

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему

«Проектування насоса уніфікованого типу АНС 100-60»

зі спеціальності

«Гідравлічні машини, гідро приводи та гідро- пневмо- автоматика»

Виконавець роботи

Ворожка Анатолій Сергійович

---

*підпис, дата*

Науковий керівник

Асистент

Лобуренко Михайло Васильович

---

*підпис, дата*

Суми 2018

## **РЕФЕРАТ**

Пояснювальна записка: 104 с., 20 рисунків, 10 таблиць, 1 додаток, 14 літературних джерел.

Тема роботи «Проектування насоса уніфікованого типу АНС 100-60».  
Графічні матеріали: 4 аркуші формату А1: складальне креслення насоса, креслення корпусу, креслення відводу, креслення робочого колеса.

Мета роботи – розроблення конструкції насоса для перекачування води. Відповідно до поставленої мети: – виконано розрахунки щодо вибору конструктивної схеми насоса; – наведено опис конструкції; – виконано гідравлічні розрахунки; – вибрано електродвигун. У розділі охорони праці розглянуто вплив вібрації на організм людини, методи дослідження, та засоби боротьби з негативним впливом вібрації. У розділі економіки розраховано собівартість насоса, у технологічному розділі – технологічний процес оброблення робочого колеса закритого типу.

Ключові слова: НАСОС, КОНСТРУКЦІЯ, РОБОЧЕ КОЛЕСО, ВІДВІД, ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ

## ЗМІСТ

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### РЕФЕРАТ

ВСТУП..... 7

1 ОПИС ПРОДУКЦІЇ ВИРОБНИЧО-ТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ ПО ВПРОВАДЖЕННЯ ЇЇ У ВИРОБНИЦТВО ..... 9

1.1 Технологічна лінія виробництва цукру-піску з цукрового буряку.....9

1.2 Вимоги до насосів, які використовуються в цукровій промисловості.....13

2 ОПИСАННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ..... 15

2.1 Опис конструкції насос АНС 100-60 .....16

3 РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ НАСОСА ..... 21

3.1 Проектування відцентрового робочого колеса.....21

3.1.1. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ .....21

3.1.2 Вихідні дані для розрахунку .....21

3.1.3 Визначення діаметра вала та втулки робочого колеса .....24

3.1.4 Визначення геометричних параметрів входу у робоче колесо .....25

3.1.5 Визначення числа лопатей та їх товщини.....27

3.1.6 Уточнення коефіцієнта стиснення потоку .....28

3.1.7 Уточнення зовнішнього діаметра робочого колеса з урахуванням кінцевого числа лопатей.....29

3.1.8 Уточнення коефіцієнта стиснення потоку на виході з робочого колеса .....31

3.2.1 Загальні положення.....32

3.2.2 Методика побудови меридіанного перерізу .....32

3.3 ПІДГОТОВКА МЕРИДІАННОГО ПЕРЕРІЗУ РОБОЧОГО КОЛЕСА ДЛЯ ПРОФІЛЮВАННЯ ЛОПАТИ.....36

3.3.1 Побудова нормалей.....36

3.3.2 Побудова ліній течії.....37

3.4 ПРОФІЛЮВАННЯ ЛОПАТИ .....39

3.4.1 Побудова координатної сітки на розгортці циліндра.....39

3.4.2 Побудова конформного відображення координатної сітки на поверхні течії.....40

3.4.3 Профілювання поверхні лопаті на розгортці циліндра.....41

3.4.4 Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіанній проекції робочого колеса .....42

3.4.5 Побудова лопаті у плані .....43

3.5 Розрахунок і проектування спірального відводу с тангенціальним виходом .....45

3.5.1 Вихідні данні для розрахунку.....45

3.5.2 Розрахунок і проектування спірально відвода .....45

3.5.4 Кут охоплення спіралі в плані.....46

3.5.5 Визначення пропускної здатності спіралі  $A_{сп.розр}$  .....47

3.5.6 Визначення площі розрахункового перерізу .....48

<i>6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ</i>				
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Ворожка</i>			
<i>Перевір.</i>	<i>Лобидренко</i>			
<i>Реценз.</i>				
<i>Н. Контр.</i>	<i>Алексеевко</i>			
<i>Затв.</i>				
<i>Насос АНС 100-60</i>			<i>Літ.</i>	<i>Аркиш</i>
<i>Пояснювальна записка</i>				<i>Аркишів</i>
				<i>5</i>
				<i>103</i>
			<i>СумДУ, зр. ГМ-41</i>	

3.5.7	Перевірка правильності визначення $F_{розр}$ .....	50
3.5.8	Визначення площі проміжних перетинів (від 0 до 9).....	51
3.5.9	Побудова плану спіралі .....	51
3.5.10	Розрахунок і проектування диффузорної ділянки 2 .....	52
3.6	Особливості проектування спірального відводу з радіальним виходом .....	54
<b>4</b>	<b>РОЗРОБКА МАРШРУТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОЧОГО КОЛЕСУ ЗАКРИТОГО ТИПУ .....</b>	<b>56</b>
4.1	Аналіз конструкції робочого колеса і технічних умов на його виготовлення .....	57
4.2	Визначення типу виробництва.....	57
4.3	Вибір методу отримання заготовки .....	58
4.4	Умови вибору технологічних баз .....	58
4.5	Вибір маршруту обробки поверхонь деталі.....	59
4.6	Визначення припусків на механічну обробку і розмірів заготовки.....	59
4.7	Побудова операцій механічної обробки.....	63
<b>5</b>	<b>Розрахунок собівартості насосного агрегату АНС 100-60.....</b>	<b>64</b>
5.1	Розраховуємо повну собівартість насосного агрегату.....	64
5.2	Витрати на виробу, що закуповують .....	66
5.3	Транспортні – заготівельні витрати .....	66
5.4	Розрахунок заробітної платні працівників виробництва.....	67
5.5	Додаткова заробітна платня виробничих працівників .....	68
5.6	Нарахування на заробітну платню .....	68
5.7	Витрати на відшкодування зношення спеціальних пристосувань та інструментів.....	68
5.8	Визначення накладних витрат .....	68
5.9	Виробнича собівартість виробу .....	70
5.11	Повна собівартість виробу .....	70
5.12	Визначення планових накопичень та договірної ціни.....	70
<b>6</b>	<b>ЗАХОДИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ .....</b>	<b>73</b>
6.1	Основні положення .....	73
6.2	Вплив вібрації на людину.....	76
6.3	Методи гігієнічної оцінки та нормативні параметри виробничої вібрації .....	78
6.4	Методи захисту від вібрацій .....	82
	Список літератури .....	90
	Додаток А .....	92

## ВСТУП

Цукрова промисловість - традиційно високорозвинена галузь економіки України. Наші кліматичні умови добре підходять для вирощування цукрових буряків. Ще двадцять років тому на Україні успішно працювали понад 100 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 2015 року працювало 36 цукрових заводів.

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: для сиропу, для утфелю, для меляси, є однією з основних груп обладнання цукрового виробництва.

Найважливішим завданнями, що стоять перед цукровими заводами, є поліпшення якості продукції, збільшення продуктивності і 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 насоси або роторно-лопатеві насоси, і черв'ячні, шнекові насоси, і старі шестерні насоси.

									Лист
									7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ				

Відцентрові насоси використовують для перекачування рідких цукровмісних речовин (наприклад: соків, набряків).

Виконавши аналіз насосного обладнання цукрової промисловості, ми сформували вимоги до насосів, які використовуються. Позначили наше поле насосів, якими ми будемо займатися в плані модернізації, зниження насосогабаритних показників, покращення роботи обслуговування насоса.

Насос АНС 100-60 – горизонтальний, консольний з осьовим підводом рідини до робочого колеса відкритого типу і спіральним відводом, з комбінованим типом ущільнення. Призначений для перекачування суспензії з вмістом зважених частинок до 30% за масою, соки, сиропи, вапняне молоко, вода та інші технологічні 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).

Насоси цього типу з подачою  $Q = 100 \text{ м}^3/\text{год}$  і напорів  $H = 60 \text{ м}$ , потужність двигуна насоса  $N = 37 \text{ кВт}$ .

Матеріал основних деталей: корпус, кришка задня і кронштейн – СЧ 20; робоче колесо, обтікач - сталь 20Х13; вал - сталь 45.

Переглянули аналоги і їх недоліки. Зробили розрахунок насоса АНС 100-60. Розробили документацію, технічну частину по виготовленню робочого колеса закритого типу. По виготовленню базових деталей насосу, зробили розрахунок собівартості. Побудували 3-d модель насоса.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		



Пристрій і принцип дії лінії. Цукрові буряки подається в завод з бурячних або з кагатних полів. По гідравлічному конвеєру вона надходить до насосів і піднімається на висоту до 20 м. Подальше переміщення її для здійснення різних операцій технологічного процесу відбувається самопливом. По довжині гідравлічного конвеєра (рис. 1.1) Послідовно встановлені соломоботвопастки 2, каменепастки 4 і водороздільники 5. Це технологічне обладнання призначене для відділення легких (солома, бадилля) і важких (пісок, каміння) домішок, а також для відділення транспортерно-мийної води. Для інтенсифікації процесу уловлювання соломи і бадилля в поглиблення 3 подається повітря. Цукрові буряки після водовідокремлювачів надходить в мийну машину 6.

Мийна машина призначена для остаточного очищення буряків (кількість прилиплої землі становить при ручному прибиранні 3 ... 5% буряка, а при механізованому прибиранні комбайнами - 8 ... 10%).

Кількість води, яка подається на мийку буряка, залежить від ступеня її забрудненості, конструкції машини і в середньому становить 60 ... 100% до маси буряка. У стічні води гідравлічного конвеєра і мийної машини потрапляють відламалися хвостики буряка, невеликі шматочки і дрібні коренеплоди (всього 1 ... 3% до маси буряка), тому транспортерно-мийні води попередньо направляються в сепаратор для відділення від них хвостиків і шматочків буряка, які після обробки надходять на стрічковий конвеєр 14

Відмита цукрові буряки зрошується чистою водою зі спеціальних пристроїв 7, піднімається елеватором 8 і надходить на конвеєр 9, де електромагніт 10 відокремлює металеві предмети, які випадково потрапили в буряк. Потім буряк зважують на терезах 11 і з бункера 12 направляють в подрібнюючі машини-бурякорізки 13. Стружка повинна бути рівною, пружною і без мезги, пластинчастого або ромбовидного перетину, товщиною 0,5 ... 1,0 мм.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		10



Бурякова стружка з подрібнюючих машин за допомогою стрічкового конвеєра 14, на якому встановлені конвеєрні ваги, подається в дифузійну установку 15.

Цукор, розчинений в буряковому соку коренеплоду, витягується з клітин проти точної дифузії, при якій стружка надходить в головну частину агрегату і рухається до хвостової частини, віддаючи цукор шляхом дифузії в рухому назустріч екстрагенту висолаживающую воду. З кінця хвостової частини агрегату виводиться стружка з малою концентрацією цукру, а екстрагент, збагачений цукром, виводиться як дифузійний сік. З 100 кг буряка отримують приблизно 120 кг дифузійного соку. Жом відводиться з дифузійних установок конвеєром 16 в цех для пресування, сушіння та брикетування.

Дифузійний сік пропускається через фільтр 17, підігрівається в пристрої 28 і направляється в апарати попередньої та основної дефекації 27, де він очищається в результаті коагуляції білків і барвників і осадження ряду аніонів, що дають нерозчинні солі з іоном кальцію, що містяться в вапняному молоці (розчин вапна). Вапняне молоко вводиться в сік за допомогою дозуючих пристроїв.

Дефекований сік подається в котел першої сатурації 26, де він додатково очищається шляхом адсорбції розчинних нецукром і особливо фарбувальних речовин на поверхні частинок дрібного осаду  $\text{CaCO}_3$ , який утворюється при пропусненні діоксиду вуглецю через дефекований сік. Сік першої сатурації подається через підігрівач 25 в гравітаційний відстійник 24. У відстійниках сік ділиться на дві фракції: висвітлену (80% всього соку) і згущене суспензію, що надходить на вакуум-фільтри 23

Фільтрований сік першої сатурації направляється в апарати другої сатурації 22, де з нього видаляється вапно у вигляді  $\text{CaCO}_3$ .

Сік другої сатурації подається на фільтри 21. Соки цукрового виробництва припадає фільтрувати кілька разів. Залежно від мети

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата		11

фільтрування використовуються різні схеми процесу і фільтрувальне обладнання.

Відфільтрований сік з фільтра 21 подається в котел сульфітацію 20. Мета сульфітації - зменшення кольоровості соку шляхом обробки його діоксидом сірки, який отримують при спалюванні сірки.

Сульфітовані сік направляють на станцію фільтрів 19, а потім транспортують через підігрівачі в перший корпус випарної станції 18. Випарні установки призначені для послідовного згущення очищеного соку другої сатурації до концентрації густого сиропу; при цьому вміст сухих речовин в продукті збільшується з 14 ... 16% в першому корпусі до 65 .. 70% (згущений сироп) в останньому. Свіжий пар надходить тільки в перший корпус, а наступні корпусу обігриваються соковим паром попереднього корпусу. Площа поверхні нагрівання випарної станції цукрового заводу продуктивністю 5000 т буряка на добу становить 10 000 м<sup>2</sup>.

Отриманий сироп направляється в сульфітатор 29, а потім на станцію фільтрації 30. Фільтрований сироп підігривається в підігривач 31, звідки надходить в вакуум-апарати першого продукту 32. Сироп в вакуум-апаратах уварюється до пересичення, цукор виділяється у вигляді кристалів. Продукт, отриманий після уварювання, називається Утфель. Він містить близько 7,5% води і близько 55% викристалізувався цукру.

Сироп уварюють в періодично діючих вакуум-апаратах. Утфель першої кристалізації з вакуум - апаратів надходить в приймальну Утфелемішалки 33, звідки його направляють в розподільну мішалку, а потім в центрифуги 34, де під дією відцентрової сили кристали цукру відділяються від міжкристалльної рідини. Ця рідина називається першим відтік. Чистота першого відтік 78%, що значно нижче чистоти утфелю.

Щоб отримати з центрифуги білий цукор, його кристали промивають невеликою кількістю гарячої води - пробілюють. При пробілюванні частина цукру розчиняється, тому з центрифуги відходить відтік більш високої чистоти - другий відтік.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		



підйому буряководяної суміші на висоту дроблення суміші повинно складати 5-6% до маси буряків.

2. На другому етапі коли буряка 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, бо насос працює з в'язкою рідиною, як може налипати на робочі поверхні, з ціллю здешевлення і пришвидшення обслуговування насоса. Робоче колесо відкритого типу. Такий тип виробу має один диск, який на поверхні обладнаний лопатями. 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, зменшує вартість експлуатації.

3. На третьому етапі після сульфитації - процес обробки соку або сиропу сірчистим газом або сірчистої кислотою. Коли отримали сульфітований сік і до отримання готової продукції. Насос повинен перекачувати хімічно агресивних речовин з процесом часткової кристалізації, щоб у подальшому не призвело до поломки насоса.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Лист	№ док.им.	Підпис	Дата		

## 2 ОПИСАНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМИ

Виходячи з того, що наш насос повинен перекачувати рідини з твердими включеннями, рідини з газовою фазою, з характеристикою не забруднення проточної частини, з характеристикою перекачування в'язкої робочому середовищі. Відповідно найбільш підходящий насос виходячи з конструкції, ми зупинилися на консольній схемі типу ISO. Тип робочого колеса відцентрове колесо відкритого типу. Конструкції є можливість регулювання зазору між корпусом та робочим колесом по мірі зносу.

Конструкцію ми розробляємо уніфіковану за допомогою стандартних наборів елементів, щоб можна було реалізувати насос різного типу. Насос з відкритим, напіввідкритим и закритим робочому колесом. Можливість установки шнека, використання різних типів ущільнення, різних типів привідних муфт.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.1 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ НАСОС АНС 100-60 (див. рис. 2.1)

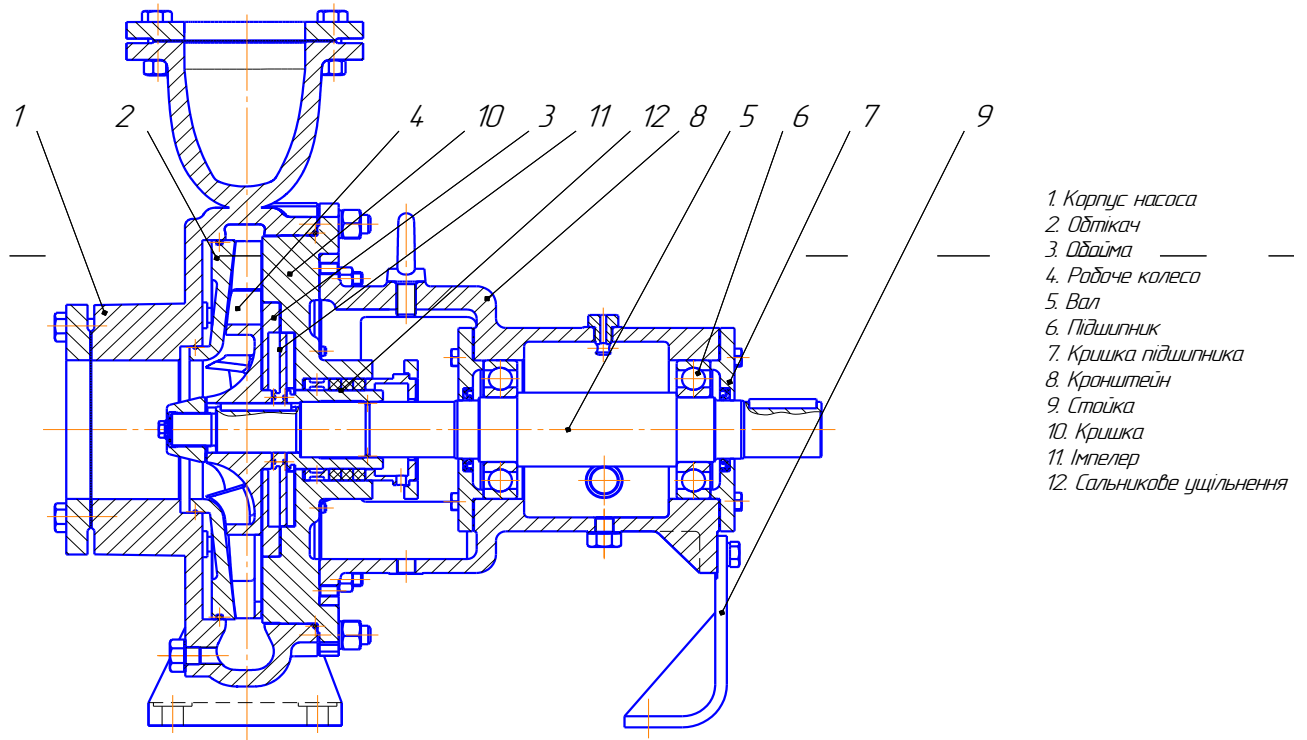


Рисунок 2.1 - Схема насоса АНС 100-60

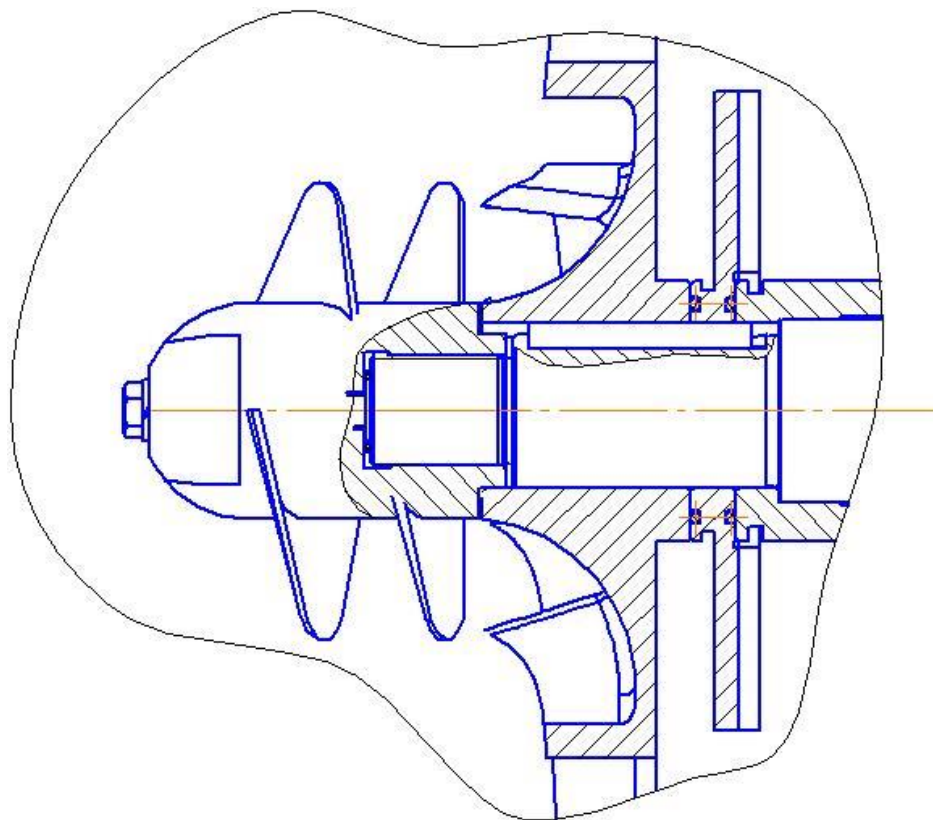


Рисунок 2.2 - шпек

Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата

6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ

Лист

16

Рідина через вхідний патрубок потрапляє до проточної частини. При роботі насоса виникають радіальне та осьове зусилля. Осьове зусилля направлено в бік вхідного патрубку і частково розгружується підшипниками 6 та імплером 11, а радіальна підшипниками 6.

Базова деталь насоса – литий чавунний корпус, опорні лапи відлиті суцільно з корпусом.

Проточна частина насоса складається з осьового підводу, робочого колеса відкритого типу, зі спіральним відводом.

Втулки захищають вал від зносу і закріплюються на ньому за допомогою різьби. Робоче колесо – відкритого типу для полегшення проходження в'язких рідин. Невеликі осьові зусилля, що виникають в процесі експлуатації при нерівномірному спрацюванні кінцеві ущільнювачів або з інших причин, сприймаються підшипниками кочення.

Сальники складаються з корпусу, кришки, сальникової набивки, кільця гідравлічного ущільнення і ґрундбукси. Торцева поверхня ґрундбукси служить опорою для сальникової набивки. Підтяжка сальника проводиться за допомогою ґрундбукси, піджати ґрундбуксу до моменту незначного витоку рідини.

Гідравлічне ущільнення здійснюється напірною водою що підводиться по трубах і з отворів в кришці корпусу. У верхній частині корпусу зроблений отвір для випуску повітря під час заливання насоса.

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

Як опори для вала радіально-опорні шарикові підшипники розташовані на кронштейнах, якій кріпиться до корпусу. Мастило кулькових підшипників густе. Охолодження підшипників водяне - через камери. Обертання вала - проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку приводу; при цьому вхідний патрубок насоса повинен бути розташований з лівого боку.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						17
Зм.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата		

Корпус підшипника у зоні фонаря має вікна для обслуговування вузла ущільнення вала насоса.

Насос горизонтальний, консольний з осьовим підводом рідини виготовленої за допомогою лиття підвода заодно к корпусом насоса. Базовою деталлю насоса є корпус (див. рис. 2.3) - спіральний з опорними лапами, виготовлений за допомогою лиття в прес форму та оброблений на верстатах для відповідності кресленню в який встановлюються кронштейн (див. рис. 2.4) з набраними всіма деталями.

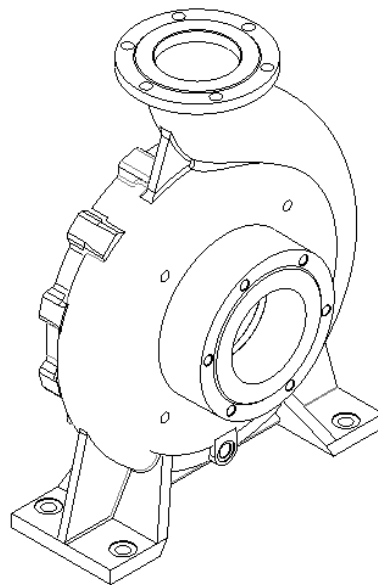


Рисунок 2.3 - Корпус насоса АНС

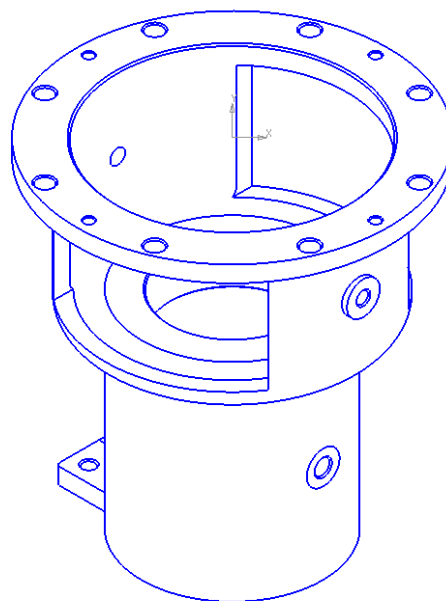


Рисунок 2.4 – Кронштейн насосу АНС

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						18
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		



Зовнішня поверхня оброблена за допомогою шліф машинок для придання більш естетичного вигляду та зняття залишок пісчаної суміші, та загладжування місць приєднання литників, які залишилися після лиття. 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 ущільнення зроблений отвір для встановлення спеціального штуцера. В якості опори ротора застосовуються підшипники кочення.

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

Особливостями конструкції є можливість регулювання зазору між корпусом та робочим колесом по мірі зносу, робоче колесо (див. рис. 2.5) відкритого типу для полегшення проходу в'язких рідин, можливість промивки парою.

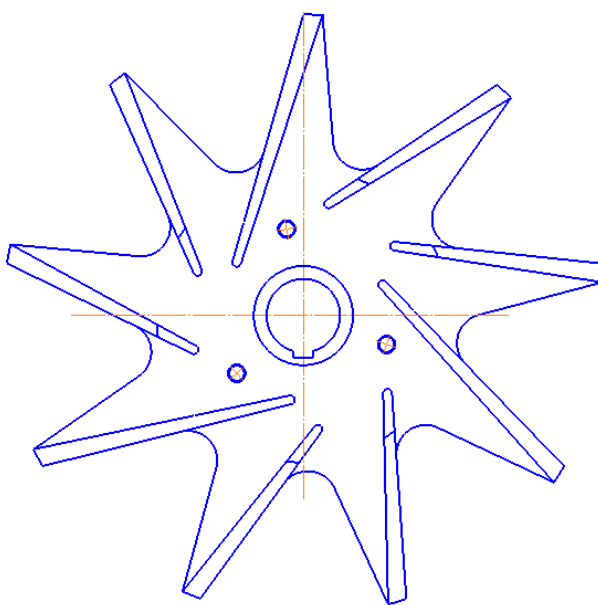


Рисунок 2.5 – Робоче колесо відкритого типу



Рисунок 2.6 – Робоче колесо закритого типу

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ НАСОСА

#### 3.1 ПРОЕКТУВАННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО РОБОЧОГО КОЛЕСА

##### 3.1.1. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Меридіанний переріз відцентрового робочого колеса наведений на рис. 3.1

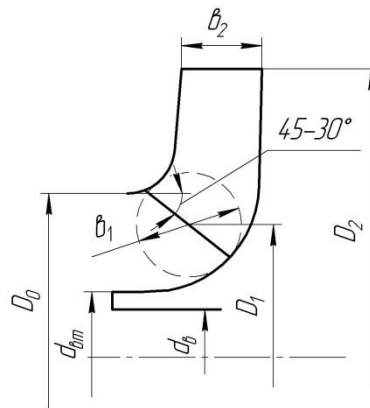


Рисунок 3.1 – Меридіанний переріз робочого колеса відцентрового насоса

##### 3.1.2 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

При проектуванні робочого колеса задаються його основні параметри:

- тип робочого колеса: однопотокове ( $\alpha = 1$ );
- густина перекачуваної рідини  $\rho = 998$  кг/м<sup>3</sup>;
- подача  $Q' = \frac{Q}{\alpha} = \frac{0,0277}{1} = 0,0277$  м<sup>3</sup>/с;
- напір  $H = 60$  м;
- частота обертання  $n = 1500$  об/хв.

Коефіцієнт швидкохідності

$$n_s = \frac{3,65n\sqrt{Q'}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (3.1)$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 1500 \cdot \sqrt{0,0277}}{60^{\frac{3}{4}}} = 42,3$$

Приведений діаметр робочого колеса визначається за формулою Суханова, мм:

$$D_{1np} = K_{ex} \sqrt[3]{\frac{Q'}{n}} \quad (3.2)$$

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

$$D_{1np} = 4 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,0277}{1500}} = 0,106(\text{м})$$

Подача робочого колеса

$$Q_{p.k.} = \frac{Q'}{\eta_{об}} \quad (3.3)$$

$$Q_{p.k.} = \frac{0,0277}{0,95} = 0,029(\text{м}^3 / \text{с})$$

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

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + 0,68 n_s^{\frac{2}{3}}} \quad (3.4)$$

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot 42,3^{\frac{2}{3}}} = 0,95$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

Повний ККД насоса

$$\eta = \eta_{об} \eta_{Г} \eta'_M \eta_M \quad (3.5)$$

де  $\eta_{Г}$  - гідравлічний ККД;

$\eta'_M$  - внутрішній механічний ККД;

$\eta_M$  - зовнішній механічний ККД.

Гідравлічний ККД

$$\eta_{Г} = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2} \quad (3.6)$$

$$\eta_{Г} = 1 - \frac{0,42}{(\lg 0,106 - 0,172)^2} = 0,93$$

Внутрішній механічний ККД

$$\eta'_M = \frac{1}{1 + 820 n_s^{-2}} \quad (3.7)$$

$$\eta'_M = \frac{1}{1 + 820 \cdot 42,3^{-2}} = 0,69$$

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

$$\eta = 0,95 \cdot 0,93 \cdot 0,69 \cdot 0,98 = 0,6$$

Потужність, споживана насосом (Вт), визначається за формулою

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (3.8)$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

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

$$N = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 0.0277 \cdot 60}{0.6} = 27061(\text{Вт}) \approx 27(\text{кВт})$$

Теоретичний напір робочого колеса, м:

$$H_T = \frac{H}{\eta_T} \quad (3.9)$$

$$H_T = \frac{60}{0,93} = 64,6(\text{м})$$

### 3.1.3 ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРА ВАЛА ТА ВТУЛКИ РОБОЧОГО КОЛЕСА

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

$$d_\sigma = \sqrt[3]{\frac{M \cdot 16}{\pi \cdot [\tau_\kappa]}} \quad (3.10)$$

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

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

$[\tau_\kappa] = 16$  МПа- занижене максимальне напруження на кручення, МПа (при  $\alpha=1$ ).

$$M = \frac{N_{\max} \cdot 30}{\pi} \quad (3.11)$$

$$N_{\max} = 1,1 \cdot N \quad (3.12)$$

$$N_{\max} = 1,1 \cdot 24061 = 30(\text{кВт})$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Обираємо двигун з запасом N на 10-20%. Обираємо асинхронний двигун 4А200М4 з наступними параметрами N=37 кВт, n=1482 об/хв.

$$M = \frac{37 \cdot 10^3 \cdot 30}{3.14 \cdot 1482} = 189,5 (Н \cdot м)$$

$$d_g = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 189,5}{3.14 \cdot 15 \cdot 10^6}} = 0.04 (м)$$

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

Діаметр втулки, мм, орієнтовно вибирають з виразу

$$d_{gm} = (1,2 - 1,25) d_g \quad (3.13)$$

$$d_{gm} = (1,2 \div 1,25) \cdot 0.050 = 0.060 (м)$$

Приймаємо  $d_{gm} = 60$  мм

### 3.1.4 ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВХОДУ У РОБОЧЕ КОЛЕСО

Діаметр вхідної воронки робочого колеса, мм, визначають з виразу

$$D_0 = \sqrt{D_{1np}^2 + d_{gm}^2} \quad (3.14)$$

$$D_0 = \sqrt{0,106^2 + 0,060^2} = 0,122 (м)$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### Швидкість потоку на вході у робоче колесо

$$V_0 = \frac{4Q_{p.k}}{\pi \cdot D_{1np}^2} \quad (3.15)$$

$$V_0 = \frac{4 \cdot 0,029}{3,14 \cdot 0,106^2} = 3,3(\text{м/с})$$

Задаємося положенням вхідної кромки, яка, як правило, розміщується у зоні повороту потоку з осьового напрямку у радіальний під кутом  $45-30^\circ$  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

$$D_1 = 0,8D_0 \quad (3.16)$$

$$D_1 = 0,8 \cdot 0,122 = 0,097(\text{м})$$

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

$$V_{1m} = \Psi_1 \cdot V_0 \quad (3.17)$$

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

$$V_{1m} = 1,04 \cdot 3,3 = 3,47(\text{м/с})$$

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

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		26



$$\beta_{1П} = \arctg \frac{V_{1m}}{U_1 - V_{1U}} \quad (3.18)$$

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:

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} \quad (3.19)$$

$$U_1 = \frac{3,14 \cdot 0,097 \cdot 1500}{60} = 7,64 \text{ (м/с)}$$

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

$$\beta_{1П} = \arctg \frac{3,47}{7,64} \approx 24,4^\circ$$

Кут нахилу лопаті на вході у робоче колесо, град:

$$\beta_1 = \beta_{1П} + \Delta\beta \quad (3.20)$$

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

$$\beta_1 = 24,4^\circ + 5^\circ = 29,4^\circ$$

### 3.1.5 ВИЗНАЧЕННЯ ЧИСЛА ЛОПАТЕЙ ТА ЇХ ТОВЩИНИ

Більшість відцентрових насосів різних розмірів та коефіцієнтів швидкохідності з високими техніко-економічними показниками має число лопатей  $z = 5 - 8$ .

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						27
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

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  $s_1$  мм при  $s_2$  мм.

Товщина лопаті на виході з робочого колеса  $s_2$  часто береться такою, що дорівнює  $s_1$ , а до середини лопаті плавно зростає.

Приймаємо кількість лопатей  $z = 7$ , товщина лопаті на вході у робоче колесо  $s_1 = 2 \text{ мм}$ .

### 3.1.6 УТОЧНЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА СТИСНЕННЯ ПОТОКУ

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

$$\Psi'_1 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot s_1}{2\pi \cdot D_1 \sin \beta_1}} \quad (3.21)$$

$$\Psi'_1 = \frac{1}{1 - \frac{7 \cdot 0,002}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,097 \cdot \sin 29,4^\circ}} = 1,049$$

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

$$|1,049 - 1,04| = 0,009 < 0,01$$

Умова виконується.

Ширину робочого колеса на вході знаходять з виразу:

$$b_1 = \frac{Q_{p.k}}{\pi D_1 V_{1m}} \quad (3.22)$$

$$b_1 = \frac{0,0277}{3,14 \cdot 0,097 \cdot 3,47} = 0,028(\text{м})$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

### 3.1.7 УТОЧНЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ДІАМЕТРА РОБОЧОГО КОЛЕСА З УРАХУВАННЯМ КІНЦЕВОГО ЧИСЛА ЛОПАТЕЙ

Уточнений зовнішній діаметр робочого колеса знаходиться з виразу

$$D_2 = \frac{60U_2}{\pi \cdot n} \quad (3.23)$$

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

$$U_2 = \frac{V_{2m}}{2tg\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{V_{2m}}{2tg\beta_2}\right)^2 + gH_{T\infty} + V_{1U}U_1} \quad (3.24)$$

де  $V_{2m}$  - меридіанна швидкість на виході з  
урахуванням стиснення;  
 $H_{T\infty}$  - теоретичний напір при нескінченному числі  
лопатей.

$$H_{T\infty} = \frac{H}{\eta_r K_z} \quad (3.25)$$

Поправку  $K_z$  на кінцеве число лопатей визначаємо за формулою  
Пфлейдерера:

$$K_z = \frac{1}{1+p} \quad (3.26)$$

де

$$p = 2 \frac{\Psi}{z} \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2'}\right)^2} \quad (3.27)$$

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

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

$$\Psi = (0,55 - 0,65) + 0,6 \sin \beta_2 \quad (3.28)$$

$$\Psi = 0,6 + 0,6 \sin 29,4^\circ = 0,89$$

$$p = 2 \cdot \frac{0,89}{7} \frac{1}{1 - \left(\frac{0,097}{0,437}\right)^2} = 0,27$$

Поправка на кінцеве число лопатей за формулою (3.26)

$$K_z = \frac{1}{1 + 0,27} = 0,787$$

Теоретичний напір при нескінченному числі лопатей за формулою (3.25)

$$H_{T\infty} = \frac{60}{0,93 \cdot 0,787} = 82,1(\text{м})$$

За формулою (3.24) визначаємо колову швидкість на виході із р.к.:

$$U_2 = \frac{1,77}{2 \operatorname{tg} 29,4^\circ} + \sqrt{\left(\frac{1,77}{2 \operatorname{tg} 29,4^\circ}\right)^2 + 9,81 \cdot 82,1 + 0} = 29,9(\text{м/с})$$

Уточнений зовнішній діаметр р.к. за формулою (3.23):

$$D_2 = \frac{60 \cdot 29,9}{3,14 \cdot 1500} = 0,382(\text{м})$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.1.8 УТОЧНЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА СТИСНЕННЯ ПОТОКУ НА ВИХОДІ З РОБОЧОГО КОЛЕСА

Визначивши,  $s_2 = s_1 = 2\text{мм}$  та  $D_2 = 0,382\text{м}$  уточнюємо коефіцієнт стиснення потоку на виході з робочого колеса:

$$\Psi'_2 = \frac{1}{1 - \frac{z \cdot s_2}{\pi D_2 \sin \beta_2}} \quad (3.29)$$

$$\Psi'_2 = \frac{1}{1 - \frac{7 \cdot 0,002}{3,14 \cdot 0,382 \cdot \sin 29,4^\circ}} = 1,024$$

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

$|1,025 - 1,024| = 0,001 < 0,01$  - умова виконується.

Ширину робочого колеса на виході знаходять з виразу

$$b_2 = \frac{Q_{p.k}}{\pi D_2 V_{2m}} \quad (3.30)$$

$$b_2 = \frac{0,029}{3,14 \cdot 0,382 \cdot 1,77} = 0,014(\text{м})$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3.2 ПРОЕКТУВАННЯ МЕРИДІАННОГО ПЕРЕРІЗУ РОБОЧОГО КОЛЕСА

### 3.2.1 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.

### 3.2.2 МЕТОДИКА ПОБУДОВИ МЕРИДІАННОГО ПЕРЕРІЗУ

Контури меридіанного перерізу знаходимо методом послідовних наближень.

Намічаємо попередньо «на око» контури перерізу.

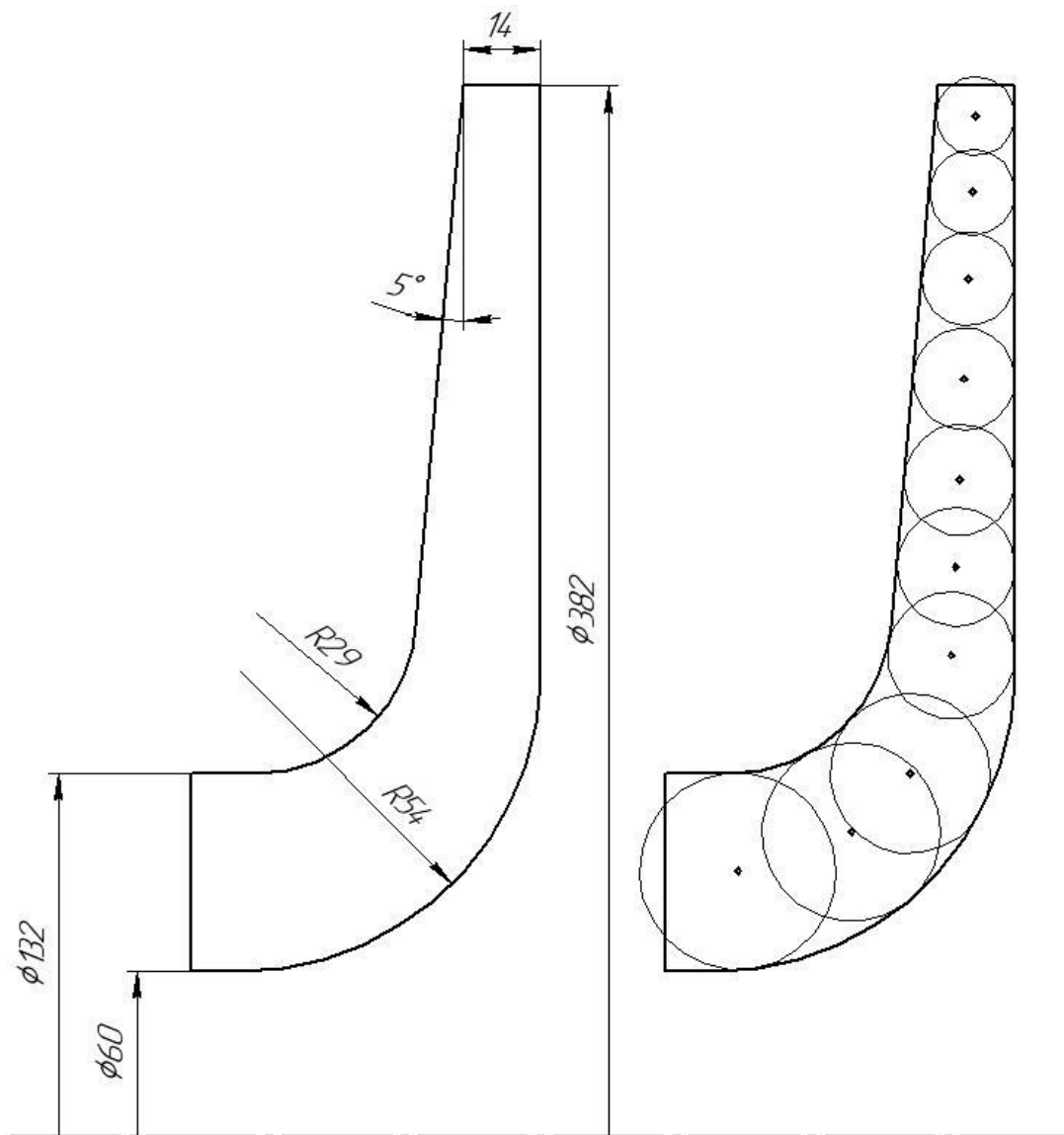
Для того щоб з'ясувати характер зміни площі нормального перерізу проточної частини колеса для наміченого меридіанного перерізу, необхідно побудувати графік  $F = f(l)$  (рис. 3.2), де  $l$  - відстань

										Лист
										32
Зм.	Лист	№ док.	Підпис	Дата	6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ					

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  $l_i$  від центра дуги радіусом  $R_i$  (див. рис. 3.2а). 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.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



a)

б)

Рисунок 3.2 – Меридіанний переріз робочого колеса

Обчислюємо площі нормальних перерізів:

- початкового (на вході у робоче колесо):

$$F_{ax} = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - d_{em}^2) \quad (3.31)$$

$$F_{ax} = \frac{3,14}{4} (122^2 - 60^2) = 10857 \text{ мм}^2$$

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ

Лист

34



- кінцевого (на виході з колеса):

$$F_{вих} = \pi D_2 b_2 \quad (3.32)$$

$$F_{вих} = 3,14 \cdot 382 \cdot 14 = 16801$$

- проміжних:

$$F_i = 2\pi r_i b_i \quad (3.33)$$

де  $r_i$  - відстань від осі колеса до центра вписаного кола;

$b_i$  - діаметр вписаного кола.

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

Результати обчислень зводяться до таблиці 1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок прощ нормальних перерізів

№	r, мм	b, мм	l, мм	F, мм <sup>2</sup>
1	48,11	35,79	0	10818,75
2	55,27	32,59	30,07	11317,58
3	65,89	29,15	10,43	12068,07
4	87,42	23,22	13,86	12754,19
5	103,51	21,6	15,12	14048,05
6	119,33	20,22	19,67	15160,4
7	137,68	18,62	18,67	16107,58
8	155,82	17,04	17,72	16682,94
9	171,63	15,66	16,81	16887,48
10	185,49	14,45	15,96	16841,01

За даними таблиці 3.1 будемо графік  $F = f(l)$ .

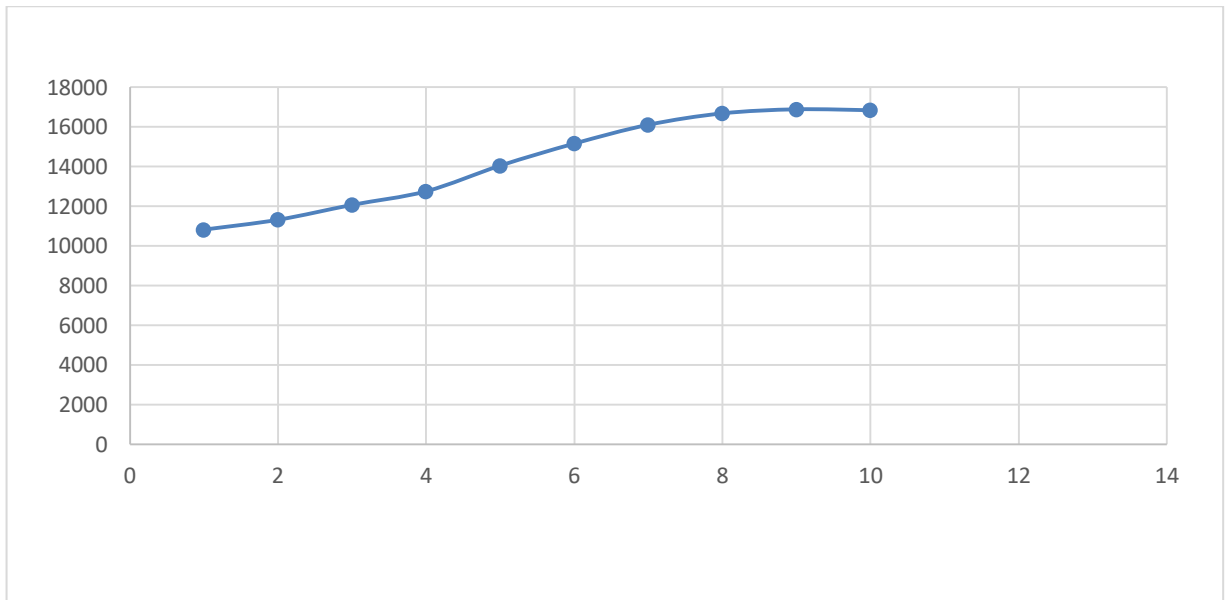


Рисунок 3.3 – Графік зміни площ меридіанного перерізу робочого колеса

### 3.3 ПІДГОТОВКА МЕРИДІАННОГО ПЕРЕРІЗУ РОБОЧОГО КОЛЕСА ДЛЯ ПРОФІЛЮВАННЯ ЛОПАТИ

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.

#### 3.3.1 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. 3.4)



$$q = \frac{Q_{p.k}}{k} = 2\pi V_m (r_{ц.м} l)_1 = 2\pi V_m (r_{ц.м} l)_2 = 2\pi V_m (r_{ц.м} l)_k \quad (3.34)$$

де  $Q_{p.k}$  - постійна витрата через робоче колесо;

$l$  - довжина відрізка нормалі між сусідніми лініями течії;

$r_{ц.м}$  - відстань від центра тяжіння відрізка  $l$  до осі колеса.

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

$$r_{ц.м} l = const \quad (3.35)$$

Відхилення між добутками на одній нормалі не перевищує 5%.

Отримані результати зводимо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Лінії течії

№ точки	$l, мм$	$r, мм$	$l \times r, мм^2$	$l, мм$	$r, мм$	$l \times r, мм^2$
2	14,98	58,53	876,7794	20,81	40,66	846,1346
3	14,5	63,43	919,735	17,99	49,59	892,1241
4	13,53	70,62	955,4886	15,58	60,74	946,3292
5	11,76	88,5	1040,76	11,4	87,42	996,588
6	10,8	104,05	1123,74	10,79	103,5	1116,765
7	10,1	119,64	1208,364	10,12	119,33	1207,62
8	9,32	138,01	1286,253	9,29	138,01	1282,113
9	8,46	156,11	1320,691	8,57	155,81	1335,292
10	7,82	171,91	1344,336	7,84	171,63	1345,579
11	7,2	185,83	1337,976	7,26	185,49	1346,657

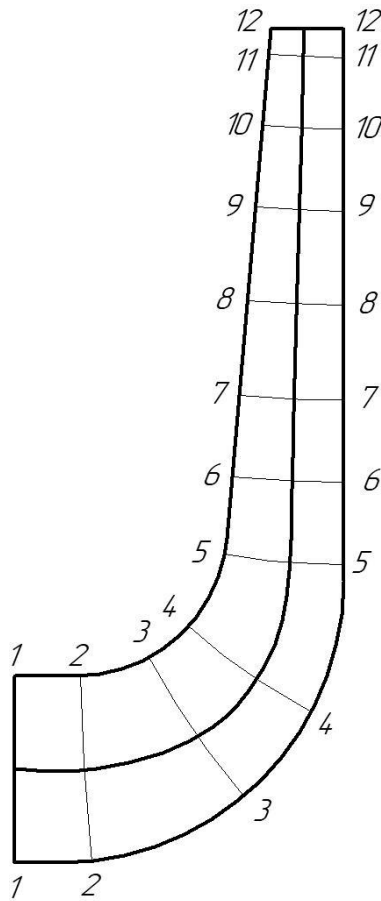


Рисунок 3.5 – Побудова ліній течії

### 3.4 ПРОФІЛЮВАННЯ ЛОПАТІ

#### 3.4.1 ПОБУДУВА КООРДИНАТНОЇ СІТКИ НА РОЗГОРТЦІ ЦИЛІНДРА

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

Приймаємо  $R_{к.ц} = 150\text{мм.}$ ;  $\Theta = 140^\circ$ ,  $\Delta\varphi = 10^\circ$ .

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

$$\Delta L = \frac{R_{к.ц}}{C} \quad (3.36)$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$$\Delta S = \frac{\pi R_{\text{к.ц.}} \Delta \varphi^{\circ}}{180^{\circ}} \quad (3.37)$$

$$\Delta S = \frac{3,14 \cdot 150 \cdot 10^{\circ}}{180^{\circ}} = 26,18(\text{мм})$$

### 3.4.2 ПОБУДОВА КОНФОРМНОГО ВІДОБРАЖЕННЯ КООРДИНАТНОЇ СІТКИ НА ПОВЕРХНІ ТЕЧІЇ

Ця побудова полягає у розбивці усіх розрахункових ліній течії  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (рис. 3.6) на відрізки  $\Delta l$  за умовами конформності

$$\frac{r_{\text{icc}}}{\Delta l_i} = \frac{R_{\text{к.ц.}}}{\Delta L} = \text{const} \quad (3.38)$$

де  $r_{\text{icc}}$  - відстань від осі робочого колеса до середини відрізка  $\Delta l$ .

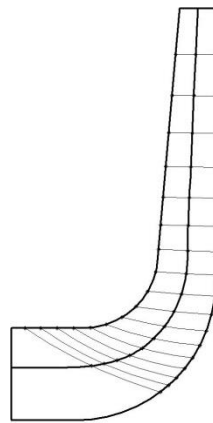


Рисунок 3.6 – Розбивка ліній течії

Обчислення з розбивки лінії течії на відрізки  $\Delta l$  зручно виконувати у табличній формі (табл. 3.3,3.4,3.5).

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		40

Таблиця 3.3 – Лінія току

№	Точки покривного диску			Точки лінії течії			Точки основного диску		
	ri	li	ri/li	ri	li	ri/li	ri	li	ri/li
1	182	18,07	10,07	182	18,02	10,10	182	18	10,11
2	165	16,05	10,28	164	16,01	10,24	164,9	16,2	10,18
3	149,7	14,66	10,21	149,4	14,82	10,08	149,5	14,6	10,24
4	135,8	13,25	10,25	135,6	13,2	10,27	135,5	13,4	10,11
5	123,2	12,05	10,22	123	12,02	10,23	122,8	12	10,23
6	111,8	10,84	10,31	111,6	10,81	10,32	111,3	11	10,12
7	101,5	9,84	10,32	101,2	10	10,12	100,8	10	10,08
8	92,4	8,87	10,42	91,7	9	10,19	91,1	9	10,12
9	84,2	8,21	10,26	83,2	8,16	10,20	82,7	8,2	10,09
10	77,4	7,6	10,18	75,8	7,38	10,27	74,9	7,46	10,04
11	72,3	6,84	10,57	69,5	6,82	10,19	67,95	6,74	10,08
12	68,8	6,75	10,19	64,2	6,38	10,06	61,95	6,096	10,16
13	66,7	6,26	10,65	59,9	5,92	10,12	56,75	5,62	10,10
14	66	6,49	10,17	56,6	5,54	10,22	52,25	5,14	10,17
15	66	6,43	10,26	54,25	5,3	10,24	48,38	4,778	10,13
16	66	6,5	10,15	52,65	5,16	10,20	45,1	4,3	10,49
17	66	6,5	10,15	51,6	5,11	10,10	42,3	4,12	10,27

### 3.4.3 ПРОФІЛЮВАННЯ ПОВЕРХНІ ЛОПАТІ НА РОЗГОРТЦІ ЦИЛІНДРА

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

					<i>6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ</i>	Лист
						41
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

$$\frac{\Delta Y}{y} = \frac{\Delta X}{x} \quad (3.39)$$

де  $x$  - відстань від поточної паралелі до шуканої точки вхідної кромки конформної діаграми;

$y$  - відповідна відстань на лінії течії.

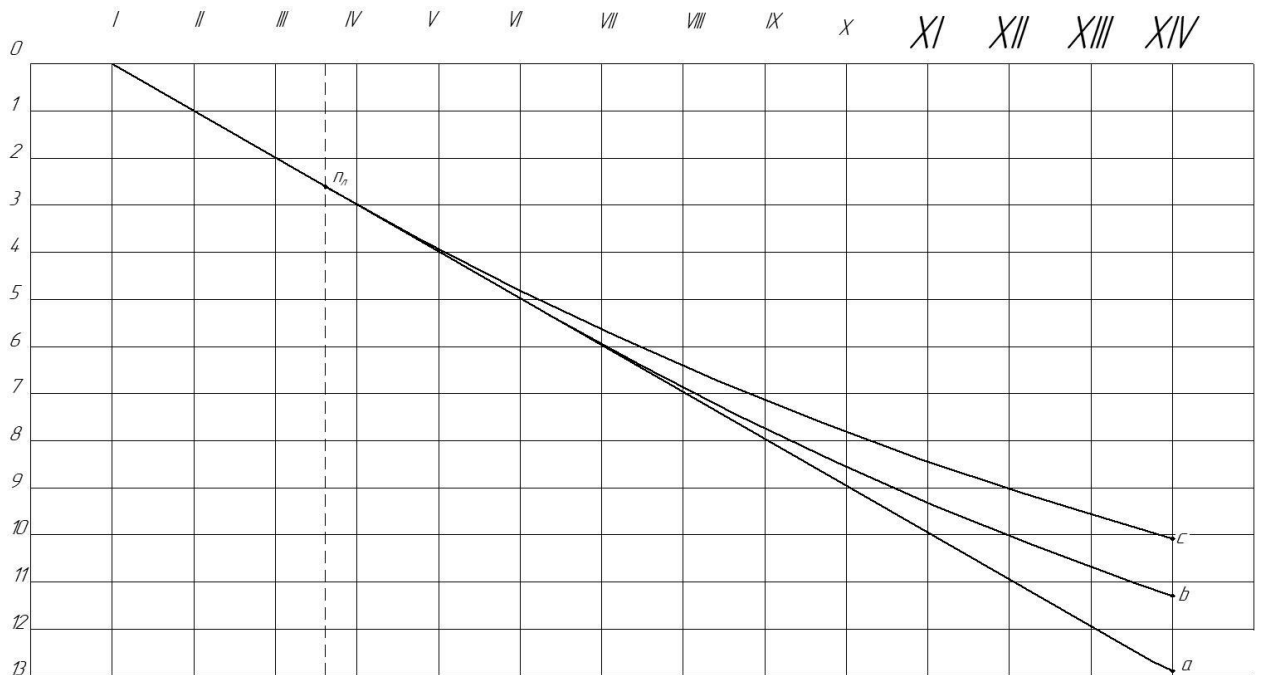


Рисунок 3.7 – Конформна діаграма

#### 3.4.4 ПОБУДОВА МЕРИДІАННИХ ПЕРЕРІЗІВ ПОВЕРХНІ ЛОПАТІ НА МЕРИДІАННІЙ ПРОЕКЦІЇ РОБОЧОГО КОЛЕСА

Меридіанними перерізами називаються лінії перерізу поверхні лопаті з площинами, що проходять через вісь робочого колеса. Меридіанні перерізи виконуються для контролю плавності профільованої поверхні лопаті та подальшого проектування робочого колеса.

Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на меридіанній проекції здійснюється на основі конформної діаграми.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		42



На лінії течії меридіанного перерізу переносяться відповідні точки з конформної діаграми для кожної лінії течії окремо за допомогою співвідношення

$$\frac{x_i}{\Delta L} = \frac{y_i}{\Delta l_i},$$

де  $x_i$  - відстань від шуканої точки до паралелі на координатній сітці;  
 $y_i$  - відповідні відстань на лінії течії меридіанного перерізу.

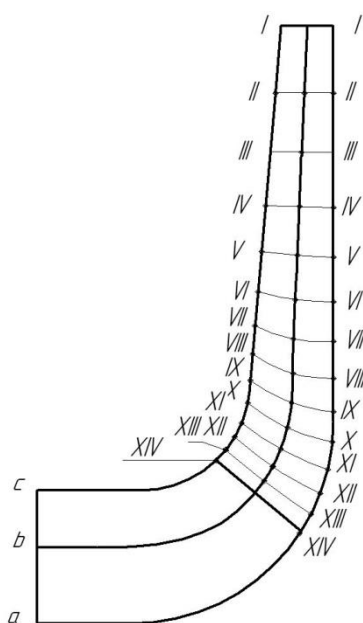


Рисунок 3.8 – Побудова меридіанних перерізів поверхні лопаті на основі конформної діаграми

### 3.4.5 ПОБУДОВА ЛОПАТИ У ПЛАНІ

Побудова лопаті у плані зображена на рис. 3.9

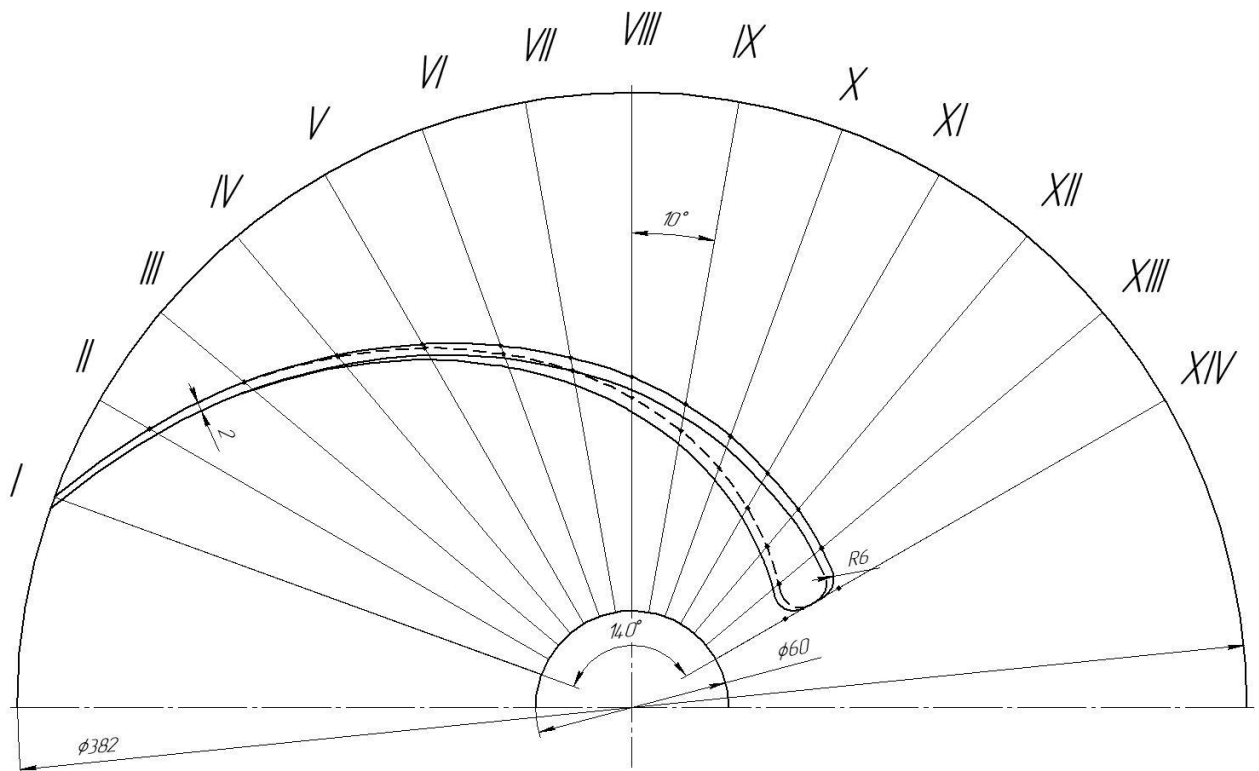


Рисунок 3.9 – Побудова лопаті у плані

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.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		44

### 3.5 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ СПІРАЛЬНОГО ВІДВОДУ С ТАНГЕНЦІАЛЬНИМ ВИХОДОМ

#### 3.5.1 ВИХІДНІ ДАННІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Вхідні данні для розрахунку наступні:

$$Q=0,0277 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$H=60 \text{ м};$$

$$N=1500 \text{ об/хв};$$

$$n_s=42,3;$$

$$D_2=382 \text{ мм};$$

$$b_2=14 \text{ мм}$$

$$\eta_r=0,93$$

Значення  $n_s$ ,  $K_2$ ,  $D_2$ ,  $b_2$ ,  $\eta_r$  визначається при розрахунку робочого колеса.

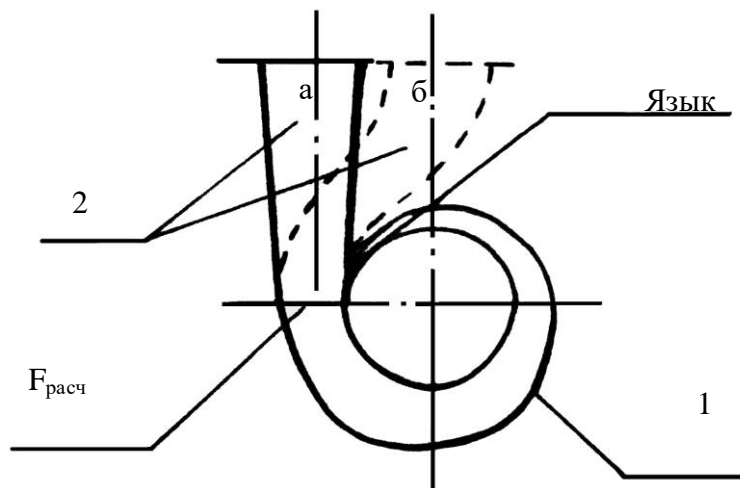


Рисунок 3.10 – Спіральний відвід

#### 3.5.2 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ СПІРАЛЬНО ВИДВОДА

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  $D_3$ :

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

$$D_3 = (1 + n_s \cdot 10^{-3}) \cdot D_2 . \quad (3.40)$$

$$D_3 = (1 + 42,3 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,382 = 0,398(\text{м})$$

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

$$b_3 = m \cdot b_2, \quad (3.41)$$

де  $m = 2$  .

$$b_3 = 2 \cdot 0,014 = 0,028 (\text{м})$$

### 1.3.1 Нахил бічних стінок

Нахил бічних стінок може здаватися ставленням  $a / h$  або кутом  $\gamma$  (рис. 3.11):

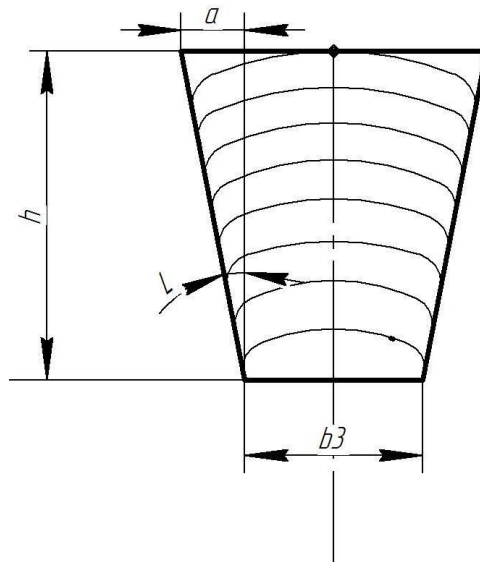


Рисунок 3.11 – Нахил бічних стінок спірального відводу

$$n_s = 50 - 60 \quad \gamma = 10 - 16^\circ \quad (a/h = 0,18 - 0,3);$$

$$\text{Приймаємо кут } \gamma = \arctg(0,2) = 11,3^\circ .$$

### 3.5.4 КУТ ОХОПЛЕННЯ СПІРАЛІ В ПЛАНІ

Кут охоплення спіралі  $\varphi_{сп}$  (рис. 3.12) залежить від коефіцієнта швидкості  $n_s$  і може бути вибраний з табл. 3.4

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		46

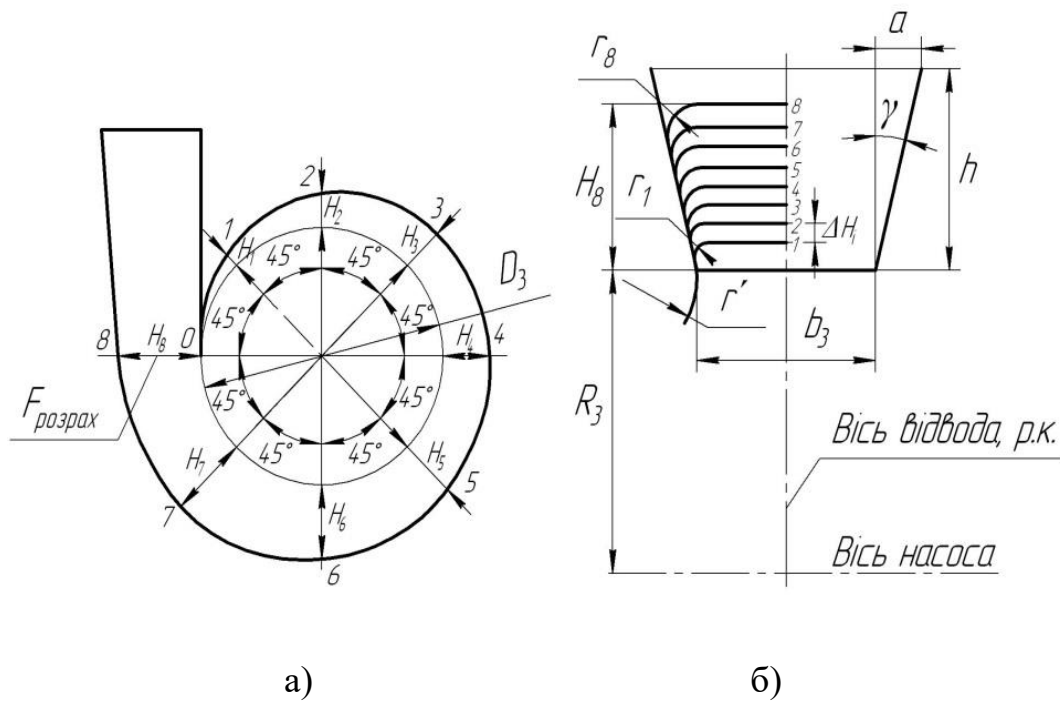


Рисунок 3.12 - План спірального відвода (а) і меридіанний переріз відвода (спіралі) (б)

Таблиця 3.4 – 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  $n_s=42,3$  приймаємо  $\varphi_{сп}=360^0$

### 3.5.5 ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ СПІРАЛІ $A_{сп.розр}$

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

$$A_{сп.расч} = \frac{\varphi_{сп}}{360} \cdot \frac{\pi \eta_e n Q}{30 H g}; \quad (3.42)$$

$$A_{сп.расч} = \frac{360}{360} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,93 \cdot 1500 \cdot 0,0277}{30 \cdot 60 \cdot 9,81} = 6,87 \times 10^{-3} (м)$$

### 3.5.6 ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ РОЗРАХУНКОВОГО ПЕРЕРІЗУ

Визначаємо площу розрахункового перетину  $F_{\text{розр}}$ .

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

Таблиця 3.5 – 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	0,199	0,028	0,140704	-	-	0
2	0,204	0,0299	0,146912	0,1438	0,00290	0,00290
3	0,209	0,0319	0,152775	0,1498	0,00303	0,00593
4	0,214	0,0339	0,158411	0,1555	0,00314	0,00896
5	0,219	0,0358	0,163790	0,1636	0,00330	0,01226
6	0,224	0,0378	0,168884	0,1663	0,00336	0,01562
7	0,229	0,0398	0,173799	0,1713	0,00346	0,01908
8	0,234	0,0417	0,178504	0,1761	0,00356	0,02264
9	0,239	0,0437	0,183013	0,1807	0,00365	0,02692
10	0,244	0,0457	0,187295	0,1851	0,00374	0,03003

В таблиці  $K_2$  визначаємо за формулою:

$$K_2 = \frac{30 \cdot g \cdot H}{\pi \eta_c n} \quad (3.43)$$

$$K_2 = \frac{30 \cdot 9.81 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,93 \cdot 1500} = 4,04 \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

Величина  $\Delta Q_i$ , визначається за формулою:

$$\Delta Q_i = K_2 \cdot \frac{B_i + B_{i+1}}{2} \cdot \Delta r \cdot \frac{360}{\varphi_{\text{сн}}} \quad (3.44)$$

Значення  $\Delta r = 5$  мм постійне і вибираються довільно в залежності від параметрів насоса. Значення  $b_i$  переносимо з меридіанного перетину спіралі при відповідних значеннях  $r_i$  (рис.3.13). Закінченням для

						Лист
					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахунку служить значення  $\sum \Delta Q_i$ , трохи більше  $Q$ . За табличними даними будуємо графік  $Q = f(r)$  - рис. 3.13 (поєднуємо його з меридіанними перетином).

По осі  $Q$  відкладаємо  $Q = Q_{\text{розр}}$  і отриманий на рис. 3.13 розмір  $H'_9$  обмежить площа трапеції, відповідну площі розрахункового перерізу. Гострі кути трапеції скругляються радіусом  $r_8$  з умови забезпечення рівності статичних моментів площ  $F_x$  і  $F_y$ :

$$F_x r_x = F_y r_y, \quad (3.45)$$

де  $r_x$  і  $r_y$  - радіуси розташування центрів тяжіння площ  $F_x$  і  $F_y$ .

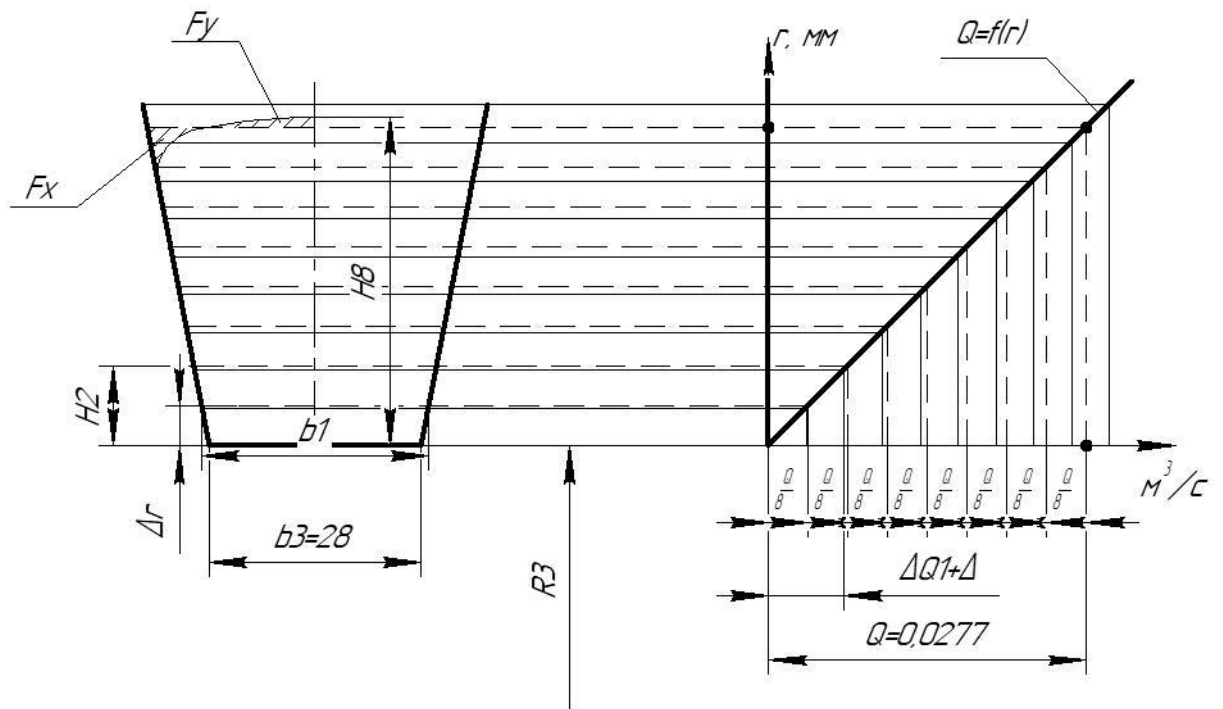


Рисунок 3.13 – Визначення розмірів розрахункового дев'ятого  $F_{\text{расч}}$  ( $F_8$ ) і проміжних ( $F_8-F_1$ ) перерізів

### 3.5.7 ПЕРЕВІРКА ПРАВИЛЬНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ $F_{розр}$

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

Для цього будуємо наведену площа  $F_{пр}$  (рис. 3.14)

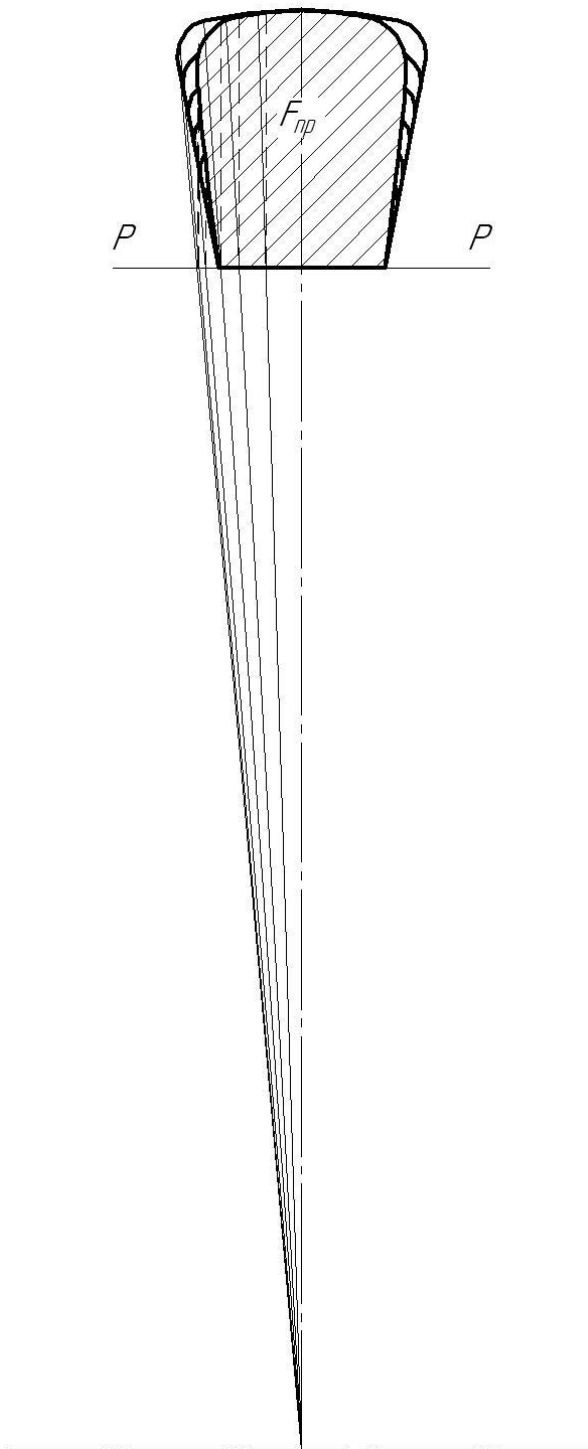


Рисунок 3.14 – Перевірка правильності визначення площі розрахункового перерізу  $F_{расч}$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		



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 «о» утворює контур приведенного перерізу (пунктирна лінія на рис.3.14). Критерієм правильності визначення  $F_{расч}$  є умова

$$A_{сп. расч} \approx A_{сп.граф}, \quad (3.46)$$

$$A_{сп. граф} = F_{пр}/\rho \quad (3.47)$$

$$A_{сп. граф} = 1363/199 = 6,85 \times 10^{-3} (\text{м})$$

### 3.5.8 ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ ПРОМІЖНИХ ПЕРЕТИНІВ (ВІД 0 ДО 9)

Визначаємо площі проміжних перетинів (від 0 до 9) графічним способом (рис. 3.13).

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  $H_i$ .

### 3.5.9 ПОБУДОВА ПЛАНУ СПРАЛІ

Від початкового кола діаметром  $D_3$  в перетинах (після їх розмітки) відкладаємо відповідні висоти  $H_1-H_9$  (рис. 3.13); отримані точки з'єднуємо дугами різних радіусів (три-чотири радіусу). Дуга кожного

										Лист
										51
Зм.	Лист	№ док.им.	Підпис	Дата	6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ					

радіуса повинна без перегинів сполучатися з дугою наступного. Побудова починається від язика.

### 3.5.10 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ДИФFUЗОРНОГО ДІЛЯНКИ 2

Диффузорний ділянку (рис. 3.10) починається від розрахункового перерізу 8 і закінчується колом напірного патрубку діаметром  $D_{\text{вих}}$ .

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

Діаметр напірного патрубку визначаємо з умови нерозривності потоку

$$D_{\text{вих}} = \sqrt{4Q/\pi V_{\text{вих}}} ; \quad (3.48)$$

$$D_{\text{вих}} = \sqrt{4 \cdot 0,0277 / 3,14 \cdot 3} = 0,108(\text{м})$$

Значення  $D_{\text{вих}}$  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, 1400мм і т.д.;

Приймаємо  $D_{\text{вих}}=125$  мм.

Довжина дифузора  $L$  і кут його конусності повинні визначаємо з умови мінімальних гідравлічних втрат:

$$\varepsilon_{\text{онм}} = 2\text{arctg}\left(\frac{D_{\text{вих}} - d_{\text{екв}}}{2L}\right), \quad (3.49)$$

де  $\varepsilon_{\text{онм}} = 8-10^\circ$ ,

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

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{розр}}}{\pi}} \quad (3.50)$$

					<i>6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		52

$$d_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1522}{3,14}} = 44(\text{мм})$$

Остаточний вибір L здійснюється з урахуванням конструктивних міркувань. величина L=345 мм.

Для виготовлення моделі корпусу необхідно задати, щонайменше, два проміжних перетину дифузора (рис. 3.15).

Поєднуємо окружність  $D_{\text{вих}}$  і нижня частина дифузора таким чином, щоб центр кола співпадав з серединою висот нижньої основи (рис. 3.15);

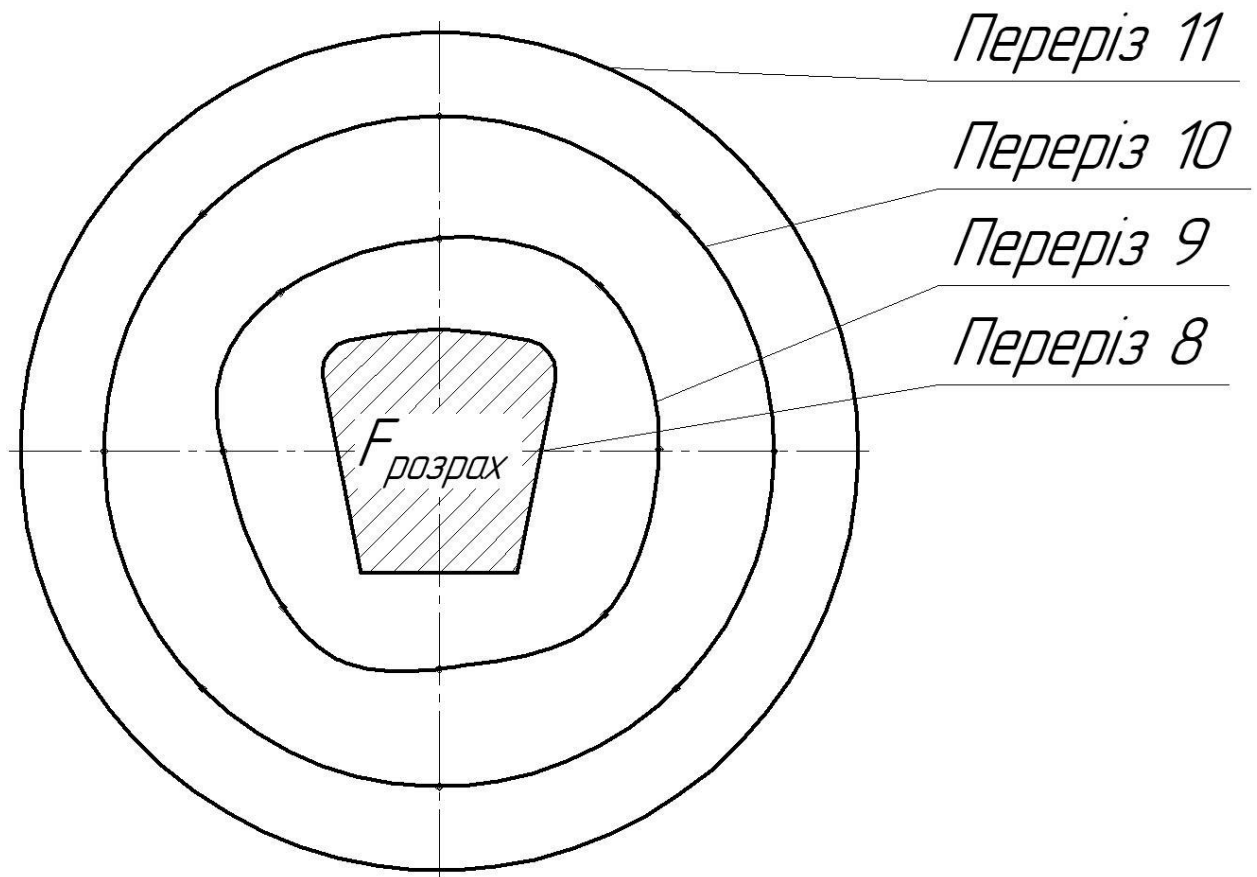


Рисунок 3.15 - До побудови проміжних перетинів дифузора

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. 3.15). Отримані точки з'єднуємо плавними кривими, які будуть шуканими перетинами 9-9 і 10-10.

### 3.6 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СПІРАЛЬНОГО ВІДВОДУ З РАДІАЛЬНИМ ВИХОДОМ

Спіральні відводи з радіальним виходом (рис. 3.16) 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  $n_s$  куту охоплення спіралі  $\varphi_{сп}=360^\circ$ ;
- кут між площиною розрахункового перетину і віссю вихідного патрубку  
зазвичай вибирається  $\gamma = 25-45^\circ$  (рис. 3.16);
- розмір  $D_{вых}$  і  $H$  вибираються по ISO 2858-75.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						54
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

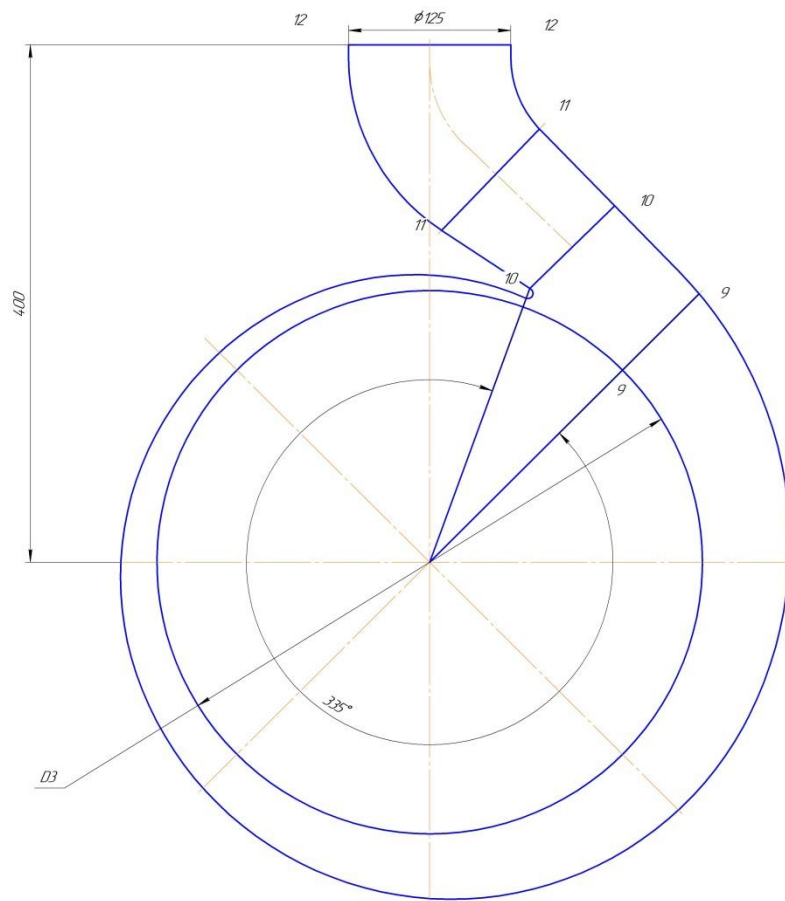


Рисунок 3.16 – Спіральний відвід з радіальним виходом

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

#### 4 РОЗРОБКА МАРШРУТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОЧОГО КОЛЕСУ ЗАКРИТОГО ТИПУ

У розділі технологічної частини був розроблений на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки маршрутний технологічний процес виготовлення робочого колеса для цукрового виробництва. Маршрутний технологічний процес у себе включає наступні стадії:

- заготівельну операцію. Заготовку отримують методом лиття за виплавними моделям;
- механічну обробку поверхонь, що виконується на токарському верстатах. Послідовність операцій докладно висвітлено в нижчеподаних маршрутних картах з операційними ескізами;
- контрольну операцію, що виробляється по картах ескізів, або технологічному кресленню 6.05050205.09БР000.01.

В загальному випадку розробка маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі гідромашини включає наступні етапи :

- аналіз конструкції деталі і технічних вимог на її виготовлення;
- визначення типу (серійності) виробництва;
- вибір методу отримання заготовки;
- вибір технологічних баз;
- вибір маршруту обробки окремих поверхонь деталі;
- складання маршруту обробки деталі;
- визначення припусків на механічну обробку і розмірів заготовки;
- побудова операцій механічної обробки.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						56
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

#### 4.1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ РОБОЧОГО КОЛЕСА І ТЕХНІЧНИХ УМОВ НА ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

Аналіз конструкції зводиться до докладного вивчення креслення деталі, технічних умов на виготовлення, умов роботи деталі в гідромашині. При цьому перевіряється достатність проєкцій, правильність проставляння розмірів, вивчаються вимоги по точності і шорсткості обробки поверхонь, інші вимоги технічних умов.

Основною задачею аналізу конструкції деталі являється виявлення можливостей підвищення її технологічності. Тому увагу необхідно звернути на зменшення розмірів оброблюваних поверхонь, що знижує трудомісткість механічної обробки; уніфікацію розмірів і форм пазів, канавок, галтелей, отворів і інших елементів, що скорочує номенклатуру ріжучих інструментів і зменшення часу обробки при послідовному виконанні технологічних переходів; забезпечення надійного і зручного базування; можливість суміщення технологічної і вимірювальної баз для підвищення точності обробки.

#### 4.2 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА

Тип виробництва даної деталі – дрібносерійний. Дрібносерійне виробництво наближається по своїм технологічним особливостям до одиничного виробництва. В ньому, як і в одиничному виробництві, застосовують переважно універсальне обладнання (з розташуванням його в цехах по типам станків), нормальний робочий і універсальний вимірювальний інструмент. Дрібносерійному виробництву притаманна велика номенклатура виробів що випускається і велика кількість виконуваних на різних робочих місцях операцій.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		57





- 2) Вибрана чорнова база повинна забезпечити найбільш точне розташування оброблюваних поверхонь відносно необроблюваних базових.
- 3) При виборі базуючих поверхонь необхідно прагнути суміщення конструкторської, технологічної і вимірювальної баз.
- 4) В якості опорної технологічної бази необхідно використовувати поверхні найбільших розмірів, що забезпечить кращу стійкість заготовки. Направляюча база повинна мати найбільшу довжину відносно направляючої площини пристосування.
- 5) Вибрані технологічні бази повинні забезпечити найменшу деформацію заготовки від зусиль затиснення і виникаючих при обробці зусиль різання.
- 6) Базові поверхні повинні забезпечити найкращі умови базування, закріплення і виміру деталі, а також простоту конструкції пристосування.

#### 4.5 ВИБІР МАРШРУТУ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ

Маршрут обробки вибирається виходячи з вимог робочого креслення колеса та прийнятої заготовки. За заданими квалітетами точності, класами чистоти поверхонь деталі, а також враховуючи її розміри, масу та конфігурацію вибирається необхідна кількість стадій обробки і тип відповідного обладнання. Кожна стадія виконується на своїх режимах обробки необхідним інструментом.

#### 4.6 ВИЗНАЧЕННЯ ПРИПУСКІВ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКУ І РОЗМІРІВ ЗАГОТОВКИ

Розрізняють, припуски загальні і проміжні (міжопераційні). Проміжний припуск – це шар матеріалу, який знімається з поверхні заготовки при виконанні даної операції або технологічного переходу. Загальний припуск –

					<i>6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						59
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

це шар матеріалу, який знімається з поверхні при виконанні всіх операцій і технологічних переходів. Загальний припуск є сумою проміжних припусків.

Вихідні дані по деталі:

- 1) Матеріал 20Х13 ГОСТ 5632-72: 0,2% вуглецю, 13% хрому.
- 2) Маса деталі – 23,3 кг.
- 3) Оброблюваними поверхнями заготовки робоче колесо є:
  - зовнішня циліндрична поверхня колеса  $d = 382$  мм;
  - зовнішня циліндрична поверхня  $d = 85$  мм;
  - товщина  $L = 95$  мм;
  - товщина  $L = 25$  мм;

Вихідні дані для розрахунку:

Маса заготовки (розрахункова) – 38 кг

Клас точності поковки – 13Т:

- 1) Група сталі – М3 сталь з масовою часткою вуглецю вище 0,65% або сумарною масовою часткою легируючих елементів вище 5,0%.
- 2) Ступінь складності – С1 при  $K_p > 0,63$ .
- 3) Вихідний індекс – 17 при масі від 10 до 20 кг, групі сталі - М3, ступеню складності - С1 та класу точності – Т5.

Визначимо припуски на оброблювані поверхні:

- 1) Основні припуски на розміри мм:
  - 3,5 - діаметр 382 мм та чистота поверхні Ra 6,3;
  - 1,5 - діаметр 85 мм та чистота поверхні Ra 6,3;
  - 3,5 - товщина 95 мм та чистота поверхні Ra 1,6;
  - 1,7 - товщина 24 мм та чистота поверхні Ra 3,2;
- 2) Додаткові припуски, що враховують:
  - відхилення від площинності – 0,8 мм;
  - зміщення по поверхні роз'єму пішаної форми - 0,5 мм.

					<i>6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						<i>60</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3) Ливарний уклін: на зовнішню поверхню – не більше 5°, приймаємо 5°;

Визначимо розміри піщаної форми та їх допустимі відхилення.

1) Розміри піщаної форми, мм:

- діаметр  $382 + (3,5 + 0,8 + 0,5) \cdot 2 = 391,6$  приймаємо 392,0 мм;

- діаметр  $85 + (1,5 + 0,8 + 0,5) \cdot 2 = 90,6$  приймаємо 91,0 мм;

- товщина  $95 + (3,5 + 0,8 + 0,5) \cdot 2 = 104,8$  приймаємо 105 мм;

- товщина  $24 + (1,7 + 0,8 + 0,5) \cdot 2 = 30$  мм;

2) Радіус закруглення зовнішніх кутів – 2,5 мм (мінімальний) приймаємо 3,0 мм .

3) Допустимі відхилення розмірів , мм:

- Діаметр  $392^{+3,5}_{-1,5}$

- товщина  $105^{+2,5}_{-1,5}$ ;

- діаметр  $91^{+2,5}_{-1,5}$ ;

- товщина  $30^{+2,5}_{-1,5}$ ;

4) Допустимі відхилення від площинності та прямолінійності - 1,2 мм

5) Допустимі величини залишкового облою – 1,4 .

6) Допустимі величини заусенця – не більше 5 мм .

У якості висновку даного підрозділу для більшої наглядності і практичності наведемо підсумовуючу таблицю (табл. 5.1) з винесеними у ній результатами проведеного розрахунку.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						61
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Підсумки проведених розрахунків.

Відповідні розміри деталі, мм	Загальний припуск на оброблювану поверхню (на сторону), мм	Відповідні розміри заготовки (прийняті), мм	Допустимі відхилення розмірів, мм		Розмір проставляемий на кресленні заготовки
			верхнє	нижнє	
діаметр 392	6	390,0	+3,5	-1,5	$\varnothing 392_{-1,5}^{+3,5}$
діаметр 91	3	91,0	+2,5	-1,0	$\varnothing 91_{-1,5}^{+2,5}$
товщина 105	5	105,0	+2,5	-1,0	$105_{-1,5}^{+2,5}$
товщина 30	3,1	30	+2,0	-0,9	$30_{-1,5}^{+2,5}$

#### 4.7 ПОБУДОВА ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Виходячи з поданого матеріалу - зазначимо, що для проектування окремої операції необхідно знати: маршрут обробки заготовки; схему її базування і закріплення; квалітет точності оброблюваних поверхонь; поверхні, оброблені на попередніх операціях, і точність їх обробки; припуски на обробку.

В процесі проектування для кожної операції встановлюють кількість установок, позицій, раціональну послідовність переходів, вибирають обладнання, інструменти, пристосування.

Креслення заготовки колеса робочого (з вказаними розмірами й допусками) та технологічна документація на його виготовлення (маршрутні карти та карти ескізів).

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						63
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ АНС 100-60

Собівартість продукції – це витрати підприємства на виготовлення та реалізацію товару вираженого в грошовій формі. Собівартість продукції включає в себе вартість сировини, матеріалів, палива та енергії, амортизацію основних фондів, заробітну плату працівників та інші витрати на виробництво необхідної продукції. Собівартість один з важливих якісних показників що характеризує всі сторони діяльності підприємства. Вона відбиває ефективність використання трудових і матеріальних ресурсів на випуск продукції.

### 5.1 РОЗРАХОВУЄМО ПОВНУ СОБІВАРТІСТЬ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ

Витрати на основні матеріали:

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

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

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

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

$n$  – число видів матеріалів.

Дані для розрахунку наведені в таблиці 5.1.

Таким чином отримаємо за формулою 5.1:

$$\begin{aligned} Z_M = & 50 \cdot 126,5 + 85 \cdot 38 + 85 \cdot 2 + 22 \cdot 30,39 + 85 \cdot 2,78 + 20 \cdot 0,97 + 50 \\ & \cdot 3,85 + 50 \cdot 0,75 + 50 \cdot 51,15 + 50 \cdot 4,56 \cdot 2 + 50 \cdot 59,73 + 20 \\ & \cdot 5,82 + 50 \cdot 0,375 + 25 \cdot 5,78 + 25 \cdot 1,44 + 25 \cdot 0,132 + 85 \\ & \cdot 0,068 + 50 \cdot 0,46 + 85 \cdot 22,32 + 82 \cdot 0,025 \cdot 2 + 82 \cdot 0,025 + 32 \\ & \cdot 0,36 \cdot 4 + 25 \cdot 10,2 + 25 \cdot 10,34 + 20 \cdot 56 = 20470,3 \text{ грн} \end{aligned}$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		64

Таблиця 5.1 - Матеріали

№ п/п	Деталь	Матеріал	Маса, кг	Кіл., шт	Ціна 1 кг матеріалу, грн.	Сума, грн
1.	Корпус	СЧ 20	126,5	1	50	6325
2.	Робоче колесо	Сталь 20X13	38	1	85	3230
3.	Імпелер	Сталь 20X13	2	1	85	170
4.	Вал	Сталь 40X	30,39	1	22	668,71
5.	Рубашка	Сталь 20X13	2,78	1	85	235,88
6.	Гайка	Сталь 20	0,97	1	20	19,5
7.	Стойка	СЧ 20	3,85	1	50	192,5
8.	Втулка	СЧ 20	0,75	1	50	37,37
9.	Кронштейн	СЧ 20	51,15	1	50	2557,5
10.	Кришка підшипника	СЧ 20	4,56	2	50	116,92
11.	Кришка	СЧ 20	59,73	1	50	2986,5
12.	Обойка	Сталь 20	5,82	1	20	116,4
13.	Штуцер	СЧ 20	0,375	1	50	18,75
14.	Пробка	Ст 3	5,78	1	25	144,6
15.	Фланец нажимний	Ст 3	1,44	1	25	36
16.	Пробка	Ст 3	0,132	1	25	3,3
17.	Кільце	Сталь 20X13	0,068	1	85	5,44
18.	Кільце гідрозатвор	СЧ 20	0,46	1	50	23
19.	Обтікач	20X13	22,32	1	85	1897,2
20.	Прокладка	Пароніт	0,025	2	82	4,1
21.	Прокладка	Пароніт	0,025	1	82	2,05
22.	Гвинт керувальний	Сталь 45	0,36	4	32	46,08
23.	Фланець	Ст 3	10,2	1	25	255
24.	Фланець	Ст 3	10,34	1	25	258,5
25.	Муфта	Сталь 20	56	1	20	1120

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		65

## 5.2. ВИТРАТИ НА ВИРОБИ, ЩО ЗАКУПОВУЮТЬ

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

де  $C_{покi}$  – оптова ціна і-того типорозміру виробу, що закуповують;

$N_{покi}$  – кількість виробів, що закуповують.

Дані для розрахунку наведені в таблиці 5.2

$$Z_{пок} = 1293 \cdot 2 + 17,30 \cdot 1 + 22,40 \cdot 1 + 2,36 \cdot 1 + 250 = 2878 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.2 - Витрати, що закуповують

№ п/п	Найменування	Кількість, шт.	Ціна, грн.	Сума, грн
1.	Підшипник кочення 6314 ГОСТ 8338-75	2	1293,00	2586,00
2.	Кільце гумове 400 – 410 – 58	1	17,30	17,30
3.	Кільце гумове 420 – 430 – 58	1	22,40	22,40
4.	Кільце гумове 175 – 180 – 36	1	2,36	2,36
5.	Вироби кріплення	–	–	250

## 5.3 ТРАНСПОРТНІ – 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:

$$Z_{тр} = \frac{4\% \cdot (18046,95 + 2878,06)}{100\%} = 837 \text{ грн.}$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		66



## 5.4 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  $C_2 = 18,63$  грн/год.

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

Приймаємо  $K_{cp} = 1,33$

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

$K_{np}$  – коефіцієнт, що враховує розмір премії. Приймається  $K_{np} = 1,4$

Трудомісткість нового виробу визначається за формулою:

$$T_n = T_a \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{Q_n}{Q_a}\right)^2} \cdot K_{нов} \quad (5.5)$$

де  $T_a$  – трудомісткість робіт виробу-аналога, н.год. Визначається за даними виробника. В даному випадку  $T_a = 150$

$Q_n$ ,  $Q_a$  – відповідно маси проектуємої конструкції та виробу аналогу,  
т;

$K_{нов}$  – коефіцієнт новизни конструкції, яка проектується. Приймаємо  $K_{нов} = 1$ .

$$T_n = 150 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{3125}{3600}\right)^2} \cdot 1 = 136,5 \text{ н.год.}$$

Тоді заробітна платня:

$$C_3 = 18,63 \cdot 1,33 \cdot 136,5 \cdot 1,4 = 4735,06 \text{ грн.}$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист 67
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

## 5.5 ДОДАТКОВА ЗАРОБІТНА ПЛАТНЯ ВИРОБНИЧИХ ПРАЦІВНИКІВ

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:

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

$$C_{\text{дод}} = \frac{15\% \cdot 4735,06}{100\%} = 710,26 \text{ грн.}$$

## 5.6 НАРАХУВАННЯ НА ЗАРОБІТНУ ПЛАТНЮ

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%:

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

$$C_H = (4735,06 + 710,26) \cdot 0,22 = 1197,97 \text{ грн.}$$

## 5.7 ВИТРАТИ НА ВІДШКОДУВАННЯ ЗНОШЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ПРИСТОСУВАНЬ ТА ІНСТРУМЕНТІВ

Визначається в розмірі 15% від основної заробітної платні:

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

$$C_{\text{інст}} = 0,15 \cdot 4735,06 = 710,26 \text{ грн.}$$

## 5.8 ВИЗНАЧЕННЯ НАКЛАДНИХ ВИТРАТ

а) витрати по утриманню та експлуатації обладнання:

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						68
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$$C_{\text{еу}} = \frac{4735,06 \cdot 45\%}{100\%} = 2130,78 \text{ грн.}$$

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

$$C_{\text{цв}} = \frac{C_3 \cdot K_{\text{цв}}}{100}, \quad (5.10)$$

де  $K_{\text{цв}}$  – відсоток цехових витрат до основної заробітної платні.

Приймаємо  $K_{\text{цв}} = 45\%$ .

$$C_{\text{цв}} = \frac{4735,06 \cdot 45\%}{100\%} = 2130,78 \text{ грн.}$$

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

$$C_{\text{зв}} = \frac{C_3 \cdot K_{\text{зв}}}{100}, \quad (5.11)$$

де  $K_{\text{зв}}$  – відсоток загальнозаводських витрат до основної заробітної платні. За відсутністю даних приймаємо  $K_{\text{зв}} = 40\%$ .

$$C_{\text{зв}} = \frac{4735,06 \cdot 40\%}{100\%} = 1894,02 \text{ грн.}$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						69
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

## 5.9 ВИРОБНИЧА СОБІВАРТІСТЬ ВИРОБУ

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

$$C_{\text{вир}} = 20470,3 + 2878,06 + 837 + 4735,06 + 710,26 + 2130,78 + 1197,97 \\ + 710,26 + 2130,78 + 21 + 1894,02 = 37693,41 \text{ грн}$$

## 5.10 ПОЗАВИРОБНИЧІ ВИТРАТИ

Визначаються у відсотках від виробничої собівартості виробу, який проектуємо і складають 3%:

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

$$C_{\text{пв}} = 0,03 \cdot 37693,41 = 1130,8 \text{ грн}$$

## 5.11. ПОВНА СОБІВАРТІСТЬ ВИРОБУ

Визначається за формулою:

$$C_{\text{пов}} = C_{\text{вир}} + C_{\text{пв}}, \quad (5.13)$$

$$C_{\text{пов}} = 37693,41 + 1130,8 = 38824,2 \text{ грн}$$

## 5.12. ВИЗНАЧЕННЯ ПЛАНОВИХ НАКОПИЧЕНЬ ТА ДОГОВІРНОЇ ЦІНИ

Відбувається наступним чином:

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

$$П = \frac{C_{\text{пов}} \cdot P}{100} \quad (5.14)$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						70
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

де  $P$  – рентабельність виробу, %. У нашому випадку 15%.

$$П = \frac{38824,2 \cdot 15\%}{100\%} = 5823,6 \text{ грн}$$

б) договірна оптова ціна дорівнює:

$$C_{opt} = C_{нов} + П \quad (5.15)$$

$$C_{opt} = 38824,2 + 5823,6 = 44647,8 \text{ грн}$$

Отримані розрахунки заносимо до таблиці 5.3

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		71

Таблиця 5.3 – Планова калькуляція собівартості насосу АНС 100-60

№ п/п	Стаття витрат	Сума, грн.
1.	Сировина та основні матеріали	15643,75
2.	Покупні вироби та напівфабрикати	25934,36
3.	Транспортно-заготівельні витрати	1580,87
4.	Основна заробітна плата	4735,06
5.	Додаткова заробітна плата	710,26
6.	Нарахування на заробітну плату	1197,97
7.	Витрати на відшкодування зносу спеціальних пристосувань та інструменту	710,26
8.	Витрати по утриманню та експлуатації	2130,78
9.	Цехові витрати	2130,78
10.	Загальнозаводські витрати	1894,02
11.	Виробнича собівартість	37693,41
12.	Позавиробничі витрати	1130,8
13.	Повна собівартість	38824,2
14.	Планове накопичення	5823,6
15.	Оптова ціна	44647,8

## 6 ЗАХОДИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

Параметри, які характеризують вібрацію. Дія на організм людини.  
Нормуванн. Методи захисту.

### 6.1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Вібрація це механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем. Для людини вібрація є видом механічного впливу, який має негативні наслідки для організму.

Причиною появи вібрації є неврівноважені сили та ударні процеси в діючих механізмах. Створення високопродуктивних потужних машин і швидкісних транспортних засобів при одночасному зниженні їх матеріалоемності неминуче призводить до збільшення інтенсивності і розширення спектру вібраційних та віброакустичних полів. Цьому сприяє також широке використання в промисловості і будівництві високоефективних механізмів вібраційної та віброударної дії. Дія вібрації може приводити до трансформування внутрішньої структури і поверхневих шарів матеріалів, зміни умов тертя і зносу на контактних поверхнях деталей машин, нагрівання конструкцій. Через вібрацію збільшуються динамічні навантаження в елементах конструкцій, стиках і сполученнях, знижується несуча здатність деталей, ініціюються тріщини, виникає руйнування обладнання. Усе це призводить до зниження строку служби устаткування, зростання імовірності аварійних ситуацій і зростання економічних витрат. Вважають, що 80% аварій в машинах і механізмах здійснюється внаслідок вібрації. Крім того, коливання конструкцій часто є джерелом небажаного шуму. Захист від вібрації є складною і багатоплановою в науково технічному та важливою у соціально економічному відношеннях проблемою нашого суспільства.

За способом передачі на тіло людини розрізняють загальну та локальну (місцеву) вібрацію. Загальна вібрація та, що викликає коливання всього

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		73





числі сушарні), обладнання промисловості будматеріалів (крім бетоноукладачів), установки хімічної та нафтохімічної промисловості і т. ін.

Загальну технологічну вібрацію за місцем дії поділяють на такі типи:

- а) на постійних робочих місцях виробничих приміщень підприємств;
- б) на робочих місцях складів, їдалень, побутових, чергових та інших виробничих приміщень, де немає джерел вібрації;
- в) на робочих місцях заводууправлінь, конструкторських бюро, лабораторій, учбових пунктів, обчислювальних центрів, медпунктів, конторських приміщень, робочих кімнат та інших приміщень для працівників розумової праці.

За джерелом виникнення локальну вібрацію поділяють на таку, що передається від:

- ручних машин або ручного механізованого інструменту, органів керування машинами та устаткуванням;
- ручних інструментів без двигунів (наприклад, рихтувальні молотки) та деталей, які оброблюються. За напрямком дії загальну та локальну вібрації характеризують з урахуванням осей ортогональної системи координат X, Y, Z (рис. 6.1).

					<i>6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>75</i>

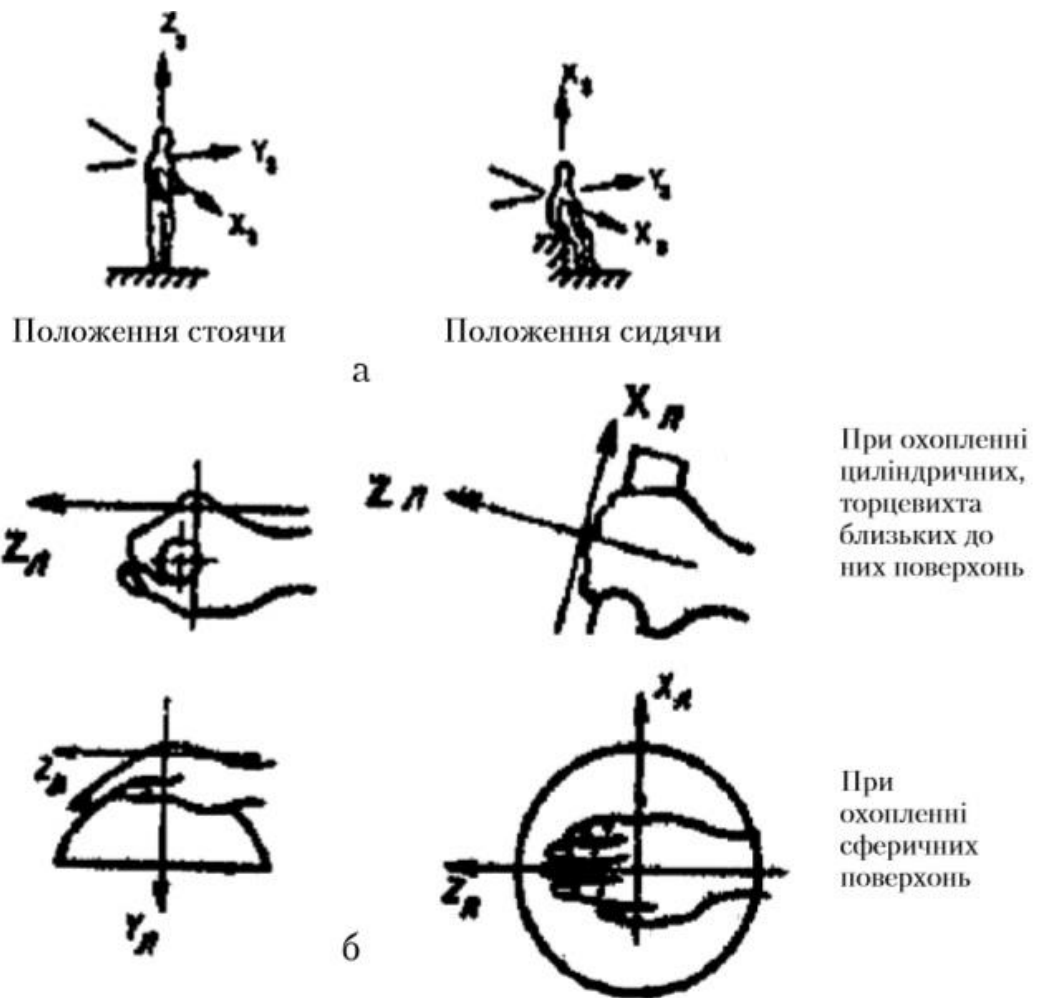


Рис. 6.1. Напрями координатних осей при дії загальної (а) та локальної(б) вібрації

За часовими характеристиками загальні та локальні вібрації поділяють на:

- постійні, для яких величина віброприскорення або віброшвидкості змінюється менше ніж у 2 рази (менше 6 дБ) за робочу зміну;
- непостійні, для яких величина віброприскорення або віброшвидкості змінюється не менше ніж у 2 рази (6 дБ і більше) за робочу зміну.

## 6.2 ВПЛИВ ВІБРАЦІЇ НА ЛЮДИНУ

Вплив вібрації на людину залежить від її спектрального складу, напрямку дії, прикладення, тривалості впливу, а також від індивідуальних особливостей людини.



що у працюючих в умовах вібрації відбуваються значні зміни кістково-суглобної системи, які виражаються у функціональній перебудові кісткової тканини, регіональному остеопорозі, кистоподібних утвореннях у кістках, хронічних переломах. Відзначається, що терміни виникнень змін у кістках у працівників вібраційних професій коливається в межах від 6–8 місяців до 2–5 років.

Шкідливість вібрації збільшується при одночасному впливі на людину таких факторів, як знижена температура, підвищені рівні шуму, запиленість повітря, тривала статична напруга м'язів і т. ін. Сучасна медицина розглядає виробничу вібрацію як значний стрес-фактор, що має негативний вплив на психомоторну працездатність, емоційну сферу і розумову діяльність людини, що підвищує ймовірність виникнення різних захворювань і нещасних випадків. Особливо небезпечний тривалий вплив вібрації для жіночого організму. Цей широкий комплекс патологічних відхилень, викликаний впливом вібрації на організм людини, кваліфікується як віброзахворювання.

Дослідження показали, що вібраційна хвороба може тривалий час протікати компенсовано, коли хворі зберігають працездатність, не звертаються за лікарською допомогою. З часом систематичний вплив вібрації обумовлює загострення хвороби, яка може мати три стадії (ступеня) тяжкості. Відзначається, що ефективне лікування віброзахворювання можливе лише на ранніх стадіях. Відновлення порушених функцій протікає дуже повільно, а в окремих випадках настають необоротні зміни, що приводять до інвалідності. Таким чином, вібрація має значний вплив як на працездатність людини, так і на стан її здоров'я. Серед професійних патологій вібраційна хвороба займає одне з перших місць.

### 6.3 МЕТОДИ ГІГІЄНИЧНОЇ ОЦІНКИ ТА НОРМАТИВНІ ПАРАМЕТРИ ВИРОБНИЧОЇ ВІБРАЦІЇ

Гігієнічна оцінка вібрації, яка діє на людину у виробничих умовах, здійснюється за допомогою таких методів:

– частотного (спектрального) аналізу її параметрів;

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						78
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- інтегральної оцінки за спектром частот параметрів, що нормуються;
- дози вібрації.

При дії постійної локальної та загальної вібрації параметром, що нормується, є середньоквадратичне значення віброшвидкості ( $v_{\text{сер кв}}$ ) та віброприскорення ( $a$ ) або їх логарифмічні рівні  $L_v$ ,  $L_a$  у дБ в діапазоні октавних смуг із середньгеометричними частотами  $f_{\text{сер г}}$ : 8,0; 16,0; 31,5; 63,0; 125,0; 250,0; 500,0; 1000,0 Гц – для локальної вібрації; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0; 31,5; 63,0 Гц або в діапазоні 1/3 октавних смуг 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц – для загальної вібрації. Середньоквадратичне значення віброшвидкості ( $v_{\text{сер кв}}$ ) за періоду  $T$  визначається за формулою:

$$v_{\text{сер кв}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_t^{t+T} v^2(t) dt} \quad (6.1)$$

Середньгеометрична частота визначається за формулою:

$$f_{\text{сер г}} = \sqrt{f_v f_n} \quad (6.2)$$

де  $f_v$ ,  $f_n$  – верхня та нижня межі частотної смуги.

У таблицях 2.1 і 2.2 приведені нормативні значення для локальної та загальної вібрацій відповідно.

Таблиця 6.1 – Гранично допустимі рівні локальної вібрації

Середньгеометричні частоти октавних смуг, Гц	Гранично допустимі рівні по осях $X_x, Y_x, Z_x$			
	віброшвидкість		віброприскорення	
	$v$ , м/с $\times 10^{-2}$	$L_v$ , дБ	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$L_a$ , дБ
8	2,8	115	1,4	73
16	1,4	109	1,4	73
31,5	1,4	109	2,7	79
63	1,4	109	5,4	85
125	1,4	109	10,7	91
250	1,4	109	21,3	97
500	1,4	109	42,5	103
1000	1,4	109	85,0	109
Коректований, еквівалентний коректований рівень	2,0	112	2,0	76

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі рівні вібрації категорії 3  
(технологічна типу «В»)

Середньо-геометричні частоти смуг, Гц	Гранично допустимі рівні по осях X3, Y3, Z3							
	віброприскорення				віброшвидкості			
	$a$ , м/с <sup>2</sup>		$L_a$ , дБ		$v$ , м/с x 10 <sup>-2</sup>		$L_v$ , дБ	
	1/3 окт.	1/1 окт.	1/3 окт.	1/1 окт.	1/3 окт.	1/1 окт.	1/3 окт.	1/1 окт.
1,6	0,0125		32		0,13		88	
2,0	0,0112	0,02	31	36	0,089	0,18	85	91
2,5	0,01		30		0,063		82	
3,15	0,009		29		0,0445		79	
4,0	0,008	0,014	28	33	0,032	0,063	76	82
5,0	0,008		28		0,025		74	
6,3	0,008		28		0,02		72	
8,0	0,008	0,014	28	33	0,016	0,032	70	76
10,0	0,01		30		0,016		70	
12,5	0,0125		32		0,016		70	
16,0	0,016	0,028	34	39	0,016	0,028	70	75
20,0	0,0196		36		0,016		70	
25,0	0,025		38		0,016		70	
31,5	0,0315	0,056	40	45	0,016	0,028	70	75
40,0	0,04		42		0,016		70	
50,0	0,05		44		0,016		70	
63,0	0,063	0,112	46	51	0,016	0,028	70	75
80,0	0,08		48		0,016		70	
Коректовані еквівалентні коректовані рівні		0,014		33		0,028		75

Параметром, що нормується, при інтегральній оцінці за спектром частот є коректоване значення віброшвидкості або віброприскорення ( $V$ ), або їх логарифмічні рівні ( $L$ ), які вимірюються за допомогою коректуючих фільтрів або обчислюються. Коректоване значення віброшвидкості або віброприскорення визначається за формулою:

$$V_{\text{сер кв}} = \sqrt{\sum_i^n (V_i \times K_i)^2} \quad (6.3)$$

де  $V_i$  – середнє квадратичне значення віброшвидкості або віброприскорення в  $i$ -й частотній смузі;

$n$  – кількість частотних смуг (1/3 або 1/1 октавних) у частотному діапазоні, що нормується;

$K_i$  – ваговий коефіцієнт для  $i$ -й частотної смуги відповідно до абсолютних значень віброшвидкості та віброприскорення локальної та загальної вібрації наведі у ДСН 3.3.61038199.

У разі дії непостійної вібрації (крім імпульсної) параметром, що нормується, є вібраційне навантаження (еквівалентний коректований рівень, доза вібрації,  $D$ ), одержане робітником протягом зміни та зафіксоване спеціальним приладом або обчислене для кожного напрямку дії вібрації ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) за формулою:

$$D = \int_0^t V^2(t) dt \quad (6.4)$$

або

$$L_{\text{кор.екв.}} = L_{\text{кор}} + 10Lg(t/t_{\text{зм}}) \quad (6.5)$$

де  $V(t)$  – коректоване по частоті значення вібраційного параметра у момент часу  $t$ ,  $\text{мс}^{-2}$  або  $\text{мс}^{-1}$ ;

$t$  – час дії вібрації, година;

$t_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, годин.

Еквівалентний коректований рівень віброшвидкості або віброприскорення розраховується шляхом енергетичного додавання рівнів з урахуванням тривалості дії кожного з них. При дії імпульсної вібрації з піковим рівнем віброприскорення від 120 до 160 дБ, параметром, що нормується, є кількість вібраційних імпульсів за зміну (годину), в залежності

						Лист
					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	81
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

від тривалості імпульсу. Нормативні значення вібрації встановлені згідно з ДСН 3.3.6.039199 за її дії протягом робочого часу 480 хвилин (8 год). При впливі вібрації, яка перевищує встановлені нормативи, тривалість її дії на людину протягом робочої зміни зменшують згідно даних таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Допустимий сумарний час дії локальної вібрації в залежності від перевищення її гранично допустимого рівня

Перевищення гранично допустимого рівня вібрації, дБ	Допустимий сумарний час дії вібрації за зміну, хв.	Перевищення гранично допустимого рівня вібрації, дБ	Допустимий сумарний час дії вібрації за зміну, хв.
1	384	7	95
2	302	8	76
3	240	9	60
4	191	10	48
5	151	11	38
6	120	12	30

#### 6.4 МЕТОДИ ЗАХИСТУ ВІД ВІБРАЦІЙ

Заходи, щодо захисту від дії вібрації поділяють на технічні, організаційні та лікувально-профілактичні. Також вони можуть бути розподілені як колективні та індивідуальні.

До технічних заходів відносять:

- зниження вібрації в джерелі її виникнення (вибір на стадії проектування кінематичних і технологічних схем, які знижують динамічні навантаження в устаткуванні);

- зниження діючої вібрації на шляху розповсюдження від джерела виникнення (вібропоглинання, віброгасіння, віброізоляція) ;

До організаційних заходів відносять:



- організаційнотехнічні (своєчасний ремонт та обслуговування обладнання за технологічним регламентом, контроль вібрації, дистанційне керування вібронебезпечним обладнанням);

- організаційне – режимні (режим праці та відпочинку, заборону залучення до вібраційних робіт осіб молодших 18 років, тощо);

До лікувально-профілактичних заходів відносяться:

- медичний огляд;
- лікувальні процедури (фізіологічні процедури, вітаміно- та фітотерапія).

Найбільш важливим напрямком захисту від вібрації є конструктивні методи зниження вібро активності машин та механізмів – зменшення діючих змінних сил у конструкції та зміна її параметрів (жорсткості, приведеної маси, сили тертя демпферного пристрою). Дані методи базуються на аналізі рівнянь, які описують коливання машин. Для спрощеного випадку – коливання системи з одним ступенем свободи при гармонійному законі діючої сили, таке рівняння має вид:

$$m(dv/dt) + \mu(dx/dt) + qx = F\sin(\omega t) \quad (6.6)$$

де  $m$  – маса системи, кг;

$q$  – жорсткість пружини, Н/м;

$x$  – коливальне зміщення пружини, м;

$\mu$  – коефіцієнт тертя, Нс/м;

$F_m$  – діюча сили, Н;

$\omega$  – частота діючої сили, рад/с;

$dv/dt$  – поточне значення прискорення коливань, м/с<sup>2</sup>;

$dx/dt$  – поточне значення швидкості коливань, м/с.

Розв’язання цього рівняння відносно амплітуди швидкості ( $v_m$ ) коливання дає:

$$v_m = \frac{F_m}{\sqrt{\mu^2 + (m\omega - q/\omega)^2}} \quad (6.7)$$

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		83

де,  $v_m$  – амплітудне значення віброшвидкості, м/с.

Амплітуди коливання системи різко збільшується, коли у рівнянні 2.7  $m\omega = q/\omega$  (умови резонансу). При цьому резонансна частота визначається за

$$\text{вираз } \omega_0 = \sqrt{q/m}$$

Аналіз рівняння 6.7 показує, що основними напрямками боротьби з вібрацією машин є:

- зниження вібрації у джерелі виникнення за рахунок зменшення діючих змінних сил ( $F_m$ ) (наприклад, за рахунок зрівноваження мас, заміни ударних технологій без ударними, використання спеціальних видів зачепленням у приводах машин і т. ін.);
- відстроюванням від резонансних режимів раціональним вибором приведеної маси  $m$  (при  $\omega > \omega_0$ ) або жорсткості  $q$  (при  $\omega < \omega_0$ ) системи або зміною частоти збуджуючої сили ( $v$ );
- вібродемпфування – збільшення механічних втрат ( $\mu$ ) при коливаннях поблизу режимів резонансу (наприклад, за рахунок використання у конструкціях матеріалів з великим внутрішнім тертям – пластмас, сплавів марганцю та міді, нанесення на віброуючі поверхні шару пружно в'язких матеріалів і т. ін.);
- динамічне гасіння – введення в коливальну систему додаткових мас або зміна жорсткості системи (наприклад, за рахунок кріплення на віброуючому об'єкті, додаткової коливальної системи, що рухається в протифазі з коливаннями об'єкта).

Для зниження дії вібрації на обладнання та людину широко використовують метод віброізоляції – введення в коливну систему додаткового пружного зв'язку, яке послаблює передавання вібрації об'єкту, що підлягає захисту. Для віброізоляції машин з вертикальною збуджуючою силою використовують віброізолюючі опори у вигляді пружин, пружних прокладок (наприклад, гума) та їх комбінації (рис. 6.1).

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		84

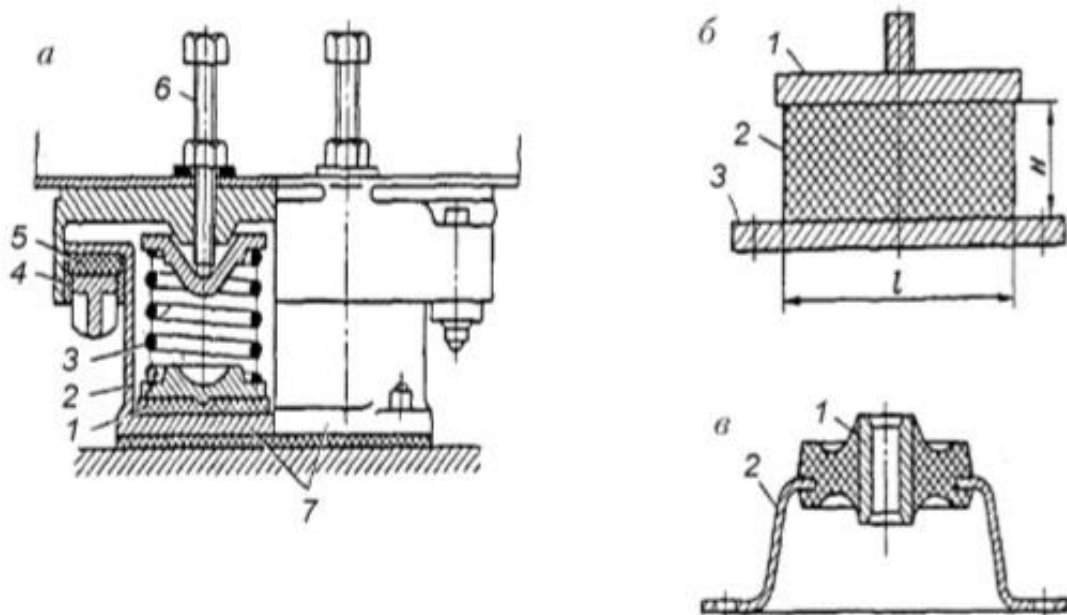


Рисунок 6.1 – Конструкції віброізоляторів для механічного устаткування

Основною частиною ізолятора (рис. 6.1, а) є пружина 3, що спирається на гумову прокладку 1. Пружина і прокладка розміщені у металевому стакані 2. Для запобігання ударам за дуже великої амплітуди коливань передбачені обмежувачі 4 і 5. Гумове кільце 4 запобігає також ударам металу об метал при бокових вібраціях. Опірня конструкція 7 використовується для кріплення віброізолятора до основи. Установка, що ізолюється, кріпиться до ізолятора за допомогою болта 6. Пружина 3 слугує для ізоляції коливань низьких частот, а гумова прокладка 1 – високих. Крім того, ця прокладка внаслідок великих внутрішніх втрат у гумі збільшує тертя.

Досить простий за конструкцією віброізолятора (мал. 6.1, б), що являє собою гумовий брусок 2, розміщений між металевими пластинами 1 та 3, які можуть бути приклеєні до бруска. Висоту  $H$  вибирають за величиною потрібного статичного стиску з урахуванням забезпечення стійкості та міцності гумового бруска, а розмір  $l$ , визначають виходячи з допустимого навантаження на один віброізолятор. В міру збільшення розміру  $l$  порівняно з  $H$  швидко зростає жорсткість віброізолятора, тому що при деформації обсяг гуми майже не змінюється, і необхідно забезпечити її бокове розширення при

повздовжньому стисканні. З тієї ж причини неефективні віброізолятори, які складаються з суцільних тонких гумових листів. Замість них краще використовувати гумові килимки з гофрованої гуми, що випускаються промисловістю.

Гумові та гумово-металеві віброізолятори мають багато модифікацій, де використовується властивість гуми добре приклеюватися при вулканізації до металу.

На рис. 6.1, в, зображено чашковий віброізолятор, який складається із гумової втулки 1, укріпленої на металевому держаку 2. Цей віброізолятор використовують у приладах.

Перевагами гумових віброізоляторів є простота конструкції та невисока вартість, а недоліками – швидке старіння гуми, руйнування її нафтопродуктами, важкість конструювання для ізоляції від низькочастотних вібрацій.

У ряді випадків добрий ефект дає застосування пневматичних або гідравлічних віброізоляторів.

Ефективність віброізоляції залежить від відношення частоти збудження ( $f_3$ ) та власної частоти ( $f_0$ ) коливань системи. Віброізолятори знижують передачу динамічних сил на об'єкт, що захищається, за умови:  $(f_3/f_0) > \sqrt{2}$ .

Коефіцієнт передачі (КП), яка вказує на співвідношення сили діючої на об'єкт у разі існування гнучкого зв'язку (віброізолятора) і без нього, при гармонійних коливаннях визначається виразом:

$$\text{КП} = 1/[(f_3/f_0)^2 - 1] \quad (6.8)$$

Оптимальна віброізоляція досягається при  $\text{КП}=1/8\dots 1/15$ .

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		86

Віброізоляцію людини забезпечують за допомогою віброзахисних крісел, віброізоляційних кабін та платформ. Одна з конструкцій віброзахисного крісла показана на рис. 6.2

Для захисту від низькочастотних вібрацій використовують пружини 4, які забезпечують необхідну величину статичного стискання та низьку власну частоту системи. Амортизатор 1 вносить тертя у коливальну систему і пом'якшує передачу поштовхів та

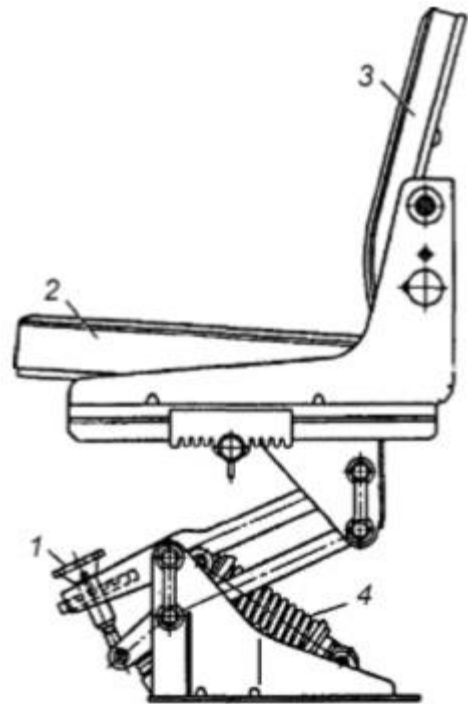


Рис. 6.2 - Віброзахисне крісло машиніста

ударів завдяки забезпеченню в ньому нелінійної залежності сили тертя від швидкості деформації. Для забезпечення комфорту та захисту людини від високочастотної вібрації застосовується м'яке сидіння 2 та спинка 3. Ефективною додатковою мірою захисту, наприклад трактористів, є віброізолятори, що встановлюються між кабіною та рамою, а також між органами керування та кабіною.

Агрегати, які можуть викликати небажані вібрації конструкцій будинків (наприклад, вентилятори, насоси, компресори, холодильні установки, верстати і т. ін.), слід встановлювати на віброізолюючі основи. Питання про необхідність такого способу установки треба вирішувати залежно від конкретних умов. Так, немає сенсу передбачати віброізоляцію металообробних верстатів, які встановлено на масивні фундаменти на нижньому поверсі будинку, якщо передача звукової вібрації в інші приміщення не має значення. Навпаки, ці ж верстати в приміщеннях, розташованих поряд з лабораторією чи КБ, обов'язково ізолюють. Віброізоляція практично не зменшує шуму в тому приміщенні, в якому

встановлено агрегат, але може мати вирішальне значення для покращання умов праці або відпочинку в інших приміщеннях будівлі чи в будинках розташованих поряд, куди вібрація передається по конструкціях або через ґрунт. На рисунку 6.3 показана, як типовий випадок, віброізоляція насосної установки.

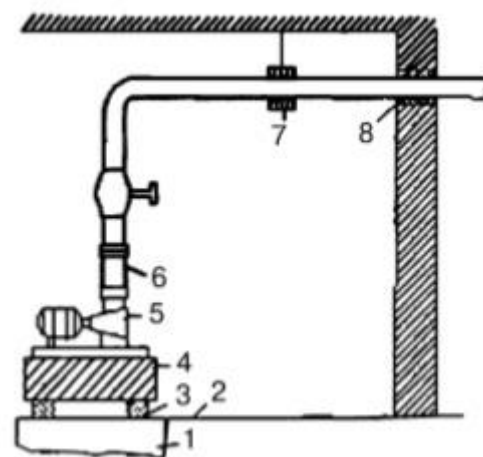


Рис. 6.3 - Віброізоляція насосної установки

Насосний агрегат 5 монтують на залізобетонній плиті 4 товщиною 100–250 мм, яка збільшує масу установки, що полегшує завдання зниження власної частоти і зменшення вібрації агрегату. В свою чергу плиту встановлюють на віброізолятори 3. Фундамент 1 не є обов'язковим – невеликі агрегати можна встановлювати прямо на підлогу або перекриття 2. Гнучкі вставки 6 використовуються для зменшення передачі вібрацій по комунікаціях (у даному випадку трубопроводах), а також для роз'єднання в силовому відношенні насосної установки та приєднаних до неї трубопроводів. Гнучкі вставки є обов'язковою складовою частиною віброізоляції установки будь-якого розміру. В місцях проходу трубопроводів через конструкції огороження будинків передбачають їх ізоляцію 8 від цих конструкцій. Трубопровід ізолюють також від підвісок за допомогою пружних прокладок 7.

У випадках, коли технічними засобами не вдається зменшити рівень вібрацій до норми, передбачають забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) можуть застосовуватися як для всього тіла людини, так і окремо для ніг та рук.

У якості таких засобів використовують віброізолюючі рукавиці і віброізолююче взуття, які мають пружні прокладки, що захищають працівника від впливу високочастотної місцевої вібрації. Ефективність таких рукавиць та взуття не дуже висока, тому що товщина вказаних прокладок не

може бути дуже великою. Через це вони не дають помітного зменшення вібрацій на низьких частотах, а на високих (більш 100 Гц ) їх ефективність зменшується за рахунок хвильових властивостей тканин людського тіла. Засоби індивідуального захисту (взуття, рукавиці і т. ін.) від шкідливого впливу загальної та локальної вібрації повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.024176. «ССТБ. Обувь специальная виброзащитная» та ГОСТ 12.4.002174 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования». Для зниження впливу локальної вібрації, що діє під час роботи з перфораторами та відбійними молотками використовують спеціальні пристрої до ручки керування (з елементами пружності, які згинаються, стискаються або скручуються, з телескопічними або шарнірними елементами).

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						89
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		





10. Машины и аппараты пищевых производств / под редакцией академика Расхн В.А. Панфилова, профессора В.Я. Груданова, 2007. – 420 с.

11. Детали машин. Курсовое проектирование: учеб. пос. / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. - М. : Высшая школа, 1984. - 336 с.

12. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам: ГОСТ 2.105-95. – [Действителен от 1996-06-01]. – М.: Госстандарт Российской Федерации 1996. – 31 с. – (Межгосударственный стандарт).

13. 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).

14. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.

					6.05050205.09.БР.000.00 ПЗ	Лист
						91
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ДОДАТОК А