вартість, грн
1	Корпус	СЧ 20	273	1	50	13650
2	Робоче колесо	Сталь 20X13	14	1	116,7	1633,33
3	Шнек	Сталь 20X13	27	1	70	1890
4	Імпелер	Сталь 20X13	8	1	70	560
5	Вал	Сталь 40X	43,4	1	30,2	1310,68
6	Рубашка	Сталь 20X13	5,5	1	70	385
7	Гайка	Сталь 20	0,97	1	25	24,25
8	Лапа	Ст 3 кп	5	1	20	100
9	Кронштейн	СЧ 20	65	1	50	3250
10	Кришка підшипника	Сталь 20	14,6	2	25	730
11	Кришка	СЧ 20	59,73	1	50	2986,5
12	Обойма	Сталь 20	12	1	20	240
13	Штуцер	Ст 3	0,375	1	25	9,375
14	Пробка	Ст 3	0,15	1	25	3,75
15	Фланец нажимний	Ст 3	2	1	20	40
18	Пробка	Ст 3	0,132	1	25	3,3
17	Кільце	Сталь 20X13	0,068	1	70	4,76
19	Кільце гідрозатвор	Сталь 20	2,66	1	20	53,2
20	Обтікач	20X13	23,7	1	116	2749,2
21	Прокладка	Пароніт	0,025	2	87	4,35
22	Прокладка	Пароніт	0,025	1	87	2,175
23	Гвинт регулювальний	Сталь 45	0,72	4	32	92,16
24	Фланець 250	Ст 3	22,6	1	25	565

Продовження таблиці 5.1



25	Фланець 150	Ст 3	18,1	1	25	452,5
26	Муфта	Сталь 20	68	1	22	1496
27	Шпатлівка		0,5	1	210,5	105,25
28	Лак		0,2	1	400	80
29	Фарба		0,5	1	496	248
30	Грунт		0,2	1	221	44,2
	Сума		668			32713

Обрахуємо вартість зворотніх реалізованих відходів. Загальна маса закупленого матеріалу складає 645 кг. Коефіцієнт використання матеріалу становить орієнтовно 1,4...1,5. Це означає що близько 200 кг матеріалу йде у відходи, тобто в стружку. Цю стружку можна продати за ціною 4 грн за кілограм. Отримуємо, що вартість зворотніх реалізованих відходів складає 800 грн.

## 5.2. Витрати на вироби, що закупаються:

$$Z_{\text{пок}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{пок}i} \cdot N_{\text{пок}i}, \quad (5.2)$$

де  $C_{\text{пок}i}$  – оптова ціна  $i$ -того типорозміру виробу, що закупаються;

$N_{\text{пок}i}$  – кількість виробів, що закупаються.

Дані для розрахунку наведені в таблиці 5.2

$$Z_{\text{пок}} = 1459 + 3678 + 17,30 + 23,20 + 5,20 + 300 = 5482,7 \text{ грн}$$

Таблиця 5.2 – Витрати, що закуповують

№п/п	Найменування	Кількість,шт.	Ціна,грн.	Сума, грн
1	Підшипник кочення 6314 ГОСТ 8338-75	1	1459	1459
2	Підшипник кочення 1614 ГОСТ 28428-90	1	3678	3678
3	Кільце гумове 400 –410 – 58	1	17,30	17,30
4	Кільце гумове 420 – 430 – 58	1	23,20	23,20
5	Кільце гумове 175 – 180 – 36	1	5,20	5,20
6	Вироби кріплення	–	–	300

Транспортно – заготівельні витрати:

$$Z_{тр} = \frac{K_{тр} \cdot (Z_m + Z_{пок})}{100\%}, \quad (5.3)$$

де  $K_{тр}$  – відсоток транспортно-заготівельних витрат, %.

Приймаємо  $K_{тр} = 4\%$ . Тоді:

$$Z_{тр} = \frac{4\% \cdot (31913 + 5482,7)}{100\%} = 1483 \text{ грн}$$

Розрахунок заробітної платні працівників виробництва:

$$C_3 = C_2 \cdot K_{cp} \cdot T_n \cdot K_{np}, \quad (5.4)$$

де  $C_2$  – годинна тарифна ставка першого розряду робочих відрядників з нормальними умовами праці. Визначається за даними заводу-виробника.

Приймаємо  $C_2 = 60$  грн/год.

$K_{cp}$  – тарифний коефіцієнт, що відповідає середньому розряду робіт.

Приймаємо  $K_{cp} = 1,35$

$T_n$  – трудомісткість нового виробу, н.год.

$K_{np}$  – коефіцієнт, що враховує розмір премії. Приймається

$$K_{np} = 1,4.$$

Трудомісткість нового виробу визначається як сума часу, необхідного на виконання кожного технологічного процесу виготовлення насоса. Розглянемо основні деталі насосу АНС 400-25.

Таблиця 5.3 – Розрахунок часу на механічну обробку корпусу

Операція	Час, год
Зачистка	3
Токарна чорнова і чистова по 1-й стороні	5
Токарна чорнова і чистова по 2-й стороні	1
Фрезерування	1
Токарна (фланець)	1
Свердління та нарізання різьб	5
Разом, $T_k$	16

Таблиця 5.4 – Розрахунок часу на механічну обробку кронштейна

Операція	Час, год
Зачистка	2
Токарна чорнова і чистова	5
Фрезерування	1
Свердління та нарізання різьб	4
Разом, $T_{кр}$	12

Таблиця 5.5 – Розрахунок часу на механічну обробку робочого колеса

Операція	Час, год
Зачистка	1
Токарна чорнова	2
Токарна чистова	1,5
Довбальна	0,2
Балансування	0
Разом, $T_{рк}$	4,9

Таблиця 5.6 – Розрахунок часу на механічну обробку вала

Операція	Час, год
Відрізка	0,2
Токарна чорнова	2
Токарна напівчистова	1
Товарна чистова	1,5
Фрезерування	0,75
Разом, $T_{в}$	5,45

Таблиця 5.7 – Розрахунок часу на механічну обробку корпусу сальника

Операція	Час, год
Токарна чорнова	3
Товарна чистова	1,5
Свердління та нарізання різьби	6
Разом, $T_{кс}$	10,5

Таблиця 5.8 – Розрахунок часу на механічну обробку обтікача

Операція	Час, год
Токарна чорнова	3
Товарна чистова	1,5
Свердління та нарізання різьби	0,8
Разом, $T_{об}$	5,3

На складальну операцію необхідно витратити 10 н.годин, ще 14 н.годин необхідно для шпатлювання та ґрунтування насоса, на фарбування і покриття лаком відводиться 1 година.

Підраховуємо кількість часу, необхідного для виготовлення основних деталей, які складають 60% від загальної кількості деталей по трудовим витратам:

$$T_o = T_k + T_{кр} + T_{рк} + T_v + T_{кc} + T_{об} \quad (5.5)$$

$$T_o = 16 + 12 + 4,9 + 5,45 + 10,5 + 5,3 = 53,15 \text{ н. год}$$

Загальна трудомісткість виготовлення насоса розраховується за виразом:

$$T_n = T_o + T_o \cdot 0,4 + 10 + 14 + 1 = 100 \text{ н. год}$$

Тоді заробітна платня:

$$C_z = 60 \cdot 1,35 \cdot 100 \cdot 1,4 = 11668 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна платня виробничих працівників, визначається у відсотках від основної заробітної платні. Відсоток додаткової заробітної платні складає 15% від основної заробітної платні виробничих працівників, тобто:

$$C_{\text{дод}} = \frac{15\% \cdot C_3}{100\%}, \quad (5.6)$$

$$C_{\text{дод}} = \frac{15\% \cdot 11668}{100\%} = 1750 \text{ грн}$$

Нарахування на заробітну платню нараховується у відсотках від суми основної та додаткової заробітної платні виробничих працівників та враховує відрахування на соціальне страхування в розмірі 22%:

$$C_H = (C_3 + C_{\text{дод}}) \cdot 0,22, \quad (5.7)$$

$$C_H = (11668 + 1750) \cdot 0,22 = 2952 \text{ грн}$$

Витрати на відшкодування зношення спеціальних пристосувань та інструментів визначається в розмірі 15% від основної заробітної платні:

$$C_{\text{інст}} = 0,15 \cdot C_3, \quad (5.8)$$

$$C_{\text{інст}} = 0,15 \cdot 11668 = 1750 \text{ грн}$$

Визначення накладних витрат:

а) витрати по утриманню та експлуатації обладнання:

$$C_{\text{вн}} = \frac{C_3 \cdot K_{\text{вн}}}{100}, \quad (5.9)$$

де  $K_{\text{вн}}$  – відсоток витрат по утриманню та експлуатації обладнання до основної заробітної платні. За розрахунками по аналогу  $K_{\text{вн}} = 45\%$ .

$$C_{\text{вн}} = \frac{11668 \cdot 45\%}{100\%} = 5251 \text{ грн}$$

б) цехові витрати визначаються у відсотках від основної заробітної платні виробничих працівників за формулою:

$$C_{цв} = \frac{C_з \cdot K_{цв}}{100}, \quad (5.10)$$

де  $K_{цв}$  – відсоток цехових витрат до основної заробітної платні. Приймаємо  $K_{цв} = 45\%$ .

$$C_{ву} = \frac{11668 \cdot 45\%}{100\%} = 5251 \text{ грн}$$

в) загальновиробничі витрати визначаються у відсотках від основної заробітної платні виробничих працівників:

$$C_{зв} = \frac{C_з \cdot K_{зв}}{100}, \quad (5.11)$$

де  $K_{зв}$  – відсоток загальнозаводських витрат до основної заробітної платні. За відсутністю даних приймаємо  $K_{зв} = 50\%$ .

$$C_{ву} = \frac{11668 \cdot 40\%}{100\%} = 5834 \text{ грн}$$

Виробнича собівартість виробу, який проектуємо визначається як сума всіх розрахованих витрат за статтями калькуляції:

$$C_{вир} = 31913 + 5482,7 + 1485,7 + 11668 + 1750 + 2952 + 1750 \\ + 5251 + 5251 + 5834 = 71135 \text{ грн}$$

Позавиробничі витрати визначаються у відсотках від виробничої собівартості виробу, який проектуємо і складають 3%:

$$C_{пв} = 0,03 \cdot C_{вир}, \quad (5.12)$$

$$C_{пв} = 0,03 \cdot 71602 = 2134 \text{ грн}$$

Повна собівартість виробу:

$$C_{нов} = C_{вир} + C_{нев}, \quad (5.13)$$

$$C_{пв} = 71602 + 2148 = 73270 \text{ грн}$$

Визначення планових накопичень та договірної ціни проєктованого виробу:

а) планові накопичення визначаються з умов рентабельності виробництва до повної його собівартості за формулою:

$$П = \frac{C_{нов} \cdot P}{100}, \quad (5.14)$$

де  $P$  – рентабельність виробу, %. У нашому випадку 25%.

$$П = \frac{73750 \cdot 25\%}{100\%} = 18317 \text{ грн}$$

б) договірна оптова ціна дорівнює:

$$Ц_{опт} = C_{нов} + П, \quad (5.15)$$

$$Ц_{опт} = 73750 + 18438 = 91587 \text{ грн}$$

Отримані розрахунки заносимо до таблиці 5.9



Таблиця 5.9 – Планова калькуляція собівартості насосу АНС 400-

25

№ п/п	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Сировина та основні матеріали	31913
2	Покупні вироби та напівфабрикати	5482,7
3	Транспортно-заготівельні витрати	1485,7
4	Основна заробітна плата	11668
5	Додаткова заробітна плата	1750
6	Нарахування на заробітну плату	2950
7	Витрати на відшкодування зносу спеціальних пристосувань та інструменту	1750
8	Витрати по утриманню та експлуатації	5251
9	Цехові витрати	5251
10	Загальнозаводські витрати	5834
11	Виробнича собівартість	71135
12	Позавиробничі витрати	2134
13	Повна собівартість	73270
14	Планове накопичення	18317
15	Оптова ціна	91587
16	Ціна з ПДВ	109904

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 6.1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ НАСОСУ ВІДЦЕНТРОВОГО ТИПУ

До робіт на насосах допускаються особи, які досягли 18 річного віку і пройшли:

- медичний огляд відповідно до вимог Положення про порядок проведення медичного огляду працівників певних категорій;
- вступний інструктаж в службі охорони праці;
- первинний інструктаж і стажування безпосередньо на робочому місці для новоприйнятих чи переведених з одного робочого місця на інше, повторний інструктаж через кожні 3 місяці.

Забороняється приступати до роботи в стані алкогольного, токсичного, наркотичного або медикаментозного сп'яніння, в хворобливому або стомленому стані.

Без дозволу, інструктажу, допуску (якщо до виконання даної роботи потрібно допуск) виконання будь-яких робіт забороняється.

Працівник зобов'язаний:

- піклуватися про особисту безпеку, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства;
- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поведінки з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;
- проходити в установленому порядку попередні та періодичні медичні огляди.

- працівник повинен співпрацювати з власником підприємства у справі організації безпечних і нешкідливих умов праці, особисто вживати посильних заходів щодо усунення будь - якої виробничої ситуації, яка створює загрозу його життю чи здоров'ю або оточуючих його людей, негайно довести до відома про небезпеку свого безпосереднього керівника або іншу посадову особа.

Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для оточуючих його людей, або для виробничого середовища чи довкілля. Він зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника або роботодавця. Факт наявності такої ситуації за необхідності підтверджується спеціалістами з охорони праці підприємства за участю представників профспілки.

Перш ніж приступити до роботи, застебнути і заправити робочий одяг так, щоб не було кінців, які розвіються , рукави застебнути, волосся прибрати під головний убір. Одягти взуття, яка захищає ноги від промокання. Забороняється працювати в відкритому взутті і взутті яке не має задників.

Кабель електроживлення необхідно весь розмотати щоб уникнути утворення статичної напруги і покласти на спеціальні підставки з таким розрахунком, щоб він розташовувався в стороні від проходу і робочих місць і не лежав на підлозі.

Необхідно перевірити:

- наявність і справність огороження приводу насоса;
- наявність і надійність кріплення заземлюючого пристрою до корпусу двигуна;
- чи не прострочена дата випробування, якщо прострочена, використовувати насос забороняється;
- цілісність ізоляції кабелю електроживлення, звернувши увагу на правильність під'єднання кабелю до жил електродвигуна. Фазні провідники в місці приєднання до жил повинні бути заізольовані і закриті клемною

коробкою, а сам кабель перед клемною коробкою надійно закріплений на рамі насоса;

- надійність під'єднання всмоктувальних і напірних трубопроводів до патрубків насоса;

- справність дії пускових і зупиночних кнопок насоса;

- роботу насоса на холостому ході протягом 1-2 хв;

- правильність розташування заглушок кранів і відсутності згинів на шлангах.

Перед включенням насоса необхідно відкрити вентиль або кран напірної магістралі.

Включення насоса в роботу виконувати сухими руками стоячи на діелектричному килимку.

Стежити за правильним напрямком шлангів і за тим, щоб не було у них загинів. Робочі шланги розташовувати уздовж проходів, в іншому випадку вони повинні бути забезпечені перехідними містками.

Під час роботи бути уважним, не відволікатися і не відволікати інших.

Не допускати на робоче місце осіб, що не мають відношення до даної роботи.

При виявленні під час зовнішнього огляду і випробування насоса в холосту несправностей, що заважають безпечній роботі, необхідно, не приступаючи до роботи, доповісти про них керівника робіт.

При виникненні під час роботи вібрації, стукотів і сторонніх шумів негайно вимкнути насос. Довести до відома керівника робіт. Не проводити ремонт самостійно.

На робочому місці не повинно бути сторонніх предметів. Всі люки, отвори в підлозі повинні бути закриті або огорожені надійними огорожами.

Підлога повина бути не слизькою, при випадковому розливі рідини, її слід негайно видалити, якщо це не представляється можливим

використовувати справний ґратчастий дерев'яний настил, з нього не повинні стирчати гвіздки.

Пересуваючи під час роботи стопу, слід встановлювати на поверхню повністю, не поспішаючи, щоб виключити можливість падіння або вивиху ноги.

За інструкцією забороняється від'єднувати штепсельної вилки при працюючому ел. двигуні насоса.

Доповісти про виконану роботу керівнику, а також про виявлені несправності.

## 6.2. Техніка безпеки при проведенні ремонтних робіт на насосному обладнанні

Ремонт насосного обладнання включає в себе розбирання та складання насосного обладнання.

Вимоги безпеки при складанні визначаються видом з'єднань і необхідним устаткуванням, номенклатурою виробів і складальних одиниць, їх розмірами і масою, ступенем механізації процесу.

Аналіз більшості складальних та ремонтних процесів показує, що з фізичних чинників найбільше значення мають локальні вібрації і шум, джерелами яких є ручний механізований інструмент.

При роботі з джерелами вібрації параметри її на робочому місці не повинні перевищувати гранично допустимих рівнів, встановлених ГОСТ 12.1.012-90 для загальної технологічної вібрації на постійних робочих місцях і для локальної вібрації.

В ремонтних цехах при промиванні і знежиренні деталей, зварюванні і паянні використовується низькочастотний ультразвук (16-44 кГц).

Найбільш небезпечним є контактний ультразвук, який передається через рідини або тверді матеріали. Навіть короткочасна дія ультразвука (наприклад,

дотик до ультразвукової ванни) може привести до порушення рухливості пальців, кистей, передпліч.

Існує небезпека отруєнь в результаті неправильного поводження з органічними розчинниками (бензином, гасом), ароматичними вуглеводнями (бензолом, толуолом), синтетичними мийними засобами.

Наявність в повітрі робочої зони складального або ремонтного цеху металевого або абразивного пилю може привести до захворювання працюючих хронічним пиловим бронхітом, професійною бронхіальною астмою.

Використовування при складанні легкозаймистих і горючих речовин створює небезпеку пожеж і вибухів.

В ремонтних цехах висока небезпека ураження електрострумом через можливість несправності ручного електрифікованого інструменту.

Застосування потоково-конвеєрних методів при складанні, надмірне подрібнення трудових операцій призводить до збільшення одноманітних рухів у слюсарів та викликає явище монотонності праці. Це призводить до негативних фізіологічних і психологічних та соціальних наслідків:

- зниження функціональних можливостей організму;
- зниження цікавості до роботи;
- сонливості;
- плинності кадрів.

Без дозволу, інструктажу, допуску (якщо до виконання даної роботи потрібно допуск) виконання будь-яких робіт забороняється.

Працівник зобов'язаний:

- піклуватися про особисту безпеку, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства.

- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими

засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту.

- проходити в установленому порядку попередні та періодичні медичні огляди.

- працівник повинен співпрацювати з власником підприємства у справі організації безпечних і нешкідливих умов праці, особисто вживати посильних заходів щодо усунення будь - якої виробничої ситуації, яка створює загрозу його життю чи здоров'ю або оточуючих його людей, негайно довести до відома про небезпеку свого безпосереднього керівника або іншу посадову особа.

Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для оточуючих його людей, або для виробничого середовища чи довкілля. Він зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника або роботодавця. Факт наявності такої ситуації за необхідності підтверджується спеціалістами з охорони праці підприємства за участю представників профспілки.

Перш ніж приступити до роботи, застебнути і заправити робочий одяг так, щоб не було кінців, які розвіються , рукави застебнути, волосся прибрати під головний убір. Одягти взуття, яка захищає ноги від промокання. Забороняється працювати в відкритому взутті і взутті яке не має задників.

Перед початком роботи на насосі необхідно надійно встановити насос в зручному для роботи місці.

Не допускати на робоче місце осіб, що не мають відношення до даної роботи.

Не проводити ніяких ремонтних робіт працюючого насоса.

При виявленні, під час зовнішнього огляду і випробування насоса в холосту несправностей, що заважають безпечній роботі, необхідно, не приступаючи до роботи, доповісти про них керівника робіт.

На робочому місці не повинно бути сторонніх предметів. Всі люки, отвори в підлозі повинні бути закриті або огорожені надійними огорожами.

Підлога повина бути не слизькою, при випадковому розливі рідини, її слід негайно видалити, якщо це не представляється можливим використовувати справний ґратчастий дерев'яний настил, з нього не повинні стирчати гвіздки.

Пересуваючи під час роботи стопу, слід встановлювати на поверхню повністю, не поспішаючи, щоб виключити можливість падіння або вивиху ноги.

Пересувати насос слід після відключення електроживлення, шляхом відключення автоматичного вимикача і від'єднання штепсельного роз'єму, електричний кабель повинен бути змотаний і покладений так, щоб виключалася можливість його падіння або пошкодження, шланги від'єднані і не перешкоджають переміщенню.

За інструкцією забороняється від'єднувати клеми при працюючому ел. двигуні насоса.

Забороняється залишати без нагляду працюючий насос, а також комунікації в робочому положенні.

Знеструмити електропривод насоса автоматичним вимикачем, зібрати кабель, після відключення клеми.

Очистити і промити всі поверхні і деталі насоса, що стикаються з перекачується продуктом.

Привести в порядок робоче місце і вимити підлогу.

Зняти спецодяг, помити руки, теплою водою з милом.

Доповісти про виконану роботу керівнику, а також про виявлені несправності.

### 6.3. Організація роботи служби оповіщення і зв'язку цивільного захисту на підприємстві



Зв'язок є основним засобом, що забезпечує безперервне управління підрозділами під час ліквідації надзвичайної ситуації. Система зв'язку повинна забезпечувати надійну та своєчасну передачу наказів, розпоряджень, команд, сигналів та донесень на всіх етапах дій підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

Для забезпечення зв'язку застосовуються засоби радіо-, дротяного, мобільного та супутникового зв'язку.

Основним видом зв'язку під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт є радіозв'язок в ультракороткохвильовому та короткохвильовому діапазонах, який встановлюється відповідно до схеми організації зв'язку. Радіозв'язок повинен знаходитись у постійній готовності до негайної передачі команд і донесень.

Провідний зв'язок використовується для нарощування системи зв'язку, під час проведення довготривалих рятувальних та інших невідкладних робіт. Він організовується з урахуванням можливості використання існуючих ліній зв'язку, що забезпечують функціонування засобів телекомунікації.

Мережі операторів рухомого (мобільного) зв'язку використовуються як допоміжні (альтернативні) канали і застосовуються в усіх видах дій підрозділу, а також під час руху та розташування на місці.

Мережі супутникового зв'язку використовуються у разі відсутності доступу до мережі операторів фіксованого, рухомого (мобільного) зв'язку або їх руйнування.

Зв'язок з підпорядкованими органами управління та підрозділами організовується вищестоящим органом управління відповідно до рішення його керівника, однак при порушенні зв'язку всі органи управління та підрозділи зобов'язані вжити вичерпних заходів щодо його відновлення.

Організовує та відповідає за стан зв'язку перший заступник керівника органу управління (підрозділу). Безпосередньо за своєчасну організацію і сталу роботу зв'язку відповідає начальник підрозділу зв'язку.

Зв'язок між взаємодіючими підрозділами і формуваннями встановлюється засобами кожного із них.

### Послідовність роботи керівника спеціалізованої служби, формування зв'язку та оповіщення

Керівник спеціалізованої служби, формування зв'язку та оповіщення ЦЗ несе особисту відповідальність за підготовку і дисципліну підлеглого особового складу, підтримання повсякденної готовності формування до негайного виконання завдань, а також збереження техніки, транспорту і майна. Він є безпосереднім начальником всього особового складу формування, повинен знати склад формування, його завдання і можливості, рівень підготовки, постійно підтримувати його в готовності до виконання своїх завдань, вміло керувати діями формування при виникненні НС.

При отриманні завдання (з отриманням сигналу оповіщення) керівник спеціалізованої служби, формування зв'язку та оповіщення зобов'язаний:

- в найкоротший час прибути до місця збору;
- доповісти керівнику суб'єкту господарювання;
- уточнити завдання;
- задіяти схему оповіщення особового складу.

Після прибуття особового складу організовує видачу 313, табельного майна, забезпечує своєчасне прибуття і приведення в готовність закріпленої техніки і транспорту, уточнює порядок дії особового складу на випадок збору і висунення на ділянку робіт.

З отриманням наказу на проведення робіт з організації зв'язку та інформаційного забезпечення керівник спеціалізованої служби, формування зв'язку та оповіщення працює в такій послідовності.

Усвідомлює поставлене завдання. При необхідності дає попереднє розпорядження

При усвідомленні завдання керівник спеціалізованої служби, формування зв'язку та оповіщення повинен:

- зрозуміти завдання свого формування;
- уявити характер майбутніх дій;
- визначити місце і роль підпорядкованого йому формування в угрупованні сил старшого начальника та виконанні загального завдання.

Усвідомлюючи завдання, керівник визначає заходи по підготовці до дій та віддає необхідні попередні розпорядження підлеглим, спрямовані на всебічну та своєчасну підготовку служби, формування до виконання завдань.

Оцінює ситуацію, яка склалася

При оцінці обстановки керівник спеціалізованої служби, формування зв'язку та оповіщення вивчає та оцінює:

- характер руйнувань, пошкоджень, пожеж та забруднення (зараження) в районі робіт, характер та обсяг майбутніх робіт;
- радіаційну, хімічну, біологічну (епідеміологічну) обстановку та її вплив на виконання завдання, місце розгортання пункту зв'язку та оповіщення;
- стан та можливості свого формування;
- характер місцевості, стан погоди, пору року та доби.

Приймає рішення на організацію зв'язку,  
оповіщення та інформаційного забезпечення

В рішенні керівник визначає:

- послідовність виконання робіт;
- завдання особовому складу служби, формування, вибір засобів зв'язку та оповіщення;
- порядок ведення зв'язку та інформаційного забезпечення із силами ЦЗ та органами управління;
- порядок взаємодії з іншими службами, формуваннями;
- заходи по забезпеченню сталої роботи засобів зв'язку та оповіщення.

Віддає наказ про виконання робіт з  
організації зв'язку, оповіщення та інформаційного  
забезпечення

В наказі керівник вказує:

- ситуацію в районі робіт;
- завдання служби, формування та, якщо необхідно, порядок взаємодії з іншими силами ЦЗ;
- порядок ведення радіообміну, зв'язку з дотриманням необхідних заходів щодо конфіденційності інформації;
- порядок доповіді керівництву суб'єкта господарювання, органам управління про хід робіт та зміну обстановки;
- місця розташування пунктів медичної допомоги, шляхи та порядок

евакуації уражених;

- час початку робіт, час періодичного виходу в ефір, своє місце перебування та місце перебування заступника.

### Організує взаємодію і управління

Взаємодія організовується в інтересах служби, формування під час проведення аварійно-рятувальних робіт. Вона передбачає узгодженні дій служби, формування за метою, місцем і часом та у взаємній допомозі для найбільш успішного виконання завдань. При цьому керівник служби, формування, після видання наказу, повинен узгодити:

- порядок висунення служби, формування до ділянки робіт та їх дії при усуненні пошкоджень мережі зв'язку та оповіщення;
- дії інших служб, формувань при веденні аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт на ділянках (об'єктах);
- порядок евакуації постраждалих;
- порядок використання засобів зв'язку, сигналів управління, оповіщення та порядок їх передачі.

Види зв'язку які застосовуються при надзвичайних ситуаціях

- a. Радіозв'язок (ультракороткохвильовий та короткохвильовий).
- b. Проводовий зв'язок.
- c. Мобільний ( стільниковий ) зв'язок.
- d. Передача даних.
- e. Гучномовний зв'язок.

При прийнятті рішення на організацію зв'язку і забезпечення керівництво зв'язком, слід враховувати, що засоби зв'язку повинні застосовуватись комплексно і забезпечувати надійність, достовірність та оперативність передачі наказів, розпоряджень, сигналів оповіщення та іншої інформації.

Зв'язок організується і забезпечується зі старшими начальниками, з доданими та взаємодіючими формуваннями, а також з підлеглими формуваннями.

Зв'язок між взаємодіючими формуваннями встановлюється за вказівкою начальника, який організовує взаємодію.

Під час висування формування до осередку ураження (робіт) застосовують засоби радіозв'язку, рухомі і сигнальні засоби, а також використовують переговорні пункти, проміжні вузли і станції зв'язку, які є на маршруті.

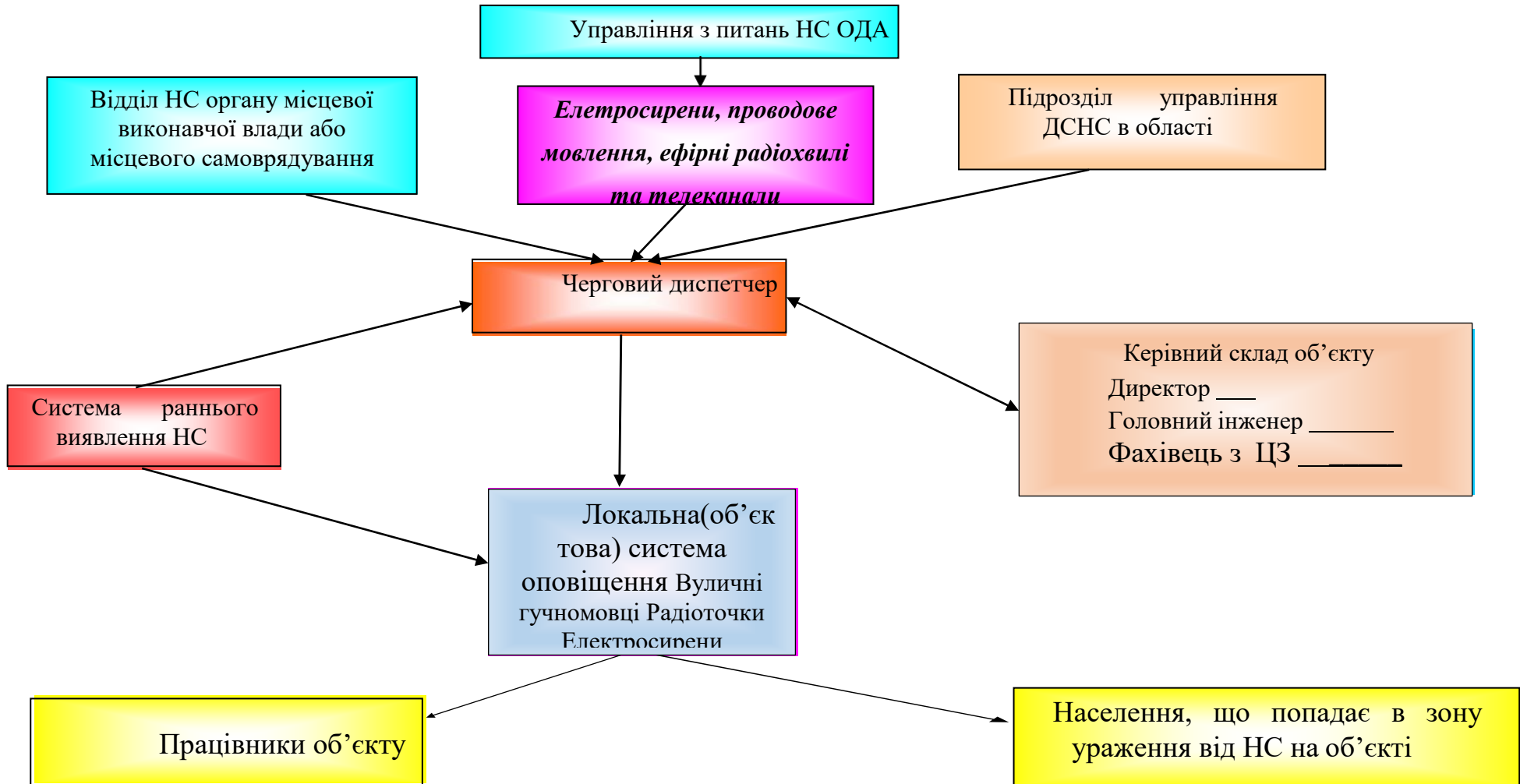
В районі розташування формувань використовують провідні, сигнальні і рухомі засоби зв'язку, а при проведенні рятувальних та інших невідкладних робіт, крім того, ще і радіозасоби.

Відкриті переговори можливі під час передачі сигналів оповіщення про повітряну тривогу, загрози радіоактивного забруднення (без вказівки рівнів радіації), затоплення, передачі команд, характеру і ступеню хімічного забруднення та наявності бактеріологічного зараження (епідемічного захворювання).

Це враховується під час прийняття рішення на організацію зв'язку і ведення переговорів по засобах зв'язку.

## СХЕМА ОПОВІЩЕННЯ

підприємства, на якому обладнана локальна(об'єктова) система оповіщення



## РОЗДІЛ 7

### ПРОВЕДЕННЯ ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ

Важливим етапом розробки насосного обладнання є проведення експериментального дослідження, що дозволяє встановити зв'язок між основними параметрами насосів та побудувати їх робочі характеристики.

Методика проведення випробувань і побудова напірних та енергетичних характеристик динамічних насосів регламентуються стандартом [16].

Порівняння варіантів випробувальних стендів визначило напрямки можливих конструкцій стендів для дослідження вільновихрових насосів.

Експериментальний стенд для дослідження турбомолекулярних насосів щодо забезпечення умов перекачування рідин із високою концентрацією газів наведений у роботі [17].

У роботі [18] запропоновано конструкцію експериментального стенда для моделювання гідродинамічних процесів у проточних частинах поворотно-лопатевих гідротурбін.

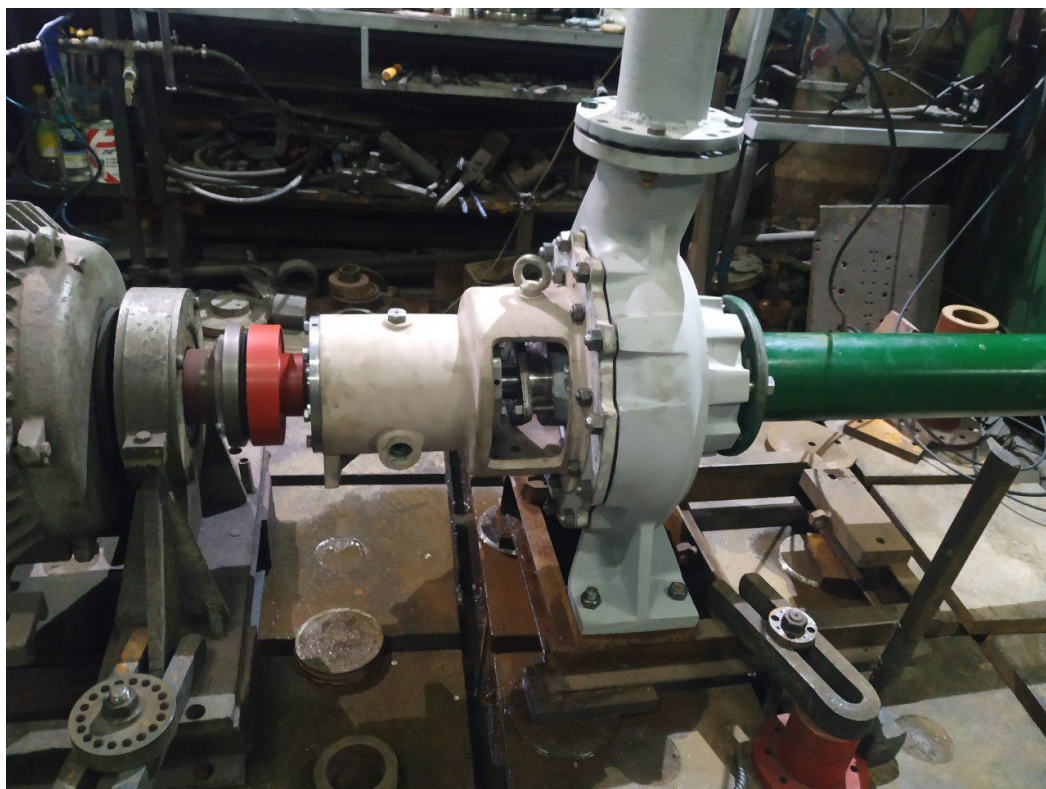
Конструкцію експериментального стенда для випробування теплових насосів наведено у роботі [19].

#### **Експериментальний стенд**

Для проведення дослідження насоса АНС (рис. 7.1 а) розроблений випробувальний стенд із закритою циркуляцією рідини (рис. 7.1 б).

Принципова схема випробувального стенда (рис. 7.2) включає наступні основні його елементи (табл. 7.1): експериментальний насос Н, електродвигун Д, обладнаний мотор-вагами, герметичний бак Б, основні й допоміжні трубопроводи, вимірювальна та керувальна апаратура.





а)



б)

Рисунок 7.1 – Конструкція випробувального стенда: а – випробувальний насос; б – загальний вигляд

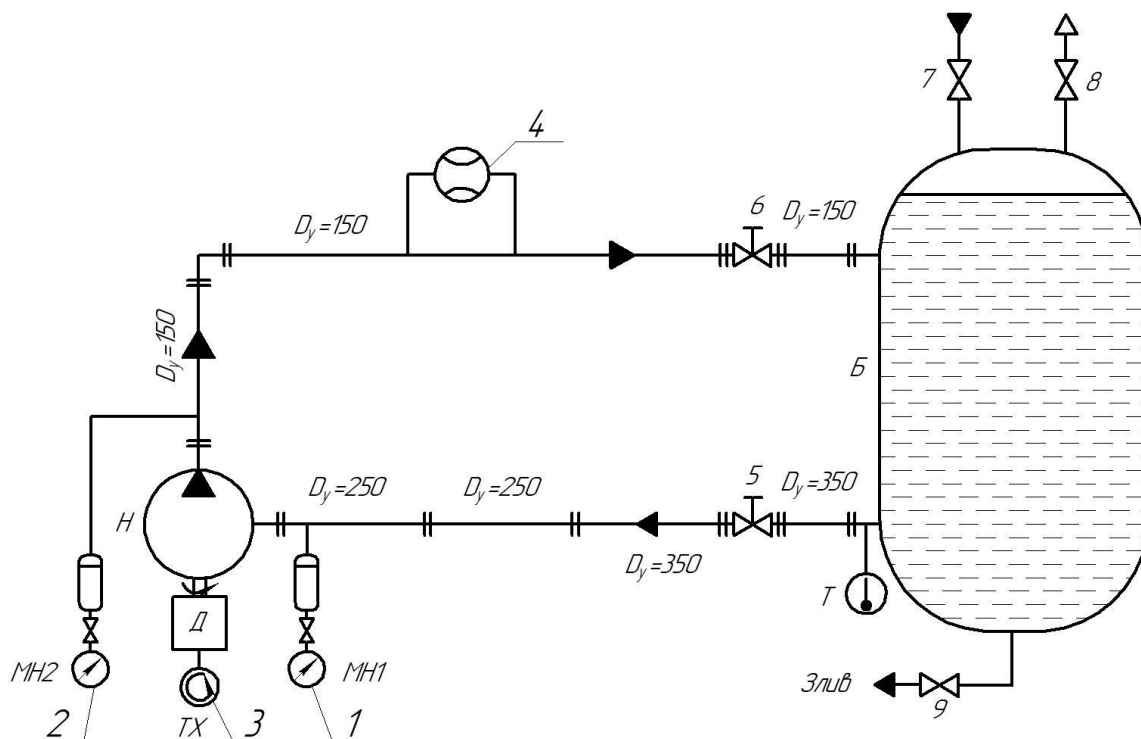


Рисунок 7.2 – Принципова схема випробувального стенда

Вимірювальна апаратура для визначення основних параметрів і побудови напірної та енергетичної характеристик насоса наведена в табл. 7.2

Таблиця 7.1 – Складові випробувального стенда

Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
Б	Бак	1	V = 10 м <sup>3</sup>
В	Витратомір ультразвуковий	1	DMDF-P
Н	Насос	1	АНС 400-25
ТХ	Тахометр	1	ТЕСА 3740
Т	Термометр	1	Ртутний із ціною поділки 0,1 °С
Д	Електродвигун	1	АИР280S6, N = 75 кВт; n = 980 об/хв
5 – 6	Засувка	2	–
7 – 9	Вентиль	3	–
МН1 – МН2	Манометр МО	2	–

Таблиця 7.2 – Вимірювальна апаратура

Позначення	Вимірюваний параметр	Діапазон вимірювань	Вимірювальний прилад
1	Тиск на вході, кгс/см <sup>2</sup>	0–1	Манометр МО 1226. Клас точності – 0,15. ТУ 25-05-1664-74
2	Тиск на виході, кгс/см <sup>2</sup>	0–4	Манометр МО 1226. Клас точності – 0,15. ТУ 25-05-1664-74
3	Частота обертання, об/хв	0–3000	Тахометр ТЕСА 3740
4	Подача, мз/год	0–450	Витратомір ультразвуковий DMDF-P

Принцип дії випробувального стенда наступний. Рідина з бака Б надходить до насоса Н при відкритті засувки 5. Вентилі 7 і 9 використовуються для заповнення та зливання рідини з бака. Вентиль 8 призначений для випускання повітря з бака в процесі його заповнення рідиною.

Манометри 2 і 1 використовуються для визначення тиску в напірному і всмоктувальному трубопроводах відповідно.

Подача насоса регулюється за допомогою засувки 6. Витратомір ультразвуковий 4 призначений для визначення подачі насоса. Похибка під час вимірювання подачі за допомогою ультразвукового витратоміру становить 0,5 – 1 % [24].

Робочою рідиною в ході експериментального дослідження обрана вода згідно з [16]. Густина води визначали відповідно до температури, яку вимірювали за допомогою термометра Т.

### Методика проведення експериментальних досліджень

В цілому методика проведення випробувань АНС по визначенню енергетичних характеристик ґрунтувалася на відпрацьованих рекомендаціях щодо випробувань гідравлічних машин та згідно ГОСТ 6134-74. Далі наведені загальні залежності, за якими визначалися необхідні характеристики.

Потужність на валу АНС визначалася за допомогою балансірної машини та обчислювалася за формулою

$$N_{\text{м}} = \left( F_p \cdot l_p \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \right) \cdot \left( \frac{n_n}{n_{\text{м}}} \right)^3, \quad (7.1)$$

де  $N_{\text{м}}$  - модельна (приведена) потужність на валу, Вт;

$F_p$  - зусилля на плечі важеля, Н;

$l_p$  - довжина важеля балансірної машини, м.

$n_n, n_{\text{м}}$  - натурна та модельна (приведена) частоти обертання ротора, об/хв

Довжина важеля визначалася за методикою, розробленою Науково-дослідним інститутом атомного та енергетичного насособудування (ВНДІАЕН м. Суми) і дорівнювала  $l_p = 0,9972$  м.

Енергетична характеристика ступені АНС  $N_c(n)$  визначалася шляхом віднімання показників характеристики холостого ходу  $N_x(n)$  від показників характеристики, визначеної за допомогою балансірної машини  $N(n)$ .

При дослідженні насосного АНС енергетична характеристика визначалася електричним шляхом і обчислювалася наступним чином

$$N_{\text{ем}} = (W_1 + W_2 + W_3) \cdot K \cdot \eta_{\text{ет}} \cdot \left( \frac{n_n}{n_{\text{м}}} \right)^3, \quad (7.2)$$

де  $N_{\text{ем}}$  - модельна (приведена) потужність, Вт;

$W_1, W_2, W_3$  - показання ватметра по кожній фазі, Вт;

$K$  - коефіцієнт, який враховує схему підключення та режим роботи вимірювального приладу;

$\eta_{el}$  - ККД електродвигуна, що відповідає режиму його роботи.

Напір, що створює АНС під час роботи, обчислювався за показаннями манометрів, які вимірювали величину тиску у всмоктуючій та напірній ділянках трубопроводів

$$H_m = \left[ \frac{\left( \frac{P_n \cdot P_2}{n_{2,m}} - \frac{P_6 \cdot P_1}{n_{1,m}} \right) \times 10^6}{\rho \cdot g} + \frac{u_n^2 - u_6^2}{2 \cdot g} + z_n - z_6 \right] \cdot \left( \frac{n_n}{n_m} \right)^2, \quad (7.3)$$

де  $H_m$  - модельний (приведений) напір, що створює АНС, м;

$P_6, P_n$  - показання манометрів у всмоктуючому та напірному трубопроводах, діл (ділень);

$P_1, P_2$  - межа вимірювання тиску манометрами у всмоктуючому та напірному мірних перетинах, МПа;

$n_{1,m}, n_{2,m}$  - кількість ділень манометрів на всмоктуючому та напірному мірних перетинах, діл.;

$\rho$  - густина робочого середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  - прискорення вільного падіння,  $g = 9.81$  м/с<sup>2</sup>;

$u_6, u_n$  - швидкість течії робочої рідини у всмоктуючому та напірному мірних перетинах, м/с;

$z_6, z_n$  - висота розташування манометрів, м.

Враховуючи однаковий рівень розташування манометрів та однаковий діаметр мірних ділянок на всмоктуючому та напірному трубопроводах формула для визначення напору запишемо у наступному

вигляді

$$H_M = \left[ \frac{\left( \frac{P_H \cdot P_2}{n_{2M}} - \frac{P_6 \cdot P_1}{n_{1M}} \right) \times 10^6}{\rho \cdot g} \right] \cdot \left( \frac{n_H}{n_M} \right)^2.$$

(7.4)

Величина приведеної витрати рідини через проточну частину АНС  $Q_M$  визначалася за формулою:

$$Q_M = Q \cdot \left( \frac{n_H}{n_M} \right), \quad (7.5)$$

де  $Q$  - експериментально визначена величина витрати, м<sup>3</sup>/с.

### Оцінка похибок результатів вимірювань

При розрахунку похибок визначення основних параметрів АНС використовувалися аналітичні залежності.

Відносна гранична похибка вимірювання частоти обертання ротора АНС  $\delta n$  визначалася за формулою

$$\delta n = \frac{100 \cdot \Delta n}{n}, \%, \quad (7.6)$$

де  $\Delta n$  - абсолютна гранична похибка вимірювання частоти обертання ротору, об/хв.;

$n$  - експериментально визначена величина частоти обертання, об/хв.

Абсолютна гранична похибка вимірювання частоти обертання визначалася як сума похибки тахометра та похибки вимірювання.

Відносна гранична похибка вимірювання потужності на валу експериментального АНС визначалася за формулою [7.7]

$$\Delta N_M = \sqrt{\left( \frac{100 \cdot F_\psi}{F_p} \right)^2 + \delta F_p^2 + \delta l^2 + 4\delta n^2}, \%, \quad (7.7)$$

де  $F_{\psi}$  - поріг чутливості балансірного двигуна, Н;

$\delta F_p, \delta l$  - відносні похибки вимірювання, відповідно зусилля та довжини плеча важеля балансірного двигуна, %.

Відносна гранична похибка вимірювання лінійних розмірів елементів проточної частини АНС  $\delta L$  визначалася за формулою

$$\delta L = \frac{100 \cdot \Delta L}{L}, \%, \quad (7.8)$$

де  $\Delta L$  - абсолютна гранична похибка вимірювання геометричного розміру, м;

$L$  - величина параметру, що визначається, м.

Відносна гранична похибка вимірювання температури рідини  $\delta t$  визначалася за формулою

$$\delta t = \frac{100 \cdot \Delta t}{t}, \%, \quad (7.9)$$

де  $\Delta t$  - абсолютна гранична похибка вимірювання температури, °С;

$t$  - експериментально визначене значення температури, °С.

Відносна гранична похибка вимірювання часу проведення експерименту  $\delta T$  визначалася за формулою

$$\delta T = \frac{100 \cdot \Delta T}{T}, \%, \quad (7.10)$$

де  $\Delta T$  - абсолютна гранична похибка вимірювання часу, хв;

$T$  - експериментально визначене значення часу, хв.

Відносна гранична похибка вимірювання електричної приведеної потужності, що споживається АНС,  $\Delta N_{me}$  визначалася за формулою

$$\Delta N_{me} = \sqrt{\delta P_e^2 + \delta \eta_e^2 + 9\delta n^2}, \%, \quad (7.11)$$

де  $\delta P_e$  - відносна гранична похибка вимірювання електричної потужності по кожній з фаз, %;

$\delta \eta_e$  - відносна гранична похибка визначення ККД електродвигуна, %.

Відносна гранична похибка визначення приведеної витрати рідини через

проточну частину АНС  $\Delta Q_m$  визначалася за формулою

$$\Delta Q_m = \sqrt{\delta Q^2 + \delta n^2}, \quad \% \quad (7.12)$$

де  $\delta Q$  - відносна гранична похибка вимірювання витрати рідини, %;

що визначалася як

Таблиця 7.3 – Похибки прямих вимірювань

$$\delta Q = \frac{100 \cdot \Delta Q}{Q}, \quad \% \quad (7.13)$$

де  $\Delta Q$  - абсолютна гранична похибка вимірювання витрати рідини, м<sup>3</sup>/с;

$Q$  - експериментально визначена величина витрати, м<sup>3</sup>/с.

Враховуючи рівність діаметрів всмоктуючого та напірного патрубків АНС, а також однаковий рівень положень манометрів, відносну граничну похибку вимірювання напору можна виразити через межі вимірів манометрів та їх класи точності.

Для умов експерименту по дослідженню насосного ефекту формула для визначення відносної похибки обчислення напору має наступний вид

$$\Delta H = \frac{1}{H_{оп}} \sqrt{\frac{P_n^2 \cdot \delta P_n^2 + P_g^2 \cdot \delta P_g^2}{\rho^2} + H_{оп}^2 \cdot (\delta \rho^2 + 4\delta n^2)}, \quad \% \quad (7.14)$$

де  $\delta P_g, \delta P_n, \delta \rho$  - відносні граничні похибки вимірювання, відповідно тиску на вході та виході з АНС та густини робочої рідини, %;

$H_{оп}$  - експериментальне значення напору, м.



Параметр, що вимірюється, одиниця виміру	Середній рівень параметру	Абсолютна гранична похибка	Відносна гранична похибка, %	Середньоквадратична відносна похибка, %
Діаметр робочого колеса $D$ , м	0,41	1	0.5	0.25
Діаметр втулки робочого колеса $D_{вт}$ , м	0,07	1	1.3	0.65
Ширина лопатей робочого колеса $b$ , мм	38	0.5	1.1	0.55
Частота обертання $n$ , об/хв	1000	2	0.27	0.14
Вага гир, що урівноважують важіль, $F_p$ , Н	75	0.1	0.13	0.65
Довжини важеля $l$ , м	0.795	0.001	0.13	0.65
Температура рідини $t$ , °C	20	0.2	0.4	0.2
Час проведення випробувань $T$ , хв	30	0,25	0.8	0.4

Середньоквадратичні відносні похибки непрямих вимірювань визначалися за формулою [7.15]

$$\sigma_{\varepsilon} = \frac{\Delta}{2}, \% \quad (7.15)$$

де  $\Delta$  - відносна гранична похибка параметру, що визначається, %.

Результати визначення значень похибок прямих та непрямих вимірювань наведені в табл.7.3 та табл.7.4. Розрахунки похибок результатів випробувань свідчать про те, що вони знаходяться в допустимих межах.

Таблиця 7.4 - Похибки непрямих вимірювань

Параметр, що визначається, одиниця виміру	Середній рівень параметру	Відносна похибка, %	Середньоквадратична відносна похибка, %
Потужність, $N_m, Вт$	75 000	1.07	0.54
Потужність, $N_{me}, Вт$	75 000	7.1	3.6
Витрата рідини через АНС $Q, м^3/ч$	400	0.5	0.25
Напір $H, м$	25	1.21	0.6

### Натурні випробування

Проводилися натурні випробування насосного агрегату АНС 400-25 на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки на стенді. Під час проведення випробування було отримано робочу характеристику насоса з урахуванням вище приведеної методики. Виготивши насос на базі лабораторії кафедри ПГМ його було встановлено на стенд, було виконано обв'язку труб та підключення вимірювальних приладів. Встановлено асинхронний двигун з частотою обертання 960 об/хв на якому знаходилися моментні ваги, для виміру маси яка протидіє двигуну.

Під час випробування були зняті показники приборів.

Таблиця 7.5 – Протокол випробувань

№	Подача, м <sup>3</sup> /год	Тиск на вході в насос, Па	Тиск на виході з насоса, Па	Напір насоса, м	Потуж- ність, кВт	Частота обертання насоса, об/хв	Подача привед. Q, м <sup>3</sup> /год	Напір привед. Н, м	Потуж- ність привед. N, кВт	К.К.Д., %
1	1,3	210339	443593	23,8	26,1	970	1,3	23,8	26,1	0,3
2	43,0	206030	444180	24,3	26,4	970	43,0	24,3	26,4	10,8
3	81,0	202897	446530	25,0	28,3	970	81,0	25,0	28,3	19,4
4	138,0	199763	445943	25,3	30,4	970	138,0	25,3	30,4	31,3
5	189,0	194671	443005	25,8	32,9	970	189,0	25,8	32,9	40,3
6	260,0	189579	438305	26,1	37,2	970	260,0	26,1	37,2	49,7
7	313,0	186446	434780	26,4	41,2	970	313,0	26,4	41,2	54,6
8	360,0	183312	431254	26,7	45,2	970	360,0	26,7	45,2	57,9
9	390,0	179004	426554	26,9	44,8	970	390,0	26,9	44,8	63,8
10	412,0	172345	418916	27,0	50,0	970	412,0	27,0	50,0	60,6
11	452,0	170386	415978	27,3	52,0	970	452,0	27,3	52,0	64,6
12	473,0	155894	404227	27,8	54,0	970	473,0	27,8	54,0	66,3
13	502,0	157069	398352	27,4	57,2	970	502,0	27,4	57,2	65,4
14	534,0	145710	377201	26,8	59,6	970	534,0	26,8	59,6	65,2
15	567,0	143751	372500	26,9	61,2	970	567,0	26,9	61,2	67,8
16	581,0	143751	367800	26,6	64,0	970	581,0	26,6	64,0	65,6
17	626,0	144926	353699	25,6	67,2	970	626,0	25,6	67,2	64,9
18	652,0	142576	344298	25,3	69,2	970	652,0	25,3	69,2	64,7
19	665,0	141009	337835	24,9	70,0	970	665,0	24,9	70,0	64,5
20	683,0	137876	330197	24,8	72,0	970	683,0	24,8	72,0	63,9
21	695,0	136309	322559	24,3	72,8	970	695,0	24,3	72,8	63,1
22	644,0	142184	345473	25,3	68,8	970	644,0	25,3	68,8	64,4
23	598,0	146493	365450	26,3	64,8	970	598,0	26,3	64,8	66,0
24	530,0	155502	390126	27,0	59,2	970	530,0	27,0	59,2	65,8
25	412,0	173520	421854	27,2	49,6	970	412,0	27,2	49,6	61,5
26	354,0	176262	425379	26,8	44,0	970	354,0	26,8	44,0	58,7
27	340,0	182137	430667	26,6	42,8	970	340,0	26,6	42,8	57,6
28	250,0	177045	426554	26,2	36,4	970	250,0	26,2	36,4	48,9
29	167,0	195846	443593	25,6	31,6	970	167,0	25,6	31,6	36,8
30	104,0	196630	441830	25,2	28,8	970	104,0	25,2	28,8	24,7
31	0,0	210731	444180	23,8	26,0	970	0,0	23,8	26,0	0,0

Аналіз результатів фізичного експерименту дає розуміння, що насос спроектований правильно, результати отримані з числового розрахунку та фізичного експерименту співпадають у межах похибки.

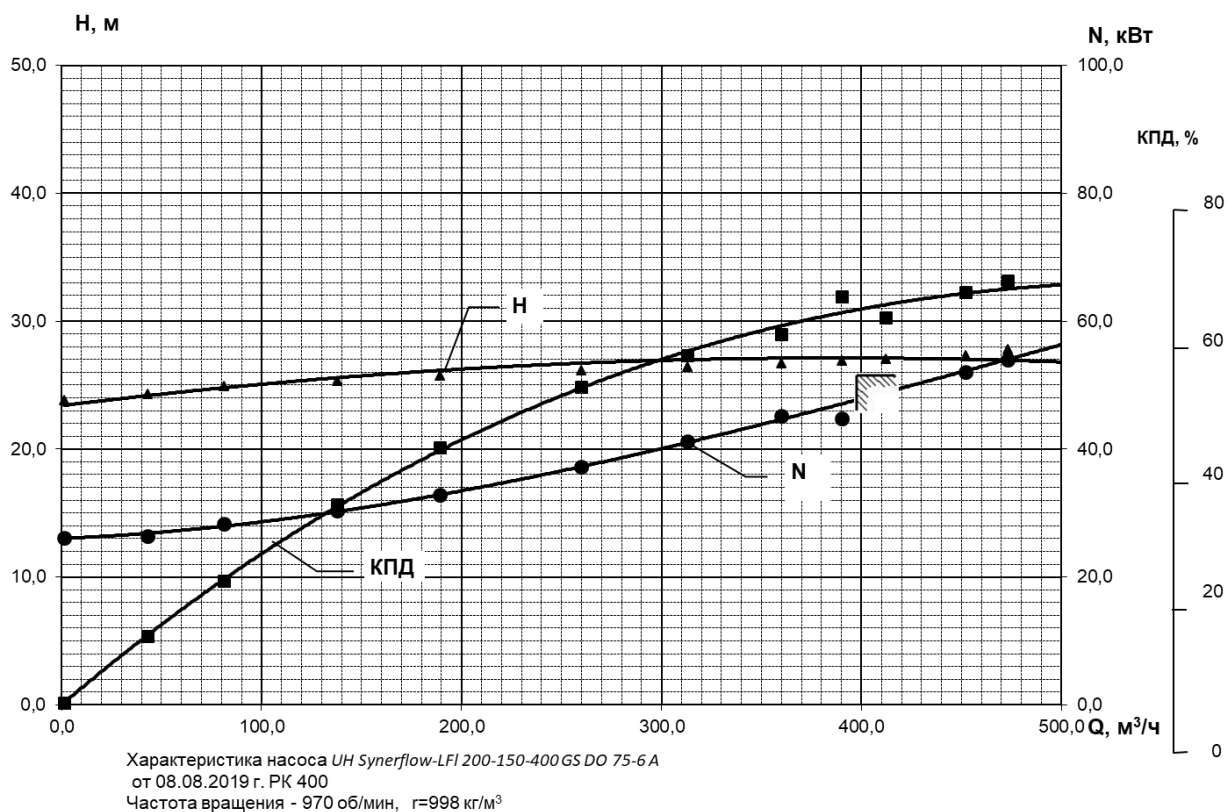


Рисунок 7.3 – Результати фізичного експерименту

### Кавітаційні випробування

Проведення випробувань пов'язано тільки з вимірами, що відносяться до гідравлічної області насоса (вимірами напору, подачі, ККД) і не пов'язано з явищами, які можуть бути викликані кавітацією (шумом, вібрацією, пошкодженням матеріалу і т.п.).

Кавітація може бути виявлена як падіння напору або ККД при даній подачі або як падіння подачі або ККД при даному напорі. Найчастіше використовується значення падіння напору при заданій подачі.

Кавітаційні випробування, як правило, проводять на чистій холодній воді. Але кавітаційні випробування на воді не можуть точно передбачити "поведінку" насоса при роботі на рідинах, відмінних від чистої холодної води.



Рисунок 7.4 – Стенд для кавітаційних випробувань

Стенд для проведення кавітаційних випробувань по закритому контуру був розроблений на базі стенда для параметричних випробувань з деякими змінами. Для цього необхідно створити розрідження на вході в насос за допомогою вакуум-насоса, тому манометр на вході замінюються на мановакууметр.

Кавітаційні випробування для насоса АНС 400-25 відбувалися для визначення  $NPSH_3$  (критичного кавітаційного запасу  $\Delta h_K$ ).

При проведенні даного випробування кавітаційний запас  $\Delta h$  зменшується прогресивно до тих пір, поки падіння загального напору насоса (першого ступеня) при постійній подачі не досягне 3%.

Випробування проводились за закритою схемою, при якій регульовальним параметром був тиск на вході в насос, а нерегульований параметром була подача насоса.

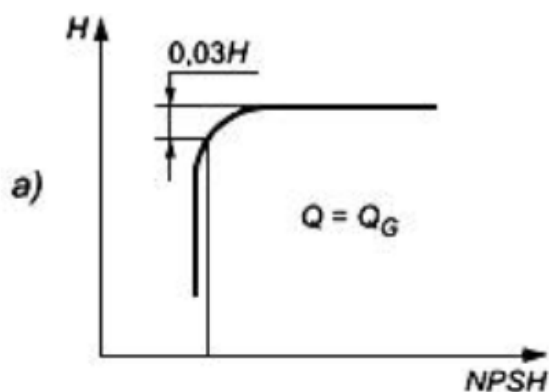


Рисунок 7.5 – Крива напірної характеристики в залежності від подачі і кавітаційного запаса

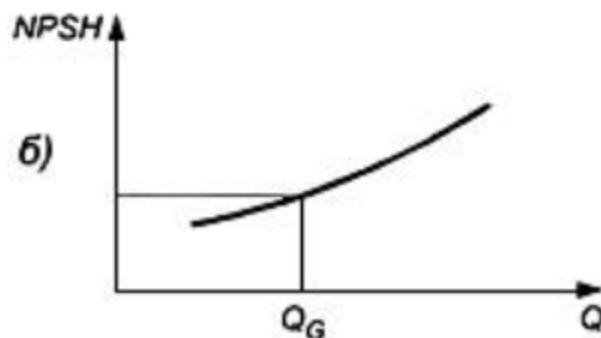


Рисунок 7.6 – Крива кавітаційної характеристики в залежності від подачі

Ланцюг (трубопроводи, ємності, мірні і випрямляючі пристрої і т.п.) повиний бути таким, щоб у насосі при появі кавітації він не могла поширюватися, впливати на стабільність і якісну роботу установки або вимірювання параметрів насоса.

Кавітація, повітряні бульбашки і дегазація, викликані кавітацією насоса, не повинні впливати на роботу приладів, особливо на пристрої вимірювання подачі.

Вибраний тип установки зумовлює використання регулювальних клапанів (засувок) на вході і виході, щоб уникнути кавітації в місцях, які впливають на отримані результати.

Коли дросельний клапан частково закритий, необхідно переконатися, що труба заповнена водою, а швидкість потоку і тиск у входному вимірному перетині рівномірні. Це можна досягти використанням відповідного пристрою, що виправляє потік або застосуванням прямої труби довжиною не менше  $12D_v$  перед входом в насос.

### Вимоги до рідини

Рідина повинна бути чистою і прозорою, не повинна містити твердих включень. По можливості вільний газ перед випробуванням повинен бути знищений. Деаерація води, використовуваної для проведення кавітаційних випробувань, необхідна тільки в тому випадку, якщо насос буде працювати

на такій воді. Навпаки, щоб уникнути дегазації в будь-якій частині насоса, вода в системі не повинна бути перенасиченою.

### **Методика проведення випробувань**

При проведенні випробувань вимірюється і записується подача, тиск на вході, тиск на виході, частоту обертання, температуру рідини.

Порядок проведення кавітаційних випробувань наступний:

1. Запускається насос при відкритій засувці на всмоктуючому трубопроводі.
2. За допомогою засувки на напірному трубопроводі і витратомірного пристрою встановлюється задана подача  $Q$ .
3. Записуються показання всіх приладів.
4. Прикривається засувка на всмоктуючому трубопроводі до тих пір, поки показання вакуумметра не зміняться на задане значення  $\Delta V$ , при цьому для збереження постійної подачі насоса  $Q$  засувку на напірному трубопроводі необхідно дещо відкривати. коли режим встановиться, записують свідчення всіх приладів.
5. Повторюють операцію по п. 4 не менше 7 рази, поки показання манометра на напірному трубопроводі не почнуть знижуватися помітно швидше, ніж вакуумметра режим роботи насоса переходить з горизонтальною гілки характеристики  $H = f(\Delta h)$  на похилу (рис. 3.32 а).
6. Знижують «крок» показань вакуумметра  $V$ , при подальшому прикритті засувки на всмоктувальному трубопроводі в 4 ... 6 разів, щоб записати показання приладів ще на двох - чотирьох досвідчених точках, які розташовані на «падаючій» гілці характеристики  $H = f(\Delta h)$  (див. рис. 3.32 а).
7. Відкривається повністю засувка на всмоктуючому трубопроводі .
8. Закривається засувка на напірному трубопроводі .
9. Зупиняють насос .

### Обробка результатів випробувань

Результати розрахунків кавітаційних запасів для подач  $Q$  приводяться в таблиці.

На підставі результатів розрахунку кавітаційного запасу  $\Delta h$  будують зривну кавітаціону характеристику відцентрового насоса  $H = f(\Delta h)$ , (при  $Q = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$ ). За ним визначають величину  $\Delta h_{кр}$ , -3% падіння напору  $H$ .

Таблиця 7.6 – Протокол кавітаційних випробувань

$Q$ , м <sup>3</sup> /год	Тиск на всмок, кгс/см <sup>2</sup>	Тиск на напорі, под	Потужність, под	Напір, м	Потужність, кВт	Кавітаційний запас, м
407	-0,07	42	1230	25	49200	8,2
400	-0,22	38,8	1230	25	49200	7,6
392	-0,275	38	1210	25	48400	6,2
395	-0,41	35,3	1210	25	48400	5,1
400	-0,62	31,5	1210	25	48400	3,9
400	-0,71	27,6	1115	25	44600	3,5
400	-0,78	27,2	1050	25	42000	2,7
400	-0,85	25,2	833	24,5	33320	1,9
400	-0,91	23,4	688	24,3	27510	1,5



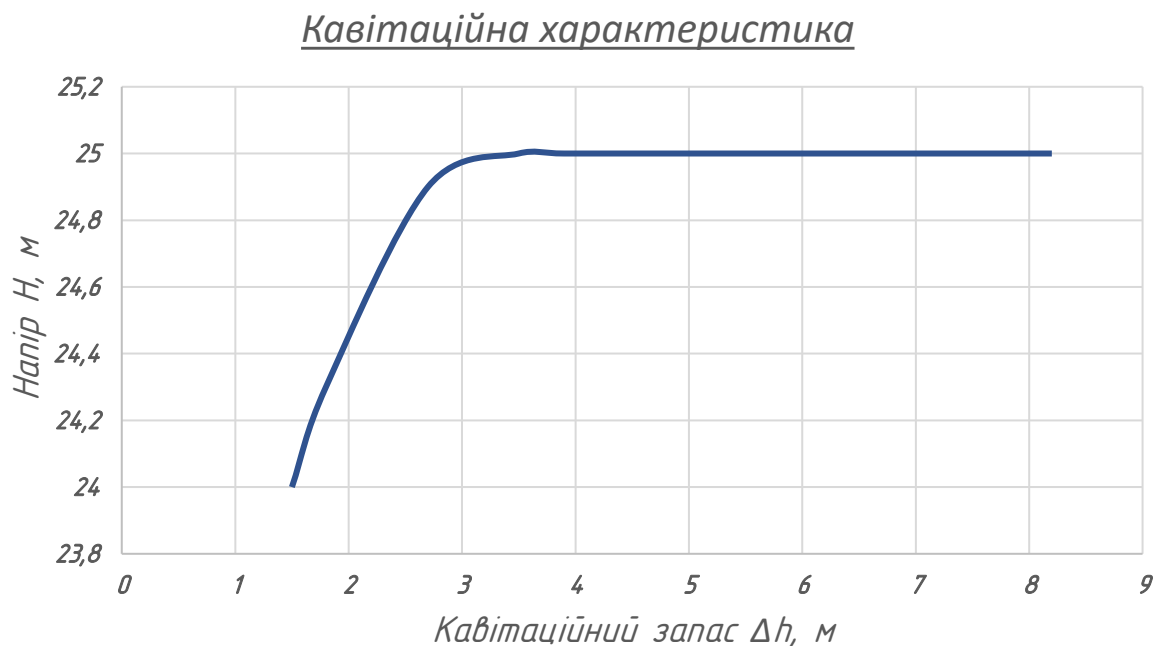


Рисунок 7.7 – Зрівня кавітаційна характеристика насоса АНС 400-25

Таким чином під час проведення кавітаційних випробувань підтвердились теоретичні розрахунки кавітаційного запаса на рівні 1,6 метри.

Випробуваний насос було поставлено на рециркуляцію сиропу в плівковому випарному апараті на 4му корпусі випарної установки ПАТ «Теофіпольський цукровий завод». Впроваджений насос успішно відпрацював сезон 2019-2020 року, забезпечуючи безперебійну роботу випарного апарата.



Рисунок 7.8 – Насос АНС 400-25 на ПАТ «Геофіпольський цукровий завод»



Рисунок 7.9 – Насоси типу АНС виконують технологічні завдання на цукровому заводі

## ВИСНОВОК

Дипломний проект присвячений актуальній задачі – підвищенню енергетичної ефективності відцентрових насосів типу АНС шляхом удосконалення їх проточної частини, розробка уніфікованої конструкції насоса а також удосконаленню параметричного ряду відцентрових насосів типу АНС з використанням розробленого шнека.

Основні результати і висновки з даної роботи наступні:

- проведено аналітичний огляд насосного обладнання;
- виконано аналітичний розрахунок геометричних параметрів проточної частини відповідно до технічного завдання;
- підготовлено робочий проект насосу;
- розроблено технологічний процес виготовлення насосу;
- виконано розрахунок собівартості виготовлення насосу;
- виготовлено дослідний зразок насосу та проведено його експериментальне дослідження;
- виконано монтаж та підконтрольну експлуатацію насосного агрегату на ПАТ «Теофіпольський цукровий завод».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. 29800 U, МПК F04D1/00. Насос відцентровий консольний / Прокопенко В.І., Шевченко С. М., Горбенко О.Б. - №u200711252; заявл. 11.10.2007; опубл. 25.01.2008.
2. Пат. 129871 U Україна, МПК (2006), F04D 7/02 (2006.01), F04D 17/06 (2006.01), F04D 29/00. Гвинтовідцентровий насос / А.С. Мандрика, О.Г. Гусак, І.О. Ковальов, А.А. Папченко, Д.І. Григоренко (Україна); заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т. - № u201807024; заявл. 22.06.2018; опубл. 12.11.2018, бюл. № 21.
3. Пат. 100339 U, МПК F04D 29/24. Робоче колесо відцентрового насоса/ А.А. Іванюшин, Є.С. Колесник, Т.В. Литвиновська, О.В. Нємцов - № a201113811; заявл. 24.11.2011; опубл. 10.12.2012.
4. MegaСРК [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://products.ksb.com/ru-ru/продукция/насосы-и-насосные-системы/циркуляционные-насосы-с-уплотнением-вала/насосы-со-спиральным-корпусом/исполнение-опорной-плиты/megacpk-17950>.
5. Модельний ряд SNS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sulzer.com/ru-ru/russia/shared/products/2017/03/28/12/58/sns-end-suction-single-stage-process-pump-range>.
6. Ржебаева Н. К. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию "Шнеко-центробежная ступень насоса" / Н. К. Ржебаева, В. М. Жуков, В. А. Куценко. – Харків: ХПІ, 1990. – 39 с.
7. Михайлов А. К. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование: учеб. пос. / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. - М. : Машиностроение, 1977. - 288 с.
8. Лопастные насосы: справочник / под общ. ред. В. А. Зимницкого, В. А. Умова. - Л. : Машиностроение, 1986. - 334 с.



9. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию «проектирование центробежного рабочего колеса» по курсу «Расчет и проектирование насосов» для студентов дневной и вечерней форм обучения/Сост. Н.К.Ржебаева. – Харьков: ХГУ, 1991. – 44 с.
10. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: В. Ф. Герман, О. Г. Гусак, В. О. Панченко. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 32 с.
11. Анурьев, В. И. Справочник конструктора машиностроителя: в трех томах. / В. И. Анурьев. - М. : Машиностроение, 2001. – т.1 - 920 с.
12. Ржебаева Н.К. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию «Расчет и проектирование спирального отвода» по дисциплине «Расчет и конструирования насосов» для студентов специальности 12.11 дневной и заочной форм обучения.; 1995г.; 15с.
13. Ржебаев Э.Е. «Расчет и конструирование центробежных насосов:» Учебное пособие. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2009. -220с.
14. Профилирование проточной части рабочих колес центробежных насосов : учеб. пос. / А. Н. Машин. – М. :МЭИ, 1976. – 55 с.
15. Мелашенко В. И. Профилирование лопатей рабочих колес центробежных насосов : учеб. пос. / В. И. Мелашенко, А. В. Зуев , А. И. Савельев. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 50 с.
16. ДСТУ ГОСТ 6134:2009 «Насоси динамічні. Методи випробування». – Введ. 2009-02-13. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2009. – 101 с.
17. Ханнанов Р. Б. Экспериментальный стенд испытания турбомолекулярного насоса / Р. Б. Ханнанов // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 18. – С. 335–337.
18. Линник А. В. Экспериментальный стенд ОАО «Турбоатом» для физического моделирования гидродинамических процессов в проточных

- частях поворотно-лопастных гидротурбин / А. В. Линник, А. В. Рябов // Энергетическое машиностроение. – 2014. – № 3. – С. 3–11.
19. Craciun V. S. A flexible and low cost experimental stand for air source heat pump for Smart Buildings / V. S. Craciun, C. Bojesen, M. B. Blarke, V. Trifa // Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2012, 13th International Conference on. – IEEE, 2012. – P. 1040–1045.
20. Методичні вказівки до виконання економічного розділу дипломного проекту для студентів спеціальності 7.090209 «Гідравлічні і пневматичні машини» усіх форм навчання / укладач О.Г. Дегтяренко. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – С. 32
21. Детали машин. Курсовое проектирование: учеб. пос. / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. - М. : Высшая школа, 1984. - 336 с.
22. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам: ГОСТ 2.105-95. – [Действителен от 1996-06-01]. – М.: Госстандарт Российской Федерации 1996. – 31 с. – (Межгосударственный стандарт).
23. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления: ГОСТ 7.32-91 (ИСО 5966 82). – [Действителен от 1992-01-01]. – М.: Госстандарт СССР 1992. – 18 с. – (Государственный стандарт СССР).
24. Чернов Б. А. Погрешности ультразвуковых расходомеров от расширения и деформации трубопровода при перепадах температуры и давления транспортируемой жидкости / Б. А. Чернов // Вестник Алмаатинского университета энергетики и связи. – 2011. – № 1 (12). – С. 17–20.