

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ електротехніки та енергоефективності \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістрський) рівень \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка \_\_\_\_\_  
(код та назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

Освітня програма 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

д.т.н., доц.  В.Л. Коваленко

« 16 » 12 2020 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Колісник Вадим Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи \_\_\_\_\_ Аналіз можливості підвищення ефективності споживання  
електричної енергії обладнанням оборотного водопостачання  
ПрАТ «Дніпроспецсталь» \_\_\_\_\_

керівник роботи \_\_\_\_\_ Небеснюк Оксана Юріївна, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 14 » вересня 2020 року № 1305-с

2 Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 01 грудня 2020 р. \_\_\_\_\_

3 Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_ Витрата води на нагрівальні печі залежить від їх тип  
продуктивності, величини злитків, що нагріваються і становить на 1 т металу в  
0,3-0,5 м<sup>3</sup> до 8 м<sup>3</sup>; водопостачання цехів оборотне, з роздільною (через різ  
труби) подачею води.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібні  
розробити) \_\_\_\_\_ 1) Аналіз технологічного процесу оборотного циклу. 2) Визначення  
можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії  
обладнанням оборотного водопостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь» \_\_\_\_\_  
3) Розрахунок витрат на реалізацію енергозберігаючих заходів й економічного  
ефекту від їх впровадження 4) Охорона праці та техногенна безпека.



5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
 1) Існуюча схема оборотного водопостачання 2) Характеристики насосного агрегату та мережі 3) Засоби підвищення ефективності системи оборотного водопостачання 4) Модернізована схема оборотного водопостачання 5) Характеристики насосного агрегату та мережі після модернізації 6) Технічні економічні показники заходів 7) Охорона праці та техногенна безпека

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Небеснюк О.Ю., к.т.н. доцент		
Розділ 2	Небеснюк О.Ю., к.т.н. доцент		
Розділ 3	Небеснюк О.Ю., к.т.н. доцент		
Розділ 4	Небеснюк О.Ю., к.т.н. доцент		

7 Дата видачі завдання 01.09.2020 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу оборотного циклу	30.09.2020	
2	Визначення можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням оборотного водопостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь»	30.10.2020	
3	Розрахунок витрат на реалізацію енергозберігаючих заходів й економічного ефекту від їх впровадження	19.11.2020	
4	Охорона праці та техногенна безпека.	30.11.2020	

Студент   
(підпис)

Колісник В. В.  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи   
(підпис)

Небеснюк О.Ю.  
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер   
(підпис)

С.В. Башлій  
(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Колісник В. В. Аналіз можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням оборотного водопостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь». Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник О.Ю. Небеснюк. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра електротехніки та енергоефективності, 2020.

Досліджено можливість підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням оборотного водопостачання шляхом використання енергії стовпа освітленої води й регулювання продуктивності насосних агрегатів.

На прикладі ПрАТ «Дніпроспецсталь» підтверджена техніко-економічна доцільність запропонованих заходів.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, НАСОСНА СТАНЦІЯ, УТИЛІЗАЦІЯ ЕНЕРГІЇ, ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД, ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ТЕРМІН ОКУПНОСТІ

## ABSTRACT

Kolisnyk V.V. Analysis of the possibility of increasing the efficiency of electricity consumption by the equipment of circulating water supply of PJSC "Dniprospeetsstal". Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, supervisor O.Y. Nebesnyuk. Zaporizhzhya National University, Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2020.

The possibility of increasing the efficiency of electricity consumption by circulating water supply equipment by using the energy of the clarified water column and regulating the performance of pumping units has been investigated.

The technical and economic feasibility of the proposed measures was confirmed on the example of PJSC "Dniprospeetsstal".

Keywords: ELECTRICITY, PUMP STATION, ENERGY UTILIZATION, FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC DRIVE, SAVING OF ELECTRICITY, THERMAL

## АННОТАЦИЯ

Колесник В. В. Анализ возможности повышения эффективности потребления электрической энергии оборудованием оборотного водоснабжения ПАО «Днепропетцсталь». Квалификационная выпускная работа на соискание степени высшего образования магистра по специальности 141 - Электроэнергетика, электротехника и электромеханика, научный руководитель О. Ю. Небеснюк. Запорожский национальный университет, Инженерный учебно-научный институт, кафедра электротехники и энергоэффективности, 2020.

Исследована возможность повышения эффективности потребления электрической энергии оборудованием оборотного водоснабжения путем использования энергии столба осветленной воды и регулирования производительности насосных агрегатов.

На примере ПАО «Днепропетцсталь» подтверждена технико-экономическая целесообразность предложенных мероприятий.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ, УТИЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ, ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, СРОК ОКУПАЕМОСТИ

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз технологічного процесу оборотного циклу.....	12
1.1 Опис технологічної схеми.....	12
1.2 Аналіз можливих заходів щодо підвищення енергоефективності оборотного циклу схематичними змінами. ....	21
1.3 Аналіз методів зниження тиску в нагнітальному колекторі.....	22
2. Визначення можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням оборотного водопостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь».....	35
2.1 Гідравлічний розрахунок тракту освітленої води .....	35
2.2 Розрахунок режимів роботи насосної станції.....	40
3 Розрахунок витрат на реалізацію енергозберігаючих заходів й економічного ефекту від їх впровадження. ....	59
3.1 Розрахунок капітальних витрат на реалізацію енергозберігаючих заходів.....	59
3.1.1 Розрахунок затрат на устаткування та матеріали .....	59
3.1.2 Розрахунок затрат на будівельно-монтажні и налагоджувальні роботи .....	60
3.1.3.Розрахунок сумарних затрат на реалізацію заходів .....	64
3.2 Розрахунок затрат на оплату праці експлуатаційного персоналу.....	64
3.2.1 Розрахунки витрат на оплату праці змінного й ремонтного персоналу.....	65
3.3 Розрахунок ефекту від впровадження енергозберігаючих заходів.....	70
4. Охорона праці та техногенна безпека.....	76
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища.....	76

4.2 Заходи щодо захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища .....	79
4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії.....	80
4.3.1 Мікrokлімат.....	80
4.3.2 Вентиляція й кондиціонування.....	80
4.3.3 Освітлення.....	87
4.4 Захисні заходи з електробезпеки.....	90
4.5 Пожежна безпека.....	91
4.6 Засоби індивідуального захисту.....	93
4.7 Розробка заходів захисту від тепловиділень.....	94
ВИСНОВКИ.....	100
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	102



## ВСТУП

Україна є однією з найбільш енерговитратних країн миру. Частка первинної енергії, яка витрачається в країні, дорівнює 2,2 % від загальносвітового споживання, тоді як населення України становить тільки 0,6 % від усього людства. Таким чином, проблема полягає в низькій ефективності використання енергії. Частка енергії у виробництві продукції підвищується, що свідчить про вкрай неефективне використання енергії.

Для порівняння можна привести витрати енергії на виробництво прокату чорних металів у США й Україні:

- у США при виробництві однієї тонни сталі витрачається: паливо в умовному вирахованні - 648 кг у.п./т; тепла енергія - 1746,6 МДж/т; електроенергія – 427,7 кВт·год/т;

- в Україні при виробництві однієї тонни сталі витрачається: паливо в умовному вирахованні - 1180 кг у.п./т; тепла енергія - 2175,15 МДж/т; електроенергія – 960,33 кВт·год/т.

Існують дві основні причини, які обумовлюють енергетичну неефективність виробництва. Перша – структура енергоспоживання. Друга причина – використання застарілого обладнання, техніки й технологій. При загальному зниженні обсягів виробництва енергоемність продукції більшості галузей промисловості зростає. Зупинити процес зростання енергоемності продукції може, як показує світовий досвід, ефективна політика в області енергозбереження.

Без чітко певної енергетичної стратегії компанія не зможе розробити ефективну програму з енергоефективності. Енергетична стратегія повинна визначити загальні цілі відносно використання енергії, і тому повинна включати наступні питання: закупівля первинних енергоресурсів; їхнє перетворення на підприємстві; розподіл і постачання; використання енергії; загальний розподіл відповідальності керівної ланки за використання енергії.

Відомо, що з урахуванням недовантаження електричних машин у нормальному технологічному режимі на 20-25% і зниженні продуктивності в 2,5-3 рази, витрати на ремонт двигунів (при наробітку на відмову 4000 годин) впритул наближаються до вартості електроенергії, яку спожив би двигун за час експлуатації між двома ремонтами, якщо ціна за 1 кВт·год знаходиться на рівні 0,73-0,85 грн. З урахуванням транспортних та інших розходів пов'язаних з аварійним виходом двигуна з ладу, питомі затрати на ремонт приближаються до відповідного показника для нових заводських машин [1].

Об'єкт дослідження – система оборотного водопостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь».

Предмет дослідження – процес поживання електричної енергії обладнанням оборотного водопостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь».

Завдання роботи – проаналізувати енергоспоживання системи оборотного водопостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь»; дослідити можливість підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням оборотного водопостачання шляхом використання енергії стовпа освітленої води й регулювання продуктивності насосних агрегатів; підтвердити техніко-економічну доцільність запропонованих заходів.

Зниження продуктивності машин і установок приводить до зниження ресурсу працездатності з цілого ряду факторів, так чи інакше пов'язаних з ростом числа пусків електричних двигунів (у тому числі й регульованих електроприводів).

Аналіз [1, 2] показує, що істотне зниження енергоспоживання за рахунок широкого застосування регульованого електропривода в цей час нереалізоване із-за обмежених можливостей капіталовкладень із метою реконструкції електроприводів. Регульований електропривод, як панацея від усіх лих, вважається дилетантським підходом. Потрібно використовувати раціональний підхід, що поєднує розумну комбінацію регульованого й нерегульованого, наприклад, керованого за пуском, забезпечуючого ефект, досить близький до найбільш удосконаленого привода. Слід ураховувати й рівень



обслуговування електроустаткування, який, як правило, не відповідає стандартам, властивим регульованим приводам з високими технічними характеристиками. При цьому слід мати на увазі те, що зазначені вище позитивні властивості, система електропривода здобуває не за рахунок використання деяких інших технічних засобів, а за рахунок використання регульовальних можливостей системи електропривода.

Встановлено, що будь-який технологічний процес тією чи іншою мірою керуємиий. Ця керованість зв'язана також з технічними можливостями періодичних зупинок процесу або істотним зниженням продуктивності. Зниження продуктивності машин і установок приводить до зниження ресурсу працездатності з цілого ряду факторів, так чи інакше пов'язаних з ростом числа пусків електричних двигунів (у тому числі й регульованих електроприводів). При запуску електричних машин через реактор або напряму вся конструкція підлягає значним моментам і зусиллям, що впливають на обмотки й інші елементи конструкції. Значення максимального моменту  $M_m$ , що виникає при запуску, у деяких випадках значно перевищує критичний  $M_k$  і пусковий  $M_n$  моменти.

Важливо розуміти, що пускові системи, за своєю суттю, являють собою новий клас енергозберігаючого устаткування. Розуміння цього тісно пов'язане із загальним й приватним завданнями реального енергозбереження. Невиправдано, у всіх напрямках, робити однобічну орієнтацію на регульований електропривод. Багато завдань енергозбереження можуть бути вирішені з використанням частотних регульованих пристроїв, що забезпечують розгін двигуна, обмеження струмових, механічних і теплових навантажень. Основними вимогами, пропонованими до таких систем, є: можливість необмеженого числа; обмеження динамічних моментів і струмового навантаження; можливість тривалої роботи на знижених швидкостях ( для прогріву деяких технологічних механізмів); достатню величину пускового моменту для створення підвищеного моменту при рушанні; низьку ( у порівнянні з регульованим приводом) вартість; можливість послідовного пуску

декількох двигунів. Вище сказане підтверджує актуальність дипломної роботи, присвяченої вибору й обґрунтуванню засобів підвищення енергоефективності потужних нерегульованих приводів насосних установок оборотного циклу.

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБОРОТНОГО ЦИКЛУ

## 1.1 Опис технологічної схеми

Сучасні агрегати, що включають безперервний стан, різняться складом устаткування і особливо конструкцією окремих станів і механізмів, ступенем механізації та автоматизації.

Для виробництва труб всього сортаменту застосовують вихідну круглу заготовку тільки одного діаметра 140 мм. Завдяки цьому зменшується кількість технологічного інструменту (валків, оправок, лінійок) і скорочується час, що витрачається на налаштування стану.

Круглі штанги довжиною 9 ... 12 м проходять в три нитки по роликах в кожній з двох секційних печей високошвидкісного нагрівання, де вони нагріваються до 1200 ... 1250 ° С, після чого на ножицях заготовки розрізаються на мірні довжини 1,5 ... 3 м. З кожної печі заготовки подають до ножиць поперемінно з трьох ниток нагріву. Потім заготовка зацентровується з переднього торця ударом бойка пневматичного зацентровщика і надходить в приймальний жолоб двухвалкового прошивного стану.

Прошивний стан має діаметр валків 750 ... 950 мм, кут подачі до 18 °, частоту обертання валків 95 ... 190 хв ", потужність головного двигуна постійного струму 3600 кВт. Прошиті гільзи діаметром 141 мм і товщиною стінки 14 ... 19,5 мм, надходять на дев'ятиклетевий безперервний стан, де відбувається прокатка на довгій плаваючій оправці зі швидкістю 3,9 ... 6 м / с в останній кліті. На ділянці оправковитягувача управління витягують з чорною труби, після чого управління надходять у ванну для охолодження і потім до установки для нанесення мастила. Змащені управління подаються в жолоб перед безперервним станом. При необхідності огляду поверхні оправок вони з рольганга за витягувачем скидаються на відповідний рольганг і передаються на інспекційну ділянку. Після візуального огляду поверхні управління перекочуються на стіл для прийому оправок, звідти надходять на транспортний

рольганг, що подає остиглі оправлення на індукційний підігрів перед мастилом. Відбраковані оправлення скидаються в кишеню. Нагріті оправлення, що знаходяться в роботі, не вимагають індукційного підігріву і проходять через ґрати ванни охолодження.

Після охолодження оправок направляються до індукційної підігрівальної печі для підігріву. Під час передачі по ґратах задній кінець труби обрізається.

Дев'ятнадцятиклітьовий редуційний стан призначений для редукування з великим натягом, що забезпечує зменшення діаметра і товщини стінки труби. Стан обладнаний диференційно-груповим приводом, що включає два електродвигуни постійного струму потужністю 2900 кВт.

З редуційного стану прокатана труба виходить зі швидкістю до 12 м / с; її діаметр становить 45 ... 73 мм при товщині стінки 3,0 ... 6,0 мм, а максимальна довжина становить 135 м. Загальна витяжка на агрегаті досягає 100.

Летючі ножиці, розташовані за станом, ріжуть трубу на мірні довжини 16 ... 24 м без її зупинки, після чого труби надходять на холодильник і в проліт обробки.

На цій ділянці труби піддають правці на трубоправільних машинах, розрізають на мірні довжини, проводять гідравлічні випробування і дефектоскопію; частина труб направляють на термообробку.

В нагрівальній печі водою охолоджуються рами й заслінки, глисажні (подові) труби, а також фурмені пристрої. Витрата води на нагрівальні печі залежить від їхнього типу, продуктивності, величини злитків, що нагріваються і становить на 1 т від 0,3 - 0,5 м<sup>3</sup>, для нагрівальних колодязів у цехах блюмінгів до 8 м<sup>3</sup>, для нагрівальних печей при мелкосортних станах. Вода в нагрівальних колодязях і печах нагрівається на 8—15° і не забруднюється. Тому її звичайно не змішують з водою, що відходить від інших станів, і після охолодження на градирні використовують у системі оборотного циклу.

Основна маса води витрачається на охолодження валків і підшипників, щоб уникнути надмірного їхнього нагрівання при постійному зіткненні з



розпеченим металом; валки поливають водою з розташованих над ними дірчастих труб або ринв.

Водопостачання трубопрокатних цехів оборотне, з роздільною (через різні труби) подачею води: до нагрівальних печей — чистої води, до прокатних станів — забрудненої води. Вода також витрачається на охолодження масла й повітря (для великих електродвигунів) у закритих трубчастих холодильниках. Бажано, щоб температура охолодженої води була не вище 25° С.

Для охолодження валків станів, охолодження розкату, транспортування окалини використовується вода, що циркулює в системі оборотного циклу. Схема приведена на рисунку 1.1.

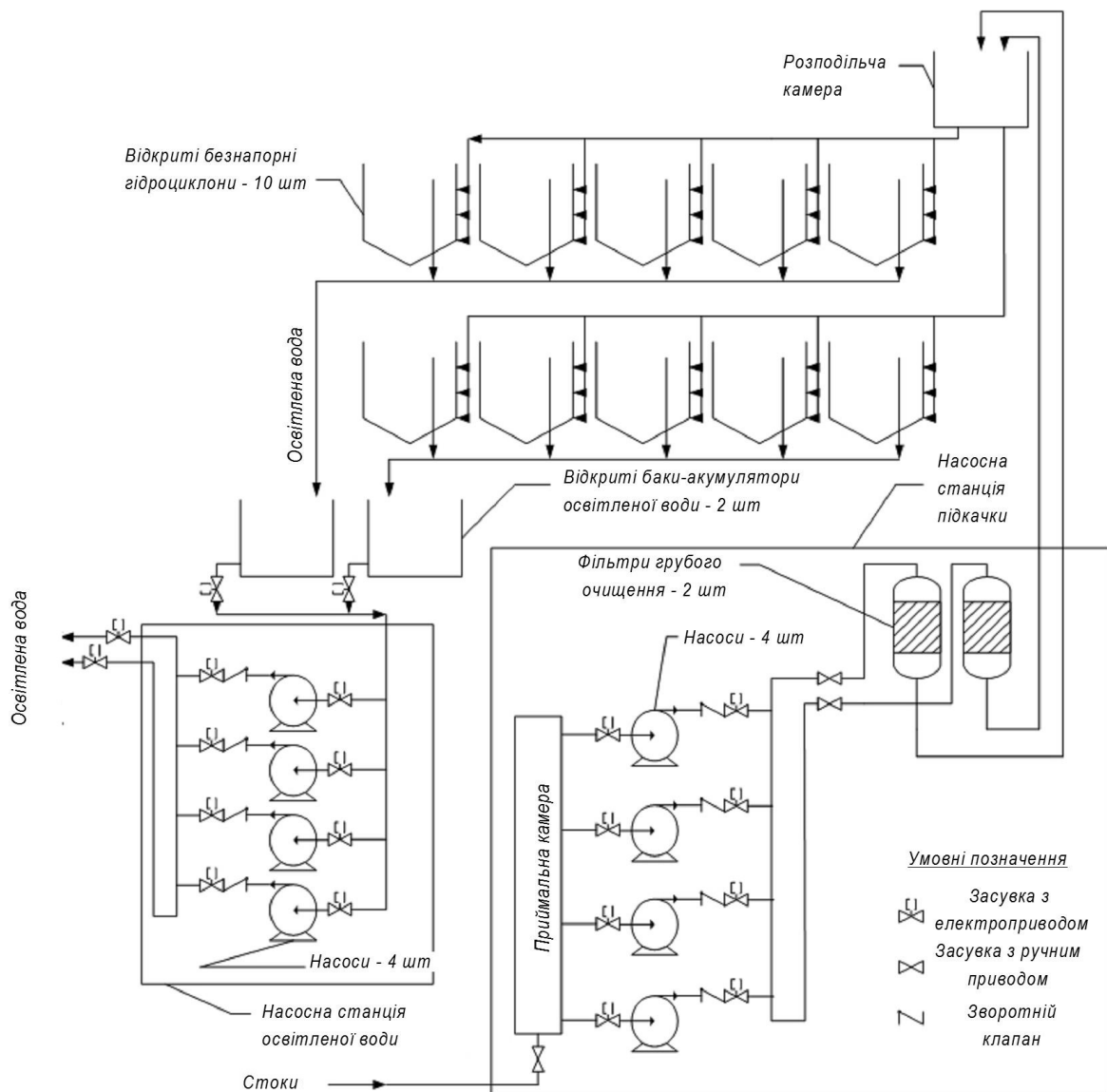


Рисунок 1.1 - Принципова схема оборотного циклу окалиновмістних стоків

Для всіх цехів з оборотним циклом водопостачання доцільним є вирішення питання з економії електроенергії на привод насосів, задіяних у схемі оборотного циклу окалиновмістних стоків.

Забруднена вода з цеху через колектор Ду 900мм, який розташований на глибині 14,00 м надходить у прийомну камеру насосної станції підкачування й насосами 1ГРТ1600/50 транспортується на відмітку +24,000 м на очисні спорудження, у ролі яких виступають відкриті безнапірні гідроциклони. До складу станції підкачування входить:

-приймна камера, що служить для збору забрудненої води з трубопрокатного цеху;

- чотири насоси підкачування типу 1 ГРТ 1600/50, для створення необхідного тиску;

- два фільтри грубого очищення води.

Очищена в гідроциклонах вода зливається в баки-акумулятори й насосами 300д70, які перебувають на станції освітленої води, подається в трубопрокатний цех. До складу станції освітленої води входять чотири насоси, які служать для створення необхідного тиску, який був втрачений при скиданні води в баки акумулятори.

Режимні показники роботи оборотного циклу й характеристики устаткування наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Витрати оборотної води споживачами цехів

№ п/п	Найменування стану	Витрата води, м <sup>3</sup> /год		
		Максимальна	Мінімальна	Середня
1	ТПА-30-102 безперервний	1200	500	977
2	прошивний	550	200	483
3	редукційний	450	120	230
4	калібрувальний	150	45	115
5	РАЗОМ:	2350	865	1805

Графік середньогодинних витрат води споживачами протягом середньої доби, узятих на підставі спостережень протягом року, наведено на рисунку 1.2.

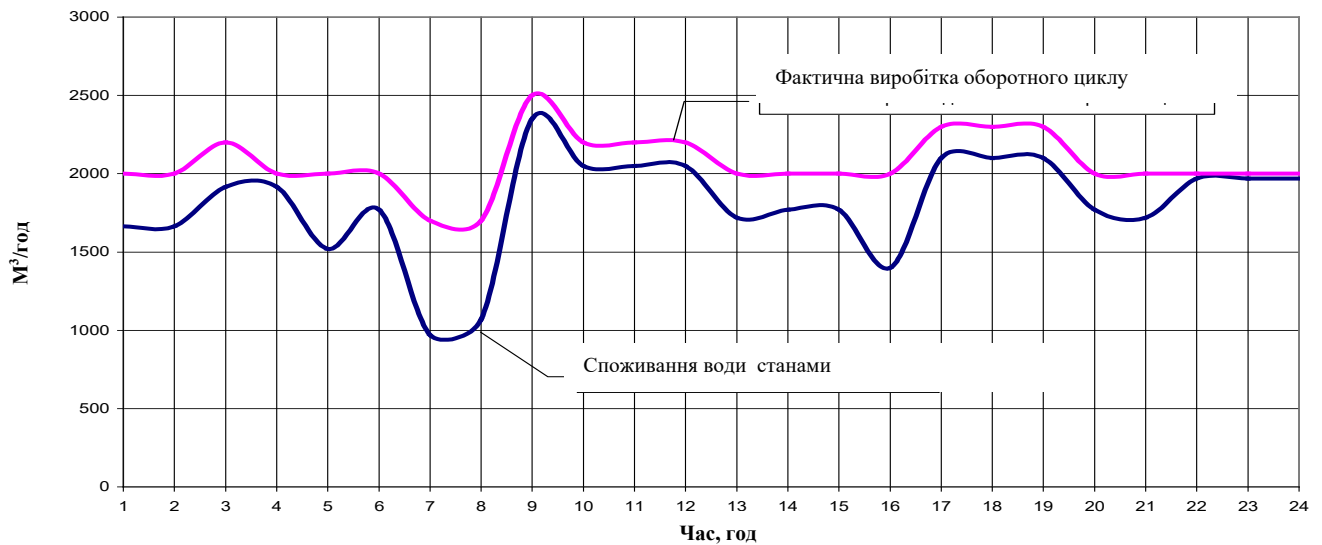


Рисунок 1.2 - Графіки середньогодинних витрат оборотної води технологічними споживачами й продуктивності оборотного циклу

Графіки споживання електроенергії насосними агрегатами насосної станції підкачування й насосної станції освітленої води наведено в таблицях 1.2 і 1.3

Таблиця 1.2 - Споживання електроенергії насосними агрегатами насосної станції освітленої води залежно від продуктивності в середню добу

Година	Споживання води, м <sup>3</sup> /год	Виробництво води, м <sup>3</sup> /год	Необхідний тиск у колекторі, кгс/см <sup>2</sup>	Фактичний тиск у колекторі, кгс/см <sup>2</sup>	Необхідна корисна потужність, кВт <sup>1</sup>	Фактична корисна потужність, кВт
1	2	3	4	5	6	7
1	1665	2000	2,6	2,8	211,534	273,640
2	1665	2000	2,6	2,8	211,534	273,640
3	1915	2200	2,6	2,7	243,295	290,254

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7
4	1915	2000	2,6	2,8	243,295	273,640
5	1520	2000	2,6	2,8	193,112	273,640
6	1770	2000	2,6	2,8	224,873	273,640
7	970	1700	2,6	2,9	123,236	240,901
8	1070	1700	2,6	2,9	135,940	240,901
9	2350	2500	2,6	2,6	298,561	317,618
10	2050	2200	2,6	2,7	260,447	290,254
11	2050	2200	2,6	2,7	260,447	290,254
12	2050	2200	2,6	2,7	260,447	290,254
13	1720	2000	2,6	2,8	218,521	273,640
14	1770	2000	2,6	2,8	224,873	273,640
15	1770	2000	2,6	2,8	224,873	273,640
16	1400	2000	2,6	2,8	177,866	273,640
17	2100	2300	2,6	2,6	266,799	292,208
18	2100	2300	2,6	2,6	266,799	292,208
19	2100	2300	2,6	2,6	266,799	292,208
20	1770	2000	2,6	2,8	224,873	273,640
21	1720	2000	2,6	2,8	218,521	273,640
22	1970	2000	2,6	2,8	250,283	273,640
23	1970	2000	2,6	2,8	250,283	273,640
24	1970	2000	2,6	2,8	250,283	273,640
Порів.	1806,250	2066,667	2,600	2,758	229,479	277,834

Регулювання продуктивності насосних агрегатів по проекту здійснюється засувками 30ч915бр Ду500. Максимальне навантаження на гідроциклони становить 250 м<sup>3</sup>/годину. Проектне навантаження рівне 320 м<sup>3</sup>/ годину



Потужність розрахована за формулою:

$$N = \frac{G \cdot \Delta H \cdot 101325}{3600 \cdot \cos \varphi \cdot \eta \cdot 1000}, \quad (1.1)$$

де  $G$  – витрата води через насосну станцію, м<sup>3</sup>/год;

$\Delta H$  - напір, що розвивається насосними агрегатами, Па;

$\varphi$  - кут зрушення між синусоїдами струму й напруги.  $\cos \varphi$  прийнятий за паспортним даними двигунів і дорівнює 0,9;

$\eta$  - ККД насоса. Прийнятий на підставі паспортних даних 0,64.

Зміною рівня в баках-акумуляторах вирішено знехтувати внаслідок його незначності.

У зв'язку з відсутністю манометрів на нагнітальних патрубках насосних агрегатів не було можливості врахувати втрати енергії при дроселюванні потоку в запірній арматурі, яка використовується для регулювання.

Таблиця 1.3 - Споживання електроенергії насосними агрегатами насосної станції підкачування залежно від продуктивності в середню добу

Година	Фактичний прихід стоків, м <sup>3</sup> /год	Необхідний тиск у колекторі, кгс/см <sup>2</sup>	Фактичний тиск у колекторі, кгс/см <sup>2</sup>	Необхідна потужність на привод насосів, кВт	Фактична потужність на привод насосів, кВт
1	2	3	4	5	6
1	2000	4,7	4,7	382,388	459,324
2	2000	4,7	4,7	382,388	459,324
3	2200	4,7	4,7	439,803	505,257
4	2000	4,7	4,7	439,803	459,324
5	2000	4,7	4,7	349,087	459,324
6	2000	4,7	4,7	406,502	459,324
7	1700	4,7	4,7	222,772	390,426
8	1700	4,7	4,7	245,739	390,426

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6
9	2500	4,7	4,7	539,706	574,155
10	2200	4,7	4,7	470,807	505,257
11	2200	4,7	4,7	470,807	505,257
12	2200	4,7	4,7	470,807	505,257
13	2000	4,7	4,7	395,019	459,324
14	2000	4,7	4,7	406,502	459,324
15	2000	4,7	4,7	406,502	459,324
16	2000	4,7	4,7	321,527	459,324
17	2300	4,7	4,7	482,291	528,223
18	2300	4,7	4,7	482,291	528,223
19	2300	4,7	4,7	482,291	528,223
20	2000	4,7	4,7	406,502	459,324
21	2000	4,7	4,7	395,019	459,324
22	2000	4,7	4,7	452,434	459,324
23	2000	4,7	4,7	452,434	459,324
24	2000	4,7	4,7	452,434	459,324
Середнє значення	2066,667	4,700	4,700	414,827	474,635

Існуюча схема водопостачання має наступні недоліки:

– Енергія стовпа води, яка піднята на висоту +24,000 м насосами насосної станції підкачування, губиться при розриві струменя в баках-акумуляторах.

– Для регулювання продуктивності використовується запірна арматура великого діаметра, що веде до її передчасного зношування й підвищенню ймовірності відмови.

– Регулювання за допомогою запірної арматури не дозволяє точно збалансувати продуктивність обох насосних станцій, що веде до перевитрати води й електроенергії.

– Регулювання за допомогою запірної арматури енергетично не вигідне, оскільки звичайно при цьому губиться від 5 до 10 % енергії.

– Не вирішене завдання регулювання продуктивності оборотного циклу відповідно до потреб виробництва, у результаті чого відбувається перевитрата води й, як наслідок, перевитрата електроенергії на її транспортування.

Зазначені недоліки приводять до перевитрати електроенергії на привод насосних агрегатів, збільшенню собівартості продукції.

## 1.2 Аналіз можливих заходів щодо підвищення енергоефективності оборотного циклу схематичними змінами

Завдання використання стовпа води не може бути вирішене шляхом герметизації баків-акумуляторів і роботи їх під тиском стовпа води 20 м, оскільки по-перше конструкція баків не припускає їхньої роботи під тиском, а по-друге ці баки розташовані безпосередньо біля пішохідних і транспортних магістралей і перевод їх на роботу під тиском може створити небезпеку для минаючих людей і проїжджаючого транспорту. Тому освітлену воду з гідроциклонів необхідно подавати безпосередньо у всмоктувальний колектор насосів освітленої води. При можливій поломці насосних станцій щоб уникнути попадання повітря в усмоктувальний колектор і зриву подачі, до трубопроводу освітленої води від гідроциклонів до всмоктувального колектора необхідно підключити акумулюючі ємності. У зв'язку з тим, що на станції є запас очисних потужностей, у якості акумулюючих ємностей, пропонується використовувати гідроциклони №№1,2. При цьому пропускна здатність очисних споруджень зменшиться з 3200 м<sup>3</sup>/год до 2560 м<sup>3</sup>/год. Оскільки граничне значення витрати

води через очисні спорудження становить 2500 м<sup>3</sup>/год, то таке рішення представляється припустимим. Схема перемикання трубопроводів для здійснення цього рішення представлена на рисунку 1.3

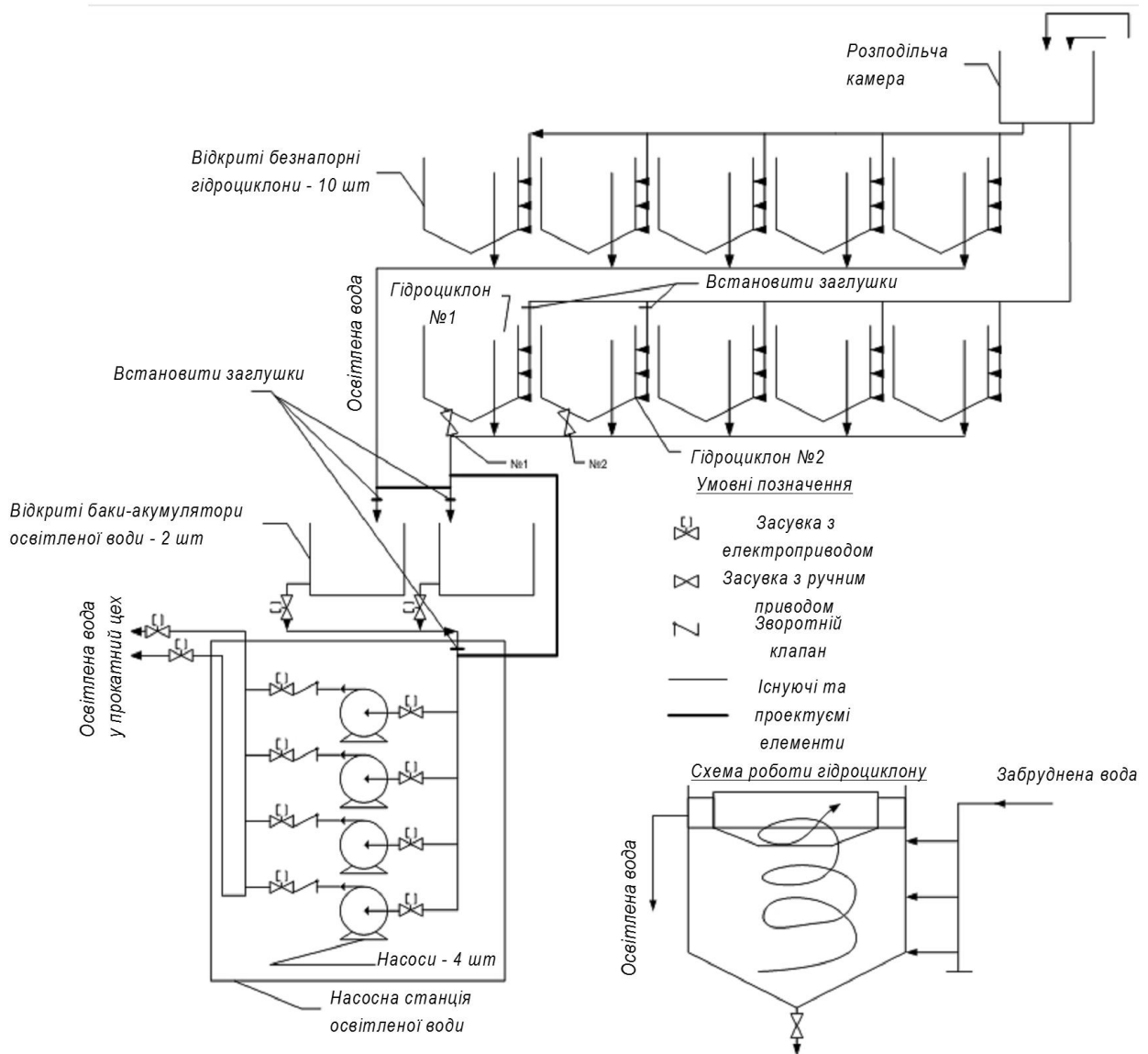


Рисунок 1.3 - Необхідні перемикання в схемі оборотного циклу

У відповідності зі схемою, забруднена вода надходить на гребінку, направляючи потік за дотичною до окружності циліндричної частини корпусу гідроциклону для виділення суспензій, які періодично зливаються у вигляді пульпи через засувку у вершині конуса апарата. Освітлена вода піднімається й через зливальний поріг попадає в кільцеву ринву чистої води, звідки через трубопровід попадає в збірний колектор. Для реалізації схеми гідроциклони №№1,2 заглишками відключаються від колектора подачі забрудненої води. У



нижню частину конуса врізаються трубопроводи із засувками №№1 і 2 і підключаються до одного із двох колекторів освітленої води. Два колектори освітленої води з'єднуються перемичкою, а нижче перемички заглушками відключаються від баків-акумуляторів.

Баки-акумулятори виводяться з експлуатації. До колектора освітленої води підключається трубопровід, що з'єднує його зі станційним усмоктувальним колектором.

Схема працює в такий спосіб. Для заповнення гідроциклонів №№1,2, що стали накопичувачами, включається подача забрудненої води від насосної станції підкачування. Запірна арматура насосної станції освітленої води при цьому закрита й насоси зупинені. Вода надходить на очищення в гідроциклони, після освітлення через колектори освітленої води й засувки №№1,2 заповнює накопичувачі. При досягненні в них робочого рівня включаються насоси насосної станції освітленої води, відкривається запірна арматури у працюючих насосів і освітлена вода подається в прокатний цех.

### 1.3 Аналіз методів зниження тиску в нагнітальному колекторі

При подачі у всмоктувальний колектор насосної станції води з підвищеним тиском, тиск у нагнітальному колекторі насосної станції також зростає. Для виконання режимних параметрів роботи устаткування й досягнення економії електроенергії цього допускати не можна, тому для зниження тиску в нагнітальному колекторі використовуються наступні методи:

- регулювання режиму за допомогою засувки на нагнітанні;
- обточування робочого колеса насоса;
- зміна частоти обертання робочого колеса насоса.

Обточування робочого колеса є необоротним процесом і насосний агрегат після неї починає працювати в нерозрахованому режимі поза своїми

гідравлічними характеристиками. Тому даний метод є небажаним, і надалі розглядатися не буде.

Розглянемо спосіб регулювання продуктивності за допомогою дроселювання потоку засувкою на нагнітанні й зміною обертів робочого колеса насоса за допомогою напівпровідникового перетворювача частоти.

Можливість керування частотою обертання короткозамкнених асинхронних електродвигунів була доведена відразу після їхнього винаходу. Реалізувати цю можливість вдалося лише з появою силових напівпровідникових приладів — спочатку тиристорів, а пізніше транзисторів IGBT. У цей час в усьому світі широко реалізується частотний спосіб керування асинхронною машиною, який сьогодні розглядається не тільки з погляду економії енергії, що споживається, але й з погляду вдосконалювання керування технологічним процесом. У промислово розвинених країнах техніка застосування частотнорегулюючих приводів використовується більш 30 років. Протягом цього часу закладалися наукові й методичні основи, розроблялися й удосконалювалися технічні засоби керування електроприводом, удосконалювалися технологічні процеси й устаткування, коректувалися навчальні курси для підготовки фахівців. Накопичений досить великий досвід у прийнятті технічних рішень при створенні систем, що використовують цей тип приводів, ряд рішень стандартизований. Однак, на жаль, це відноситься до стану справ за рубежом. У нашій країні склалася трохи інша ситуація. Частотнорегулюючі приводи, що відповідають вимогам надійності й електромагнітної сумісності з електричними мережами, з'явилися на українському ринку порівняно пізно, та й ціна їх в умовах ринкової економіки досить висока. Наявний не завжди позитивний досвід застосування тиристорних приводів визначив обережне відношення до використання сучасних систем, а щодо очікуваного економічного ефекту від їхнього впровадження багато експлуатаційників виражають недовіру. Дійсно, враховуючи порівняно високу вартість напівпровідникових перетворювачів, які застосовуються для регулювання частоти обертання асинхронних приводів, на

сьогоднішній день найбільш важливим є питання повернення засобів, вкладених у їхнє впровадження. Тому особлива увага приділяється порівнянню енергетичних втрат у приводах нагнітачів з різними видами керування. Для ілюстрації причин, за рахунок чого й коли з'являється можливість економії енергії, яка споживається приводами насосів, і що необхідно робити для того, щоб цю економію одержати, не порушуючи загальний хід технологічного процесу, візьмемо узагальнену технологічну схему системи, що забезпечує подачу води в мережу споживачів з постійним заданим тиском (рисунок 1.4).

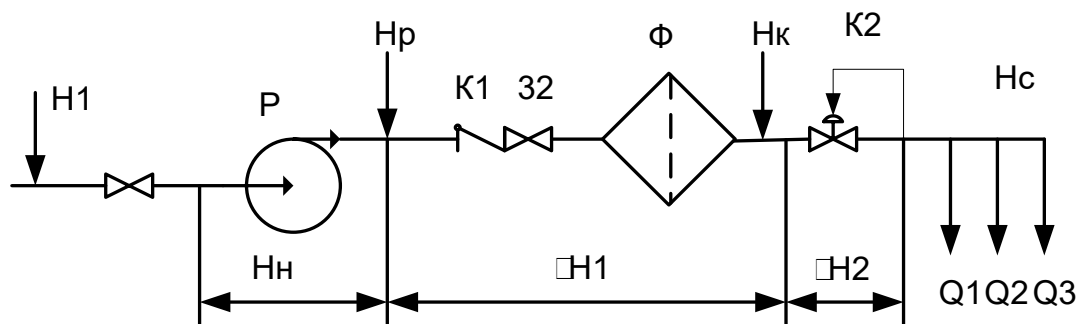


Рисунок 1.4 Приклад спрощеної технологічної схеми

Аналогічний підхід можна прийняти і в інших технологічних схемах, де в якості речовини, що транспортується, може бути рідина або газ. Основними елементами схеми є запірні технологічні засувки 31 і 32, насосний агрегат  $P$ , зворотний клапан  $ДО_1$ , фільтр води  $\Phi$  і регулювальний клапан  $K_2$ . В цій схемі можна виділити й основні технологічні параметри, серед яких  $H_1$  — напір, що створюється джерелом подачі води,  $H_p$  — напір, одержуваний після насосного агрегату,  $H_k$  — напір перед регулювальним клапаном,  $H_c$  — напір у мережі споживачів і  $Q_1 - Q_3$  — витрати води споживачами мережі. Крім того, можна виділити напір  $H_n$ , що розвивається насосним агрегатом, а також втрати напору на елементах системи, що розташовані між насосним агрегатом  $P$  і мережею споживачів:  $\delta H_1$  — втрати напору на засувці 32 і водяному фільтрі й  $H_2$  — втрати напору на регулювальному клапані.

Розглядаючи енергетичні характеристики технологічного процесу об'єкта, можна написати, що необхідна (корисна) енергія для подачі води споживачам може бути розрахована як:

$$W_c = H_c \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) \quad (1.2)$$

Для нормальної роботи мережі частіше всього необхідно створення постійного значення напору  $H_c$ . Величини витрат  $Q_1$ -  $Q_3$  визначаються споживачами і протягом часу можуть змінюватися.

Гідравлічна енергія, що розвивається насосним агрегатом, може бути отримана як:

$$W_n = H_n \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) \quad (1.3)$$

де сума витрат представляє собою загальну витрату води мережі  $Q_c$ .

В ідеальному варіанті бажано, щоб зберігалась рівність  $W_c$  і  $W_n$ . Насправді між насосним агрегатом та мережею встановлені елементи зі своїми гідравлічними опорами, на яких губиться частина напору, що розвивається насосним агрегатом

$$H_e = H_1 + H_2. \quad (1.4)$$

Таким чином, втрати енергії на технологічне забезпечення параметрів рідини, що перекачується, можна визначити як:

$$W_e = H_e \cdot Q_c. \quad (1.5)$$

Отож, для підтримання заданих технологічних параметрів мережі насос повинен розвивати гідравлічну потужність, рівну:

$$W_n = H_c \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) + H_e \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3). \quad (1.6)$$

Останній вираз показує, що втрати енергії в технологічному процесі залежать від витрати мережі (технологічного навантаження), що визначається



споживачем, і втрат напору на устаткуванні насосної станції  $H_6$ , які визначаються гідравлічним опором елементів схеми. В загальному випадку оцінити ці втрати напорі можна, порівнявши показання манометрів перед напірною засувкою 32 і манометра в мережевому трубопроводі. Чим більше різниця в їх показаннях, тим більше втрат енергії має система.

Для організації технологічного процесу з мінімальними енергетичними втратами необхідно, у першу чергу, знизити втрати напорі між трубопроводом насосного агрегату й мережею споживачів -  $H_6$ . Тепер розглянемо роботу технологічного процесу, з погляду зміни параметрів навантаження мережі  $Q_c$ . Для цього скористаємося відомими  $Q-H$  характеристиками для насосних агрегатів і мережі (рисунок 1.5).

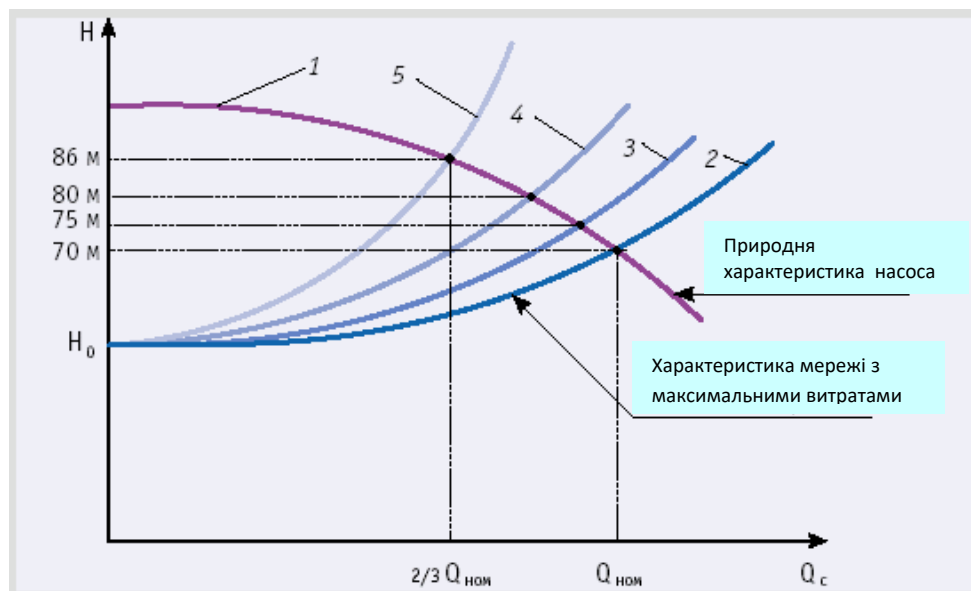
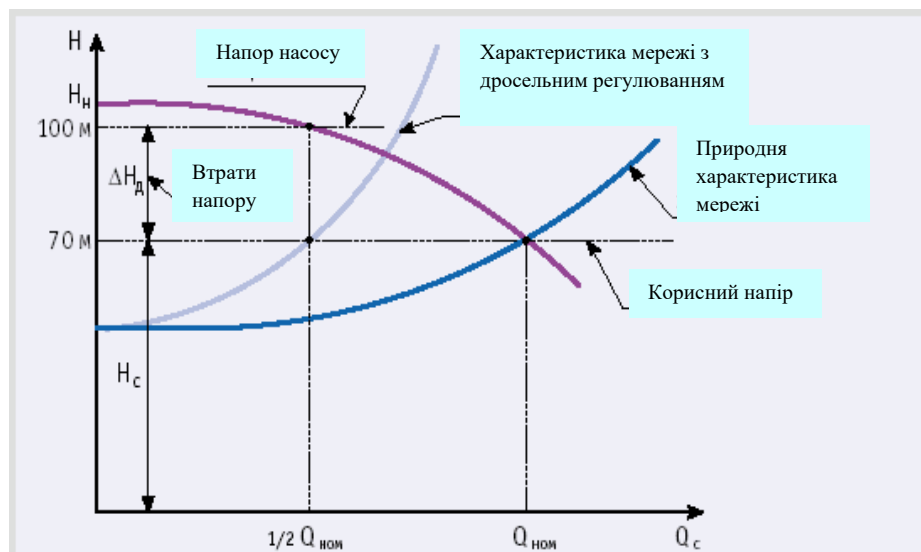


Рисунок 1.5 Характеристики насосного агрегату й мережі без регулювання тиску

Крива 1 відповідає напорній характеристиці насосного агрегату, а крива 2 — гідравлічній характеристиці мережі, де  $H_0$  - необхідний статичний напір мережі. Точка перетинання цих характеристик є ідеальною розрахунковою точкою спільної роботи насосного агрегату і мережі ( $Q_{ном}$ ). При зміні конфігурації мережі внаслідок підключення або відключення споживачів або зміні споживання води за допомогою запірної арматури, встановленої

безпосередньо на водоспоживаючому устаткуванні, міняється і її гідравлічна характеристика - лінії 3-5. Відповідно будуть зміщатися точки перетинання характеристик. Як видно з рисунка, зі збільшенням витрати зменшується тиск у мережі. Крім того, у процесі функціонування залежно від режимів роботи системи може мінятися тиск перед насосом, який створюється джерелом водопостачання. Зміни цього тиску також відбиваються на величині тиску в мережі споживачів. Такий характер взаємозв'язку параметрів вимагає установки в системі дросельних регулюючих елементів, регулювальних клапанів (як правило, їхню роль виконують напірні засувки агрегатів). Ці елементи створюють додатковий гідравлічний опір і дозволяють забезпечити стабільний тиск у мережному трубопроводі. При використанні дросельних елементів відбувається розподіл напору на елементах системи. Цей розподіл напору приведений на рисунку 1.6, де  $H_D$  — спадання напору на дросельному елементі.



Риунок 1.6 - Характеристики насосного агрегату й мережі з дросельним регулюванням

Для підтримки заданого тиску в мережному трубопроводі при зміні витрати рідини доводиться змінювати гідравлічний опір регулюючого елемента. При цьому загальна гідравлічна характеристика буде мати більш крутий вид. Величина  $H_D$  з таким регулюванням неухильно збільшується.

Таким чином, чим глибше проводиться дроселювання регулюючим елементом, тим більше енергетичних втрат має весь технологічний процес. На величину втрат при дросельному регулюванні впливає не тільки регулюючий елемент: найчастіше на етапі проектування вибирається насосний агрегат з певним запасом напору, а при заміні насосних агрегатів нове обладнання може мати трохи завищені напірні характеристики. Крім того, діапазон зміни вхідних тисків (перед всмоктувальним патрубком насосного агрегату) впливає на величину тиску за насосним агрегатом. Усі ці обставини приводять до того, що втрати енергії в ході технологічного процесу стають досить великими, що досягають 45 і більш відсотків від номінальної потужності агрегату.

Для рішення завдання мінімізації втрат, пов'язаних з регулюванням тиску в мережі, необхідно виключити додаткові гідравлічні опори на ділянці від насосного агрегату до мережного трубопроводу, тобто необхідно повністю відкрити всю запірно-регулюючу арматуру. Це можна зробити, якщо процес регулювання тиску передати насосному агрегату. Теорія роботи нагнітачів (насосів і вентиляторів) доводить, що зміна частоти обертання приводу нагнітача змінює його напірні характеристики. Крім того, напір, що створюється нагнітачем, пропорційний квадрату частоти обертання агрегату.

Зміна напірних характеристик насосного агрегату при зміні частоти обертання ілюструє рисунок 1.7, на якому крива 1 відповідає номінальній (при номінальній частоті обертання приводу) напірній характеристиці, а криві 2-4 — напірним характеристикам при зниженій частоті обертання. Якщо організувати роботу приводу насосного агрегату таким чином, щоб він при зміні параметрів технологічного процесу (витрати в мережі й тиску на вході агрегату) змінював частоту обертання, то в підсумку можна без істотних втрат енергії стабілізувати тиск у мережі споживачів. При такому способі регулювання виключаються втрати напору (немає дроселюючих елементів), а одже, і втрати гідравлічної енергії.

Спосіб регулювання тиску в мережі шляхом зміни частоти обертання приводу насосного агрегату знижує енергоспоживання ще й з іншої причини.

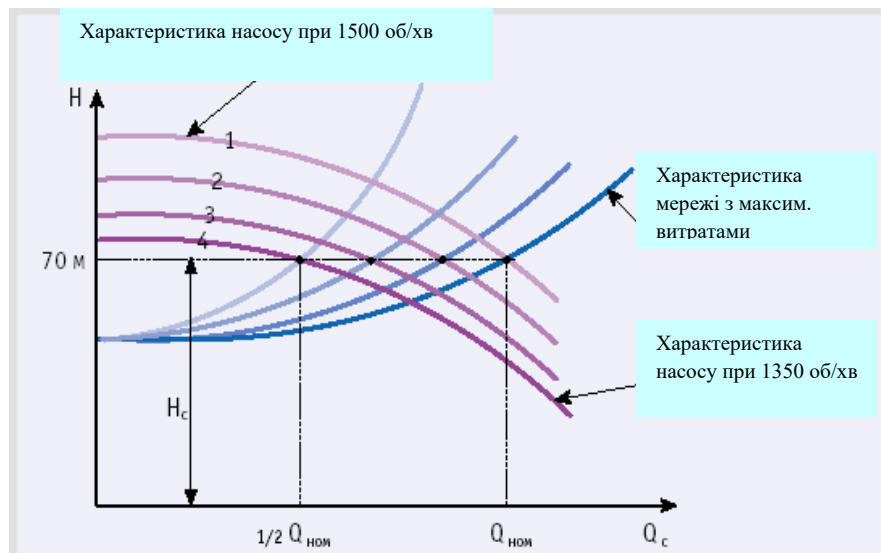


Рисунок 1.7 - Характеристики насосного агрегату й мережі з частотним регулюванням

Насос, як пристрій перетворення енергії, має свій коефіцієнт корисної дії — відношення механічної енергії, прикладеної до вала, до гідравлічної енергії, що одержується в напірному трубопроводі насосного агрегату. Характер зміни коефіцієнта корисної дії насоса  $\eta_n$  залежно від витрати рідини  $Q$  при різних частотах обертання представлено на рисунку 1.8. Відповідно до теорії подібності максимум коефіцієнта корисної дії зі зменшенням частоти обертання трохи знижується й зміщується вліво.

Аналіз необхідної зміни частоти насосного агрегату при зміні витрати в мережі показує, що зі зменшенням витрати потрібно зниження частоти обертання. Якщо розглянути роботу агрегату для витрати менше номінального (вертикальні лінії А і В), то для цих режимів раціонально працювати на зниженій частоті обертання. У цьому випадку ККД насоса вище, ніж при роботі на номінальній частоті обертання.

Таким чином, зниження частоти обертання відповідно до технологічного навантаження дозволяє не тільки заощаджувати енергію, що споживається, на виключенні гідравлічних втрат, але й одержати економічний ефект за рахунок підвищення коефіцієнта корисної дії самого насоса — перетворення механічної енергії колеса насоса в енергію потоку рідини. Застосування частотного

регулювання приводів дозволяє суттєво зменшити експлуатаційні витрати, пов'язані з обслуговуванням агрегатів і систем. Наприклад, зниження перепаду тиску між всмоктувальним і напірним патрубками насосного агрегату збільшує термін служби чепцевих ущільнень, практично виключає гідравлічні удари й забезпечує стабільність тисків у трубопроводах мереж, а також мінімізує витрати на їхнє обслуговування.

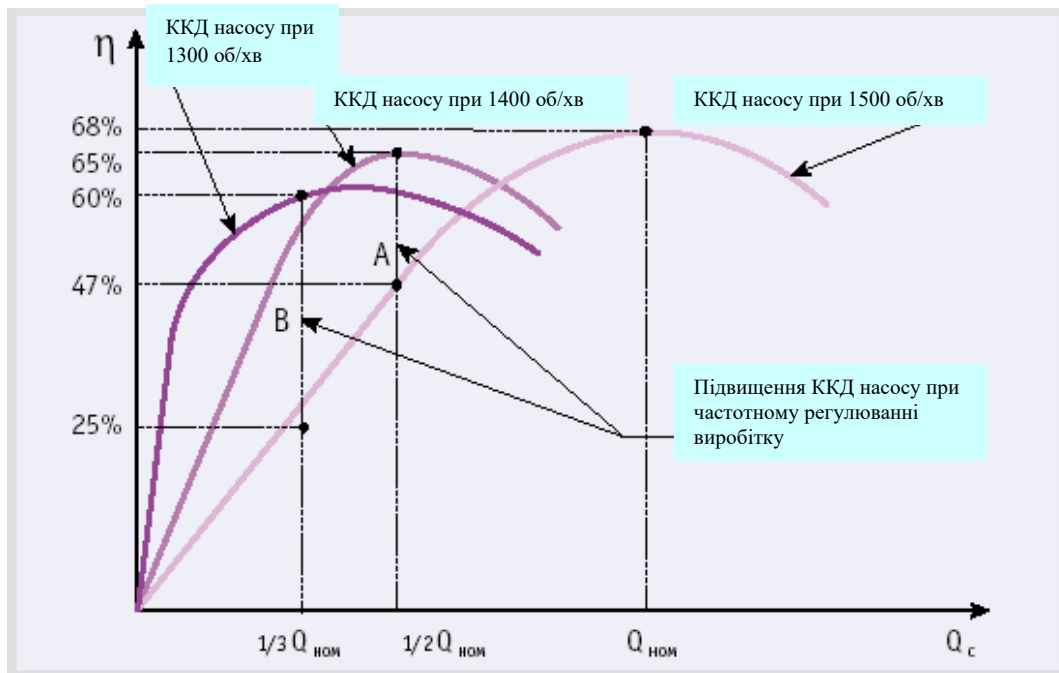


Рисунок 1.8 - Зміна ККД частотнорегулюемого насосного агрегату при зміні продуктивності

Представлені результати теоретичних і практичних досліджень визначили необхідність широкого впровадження частотнорегульованих приводів у технологічних системах у нашій країні. Однак слід зазначити, що установка тільки перетворювача частоти дозволяє одержати лише малу частину можливого ефекту від впровадження. Говорячи про економічну ефективність, можна сказати, що строк окупності установки частотно-регульованих приводів коливається від 1 до 1,4 роки й залежить від рівномірності завантаження насосних агрегатів. Чим більш нерівномірне завантаження, тим скоріше окупиться установка частотно-регульованого привода.

Для досягнення такого ефекту при проектуванні систем із частотним регулюванням застосовують сучасні схемні рішення й енергоефективні алгоритми керування устаткуванням. До складу системи входять перетворювач частоти Siemens і програмувальний логічний контролер. Контролер забезпечує необхідний алгоритм керування насосними агрегатами й залежно від режиму роботи насосів робить вибір агрегату ( за відпрацьованими годинами або встановленим ключем керування), підключення допоміжного агрегату до шин перетворювача (два агрегати від одного перетворювача) або безпосередньо в мережу. Крім того, контролер формує аварійні й попереджувальні повідомлення при відхиленні технологічних параметрів і параметрів приводів від встановлених норм.

Практика застосування частотних перетворювачів для керування насосами доводить доцільність не просто включення перетворювача для керування агрегатом, а створення спеціалізованих систем керування технологічним процесом. Саме такий підхід дозволяє одержати економічний ефект не тільки від зниження електричної потужності, що споживається з мережі, але й досягти істотного зменшення експлуатаційних витрат, поліпшення умов праці й збільшення терміну служби устаткування.

Сучасні перетворювачі частоти дозволяють одержувати більш 20 параметрів стану електропривода. Відповідна обробка цих параметрів дозволяє проводити глибоке діагностування як устаткування системи, так і процесів, що протікають. З'являється можливість не тільки реагувати на виниклу аварію, але й попереджати її, що для енергетичних об'єктів значно важливіше.

Створення систем з частотнорегулюючими приводами, у яких керування частотою здійснюється поряд з контролем цілого комплексу різних технологічних параметрів, дозволяє знизити не тільки споживання електричної енергії. До складу устаткування системи входять перетворювачі частоти, що керують частотою обертання насосів, програмувальний логічний контролер і допоміжне устаткування. Керування перетворювачами частоти здійснюється за їхніми дискретними і аналоговими входами, а читання основних параметрів

приводів — через промислову мережу з інтерфейсом RS-485. Програмне забезпечення перетворювачів дозволяє підключати до 32 пристроїв до цієї мережі. Зв'язок контролера з перетворювачами здійснюється через загальноприйняті протоколи.

Про свій стан перетворювач інформує контролер через вбудовані дискретні й аналогові виходи. Використання мережних можливостей перетворювача в цьому випадку обумовлене вимогами підвищеної надійності до керування насосними агрегатами. Вибір частоти обертання агрегатів проводиться контролером за даними, одержуваними від датчиків технологічних параметрів устаткування. Уся інформація, що обробляється контролером, може передаватися через промислову мережу або модем для керування з більш високого рівня.

При створенні простих систем, керуючих нескладним технологічним процесом, можуть використовуватися й більш прості технічні рішення на основі використання мікроконтролерів.

У таких системах процес регулювання технологічного параметра переданий перетворювачу частоти (як правило, з вбудованим ПІД-регулятором), а керування агрегатами — мікроконтролеру. Подібні рішення досить дешеві, однак забезпечують необхідні алгоритми переключення комутаційної апаратури, реалізують автоматичне введення резерву агрегатів і необхідну сигналізацію для нормальної експлуатації системи.

Підводячи підсумок, можна зробити ряд висновків. Застосування частотнорегулюючих приводів для насосів і вентиляторів у технологічних процесах дозволяє знизити енергоспоживання технологічним устаткуванням.

Перед початком впровадження рекомендується провести техніко-економічне обґрунтування, що дозволяє визначити не тільки строки окупності від впровадження, але й правильно організувати технологічний процес із урахуванням можливостей приводів із частотним регулюванням.

Доцільне використання перетворювачів частоти не в якості елементів системи керування конкретного агрегату, а як складових комплексних

системних рішень з підключенням широкого набору засобів автоматизації технологічного процесу.

Такі рішення дозволять одержати додатковий ефект, який завідомо більший простої економії електричної енергії.

На закінчення треба додати, що вже сьогодні в нашій країні існує досвід впровадження й експлуатації систем із частотним регулюванням. Пророблені ідеологічні, організаційні й схемотехнічні аспекти їх застосування.

Розроблені й апробовані різні методики визначення економічного ефекту від впровадження частотнорегулюючих приводів, з розрахунку необхідної потужності перетворювача. Крім того, на ринку України представлена велика кількість перетворювачів частоти в самому широкому діапазоні потужностей, організоване їхнє обслуговування й технічне навчання.

Як показує статистика, з кожним роком кількість впроваджуваних систем росте.

Слід зазначити, що на підставі вищевикладеного можна зробити висновок про доцільність застосування способу регулювання насосної станції освітленої води за допомогою транзисторних перетворювачів частоти.

Можлива оцінка економії електроенергії на привод насосів освітленої води наведена нижче:

Потужність, що споживається насосом, визначається за формулою, Вт:

$$N = \frac{G \cdot \Delta H}{3600 \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (1.7)$$

де  $G$  – продуктивність насоса, м<sup>3</sup>/год;

$\Delta H$  - напір, що розвивається насосом, Па;

$\cos \varphi$  - косинус кута зсуву фаз між синусоїдами струму й напруги, приймається за паспортними даними двигунів;

$\eta$  - повний ККД насоса. Приймається на підставі паспортних даних на агрегат.



Напір, що розвивається насосом, визначається за формулою, Па:

$$\Delta H = H_i - H_a \quad (1.8)$$

де  $H_n$  – тиск у нагнітальному патрубку, Па

$H_e$  – тиск в всмоктувальному патрубку, Па

Тиск у всмоктувальному колекторі при підключених баках-акумуляторах  $H_{e1}=0,4$  кгс/см<sup>2</sup>(40530 Па), а при підключених накопичувачах  $H_{e2}=2,4$  кгс/см<sup>2</sup> (243180 Па). Таким чином, потужність, зекономлена при використанні даної схеми визначиться за формулою, кВт:

$$\Delta N = \frac{10^{-3} \cdot G \cdot (H_{e2} - H_{e1})}{3600 \cdot \cos \phi \cdot \eta}, \quad (1.9)$$

$$\Delta N = \frac{10^{-3} \cdot 2066,667 \cdot (243180 - 40530)}{3600 \cdot 0,9 \cdot 0,64} = 201,97.$$

де  $G$  – продуктивність насоса, прийнята як середнє виробництво освітленої води (таблиця 1.3) м<sup>3</sup>/год;

$H_{e2}$  – напір у всмоктувальному колекторі насосної станції при підключених накопичувачах, Па;

$H_{e1}$  - напір у всмоктувальному колекторі насосної станції при підключених баках-акумуляторах, Па;

$\cos \phi$  - косинус кута зсуву фаз між синусоїдами струму й напруги.

Прийнято 0,9 відповідно до даних, наведених у паспорті двигуна;

$\eta$  - повний ККД насоса, прийнято 0,64 відповідно до даних паспорта на насосний агрегат.

Фактична економія буде трохи нижче за рахунок поправок на зниження рівня в накопичувачах і тертя в трубопроводах.

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ можливості підвищення ефективності споживання електричної енергії обладнанням оборотного водопостачання ПрАТ «Дніпроспецсталь»

### 2.1 Гідравлічний розрахунок тракту освітленої води

Як впливає из вищевикладеного, для усунення зазначених недоліків необхідно вирішити два завдання:

– Використовувати енергію стовпа води, створеного насосними агрегатами насосної станції підкачування.

Запропонувати схему надійного й економічного регулювання продуктивності насосних агрегатів обох насосних станцій.

Розрахунок проводиться за методикою приведенною нижче.

Трубопровід розбивається на розрахункові ділянки, конструктивні елементи для кожної ділянки визначаються за натурними вимірами, витрати води визначаються за режимними параметрами, для кожної ділянки визначаються втрати тиску, сумарні втрати тиску у мережі визначаються для найбільш не вигідного випадку, т.т. для найбільшої суми втрат тиску в кінцевій точці.

Розрахункова схема тракту освітленої води низького тиску ( від виходу з гідроциклонів до всмоктувального патрубку насосів) наведена на рисунку 2.1, конструктивні характеристики ділянок трубопроводу – діаметр, довжина, витрата, сума місцевих опорів – наведені в розрахунковій таблиці. Розрахунок проводиться окремо для кожного ланцюга АВ (ділянки 1,2,3,4,5,6) і СВ(ділянки 13,14,15,16). Той ланцюг, сума опорів на якому виявиться більшою, буде вважатися магістральноим й буде брати участь у подальших розрахунках.

Швидкість у трубопроводі розраховується за формулою, м/с:

$$V = \frac{G}{F}, \quad (2.1)$$

де  $G$  – розрахункова витрата води через ділянку, м<sup>3</sup>/с;

$F$  – перетин трубопроводу на ділянці, обумовлений діаметром умовного проходу, м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт гідравлічного тертя для розрахунків лінійних втрат розраховується за універсальною формулою Альтшуля:

$$\lambda = 0.25 \cdot \left( \frac{k}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0.11}, \quad (2.2)$$

де  $k$  – коефіцієнт шорсткості (для старих сталевих труб прийнято 1,150мм [4]);

$d$  – внутрішній діаметр трубопроводу, прийнятий рівним діаметру умовного проходу, мм

$\text{Re}$  – критерій Рейнольдса.  $\text{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu}$ , де  $\nu = 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с - коефіцієнт кінематичної в'язкості для води. Прийнятий при температурі води 20°C.

Лінійні втрати тиску розраховані за рівнянням Дарси-Вейсбаха, Па:

$$\Delta P_{\xi} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2 \cdot \rho}{2}, \quad (2.3)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного тертя;

$l$  – довжина ділянки, м;

$d$  – внутрішній діаметр трубопроводу ділянки, м;

$V$  – швидкість руху води на ділянці, м/с;

$\rho = 998$  кг/м<sup>3</sup> - щільність води при 20°C.

Втрати тиску в місцевих опорах розраховуються за формулою, Па:

$$\Delta P_i = \frac{V^2 \cdot \rho}{2} \cdot \sum \xi, \quad (2.4)$$

де  $\sum \xi$  - сума коефіцієнтів місцевих опорів на ділянці.

Сумарні втрати тиску на ділянці визначаються як сума лінійних і місцевих втрат, Па:

$$\Delta P = \Delta P_{\ell} + \Delta P_i \quad (2.5)$$

Вихідні дані й результати розрахунків у трубопроводах освітленої води при споживанні води в досліджуваному цеху  $2000 \text{ м}^3/\text{год}$  наведено в таблиці 2.1.

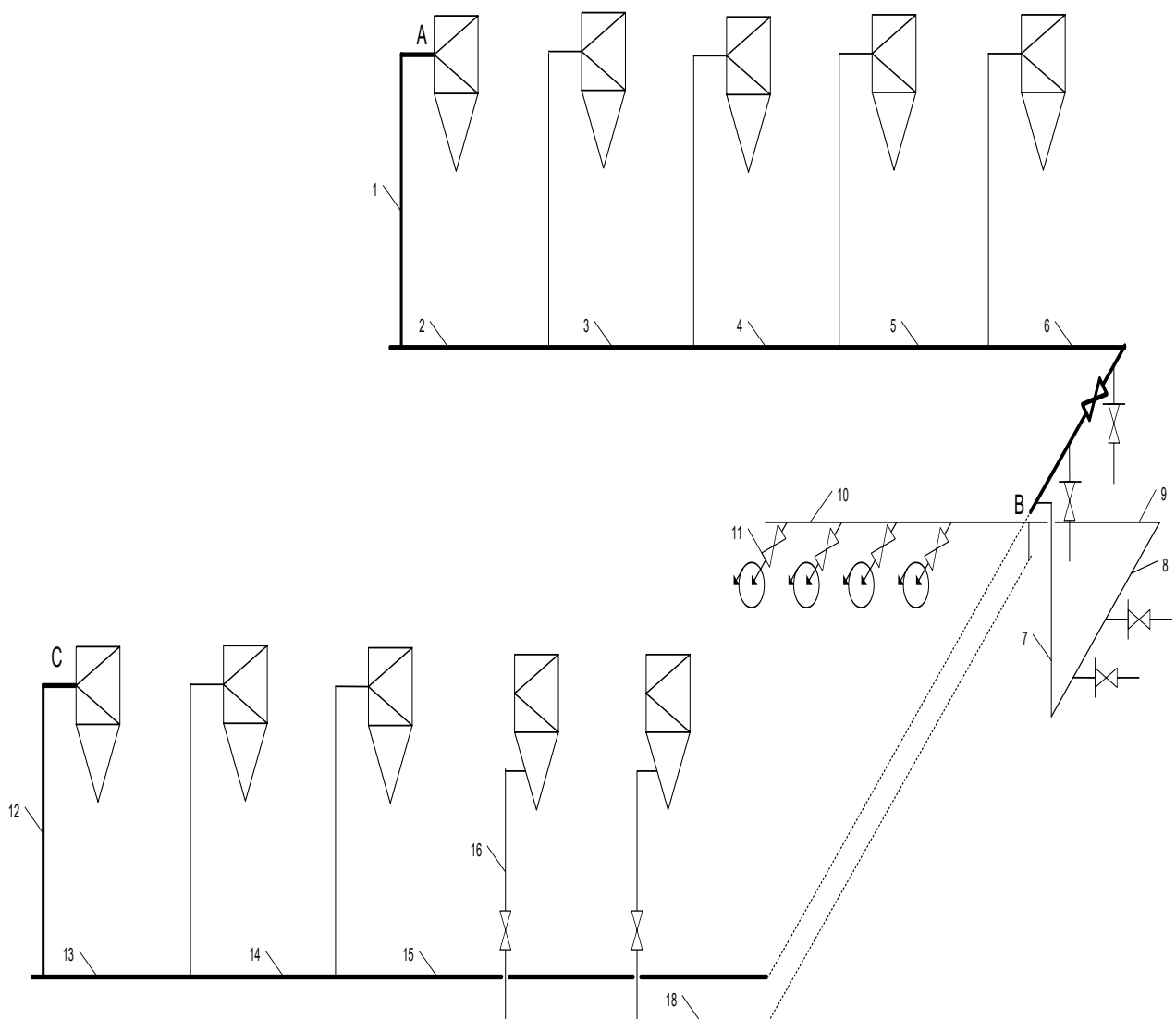


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема тракту освітленої води низького тиску( від гідроциклонів до всмоктувального патрубку насосів освітленої води

Таблиця 2.1 - Вихідні дані й результати розрахунків гідравлічних втрат у трубопроводах освітленої води низького тиску

№ ділянки	Внутрішній діаметр, мм	Довжина, м	Витрата,		Швидкість, м/с	Сума к-тов місцевих опорів	К-т-гідравлічного тертя	Лінійні втрати, Па	Місцеві втрати, Па	Сумарні втрати, Па
			м <sup>3</sup> /год	м <sup>3</sup> /з						
Гілка АВ										
1	300	9,6	250	0,069	0,983	2,05	0,063	973,818	988,34	1962,15
2	500	8	250	0,069	0,354	0	0,057	56,889	0,000	56,88
3	500	8	500	0,139	0,708	0,6	0,056	223,368	149,94	373,32
4	600	8	750	0,208	0,737	1,1	0,053	192,826	298,31	491,13
5	600	8	1000	0,278	0,983	0,6	0,053	341,200	289,27	630,46
6	600	14	1250	0,347	1,229	2,6	0,053	930,311	1958,59	2888,90
РАЗОМ										6402,87
7	800	10,2	2000	0,556	1,106	3	0,049	383,676	1830,53	2214,2
8	800	15	2000	0,556	1,106	2	0,049	564,229	1220,36	1784,5
9	1000	12	2000	0,556	0,708	1	0,047	140,872	249,93	390,80
10	1000	6	1000	0,278	0,354	0,5	0,048	17,939	31,241	49,180
РАЗОМ									5772,01	
Усього у всмоктуючому тракту (гілки АВ+сума 7-11)									12174,9	

На рисунку 2.2 наведена розрахункова схема для трубопроводів освітленої води високого тиску. Розрахунок гідравлічного опору аналогічний і виконаний за формулами (2.4) – (2.8). Вихідні дані й результати розрахунків наведені в таблиці 2.2.

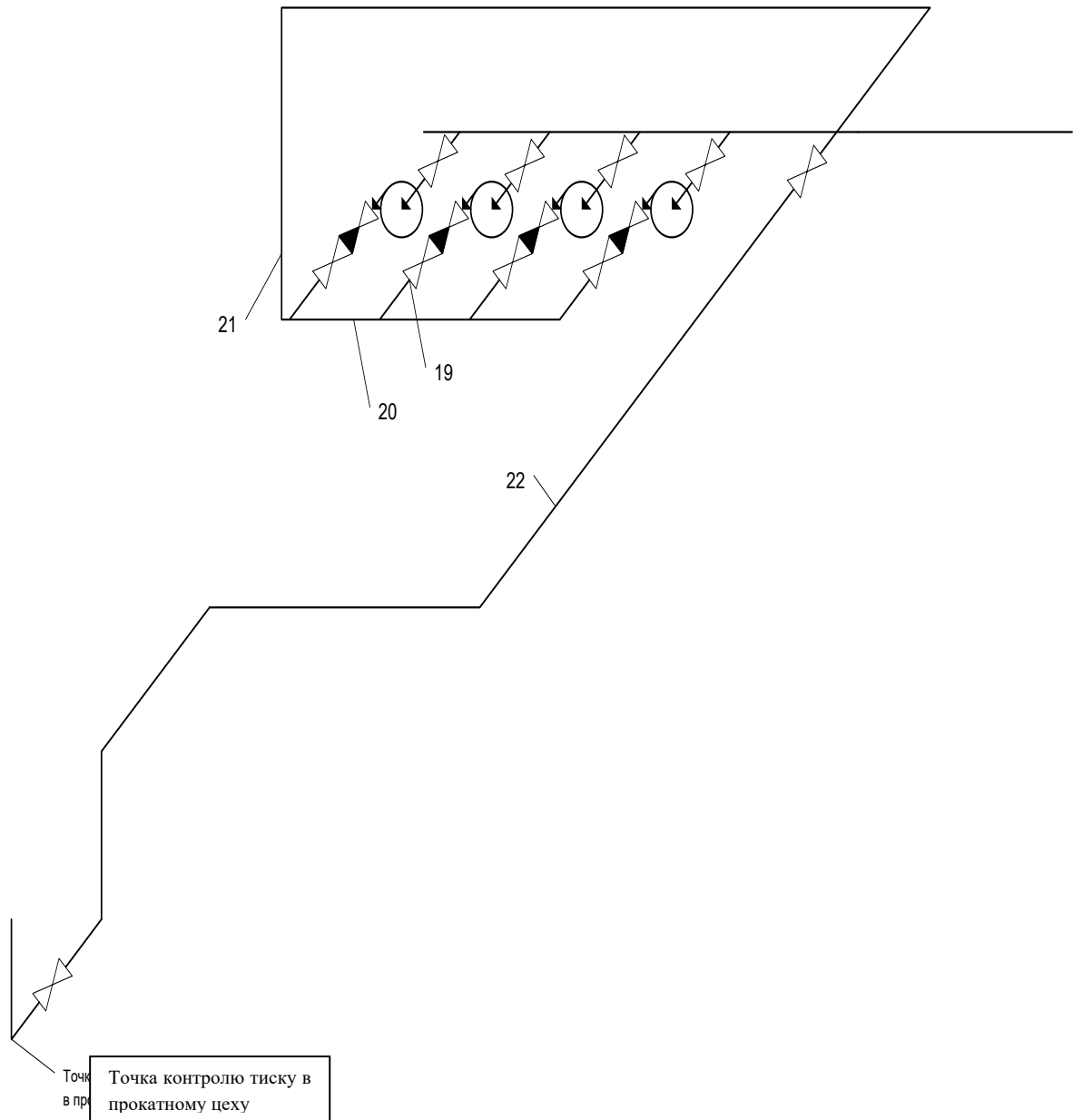


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема тракту освітленої води високого тиску( від нагнітального патрубка насосів освітленої води до точки підключення до внутрішніх мереж трубопрокатного цеху

Таблиця 2.2 - Вихідні дані й результати розрахунків гідравлічних втрат у трубопроводах освітленої води високого тиску

№ ділянки	Внутрішній діаметр, м	Довжина, м	Витрата		Швидкість м/с	Сума коефіцієнтів місцевих опорів	Лінійні втрати, Па	Місцеві втрати, Па	Сумарні втрати, Па
			м <sup>3</sup> /ГОД	м <sup>3</sup> /с					
19	500	3	1000	0,27	1,41	8,5	331,774	8497,57	8829,3
20	600	8	1000	0,2778	0,98	0,5	341,200	241,057	582,2
21	600	33	2000	0,5556	1,96	2,5	5589,43	4821,15	10410
22	700	280	2000	0,5556	1,444	2	21168,0	2081,87	23249,
РАЗОМ								43072,107	

Сумарні втрати тиску в трубопроводах визначаються як сума втрат тиску у тракту низького й високого тиску й рівні, Па:

$$12174,9+43072,107=55247,007$$

## 2.2 Розрахунок режимів роботи насосної станції

Режимом роботи насосної станції називається комбінація напору, що розвивається насосними агрегатами і їх продуктивності.

При цьому параметрами, що додатково описують режим є потужність, що споживається і ККД насосних агрегатів і електродвигунів.

Режим насосної станції визначається перетинанням гідравлічної характеристики мережі трубопроводів і характеристикою роботи насосної установки.

Розрахунки гідравлічної характеристики мережі трубопроводів.

На підставі даних, наведених у таблиці 2.1 розраховується гідравлічна характеристика трубопровідної мережі, що представляє собою параболу:

$$H = H_0 + k \cdot G^2, \quad (2.6)$$

де  $H$  – опір мережі, Па

$H_0$  – статичний тиск стовпа води, необхідний для заповнення трубопроводів. Залежить від конфігурації системи й дорівнює різниці висотних оцінок осі насоса й найвищої точки трубопровідної системи. Для розглянутої мережі дорівнює 16 м в.ст. або 162120 Па.

$k$  – коефіцієнт, що залежить від опору мережі. Визначається при підстановці в рівняння (2.6) відомої пари значень  $H$  і  $G$  при  $H_0=0$ .

У такий спосіб:

$$k = \frac{H}{G^2} = \frac{55247.007}{2000^2} = 0,0138117.$$

Рівняння гідравлічної характеристики вихідної мережі трубопроводів буде мати вигляд:

$$H = 162120 + 0,0138117 \cdot G^2 \quad (2.7)$$

Розрахунок характеристик роботи насосних агрегатів



Характеристика роботи насоса(далі «робоча характеристика») наведена в паспорті насосного агрегату і являє собою параболу, проведену в координатах Н- $G$ .

Розрахунок режимів роботи насосної станції.

Для побудови робочої характеристики для двох однакових паралельно працюючих нагнітачів слід скласти витрати в кожній точці при незмінному тиску (рисунок 2.3).

Графік, отриманий у результаті, буде робочою характеристикою для насосної станції.

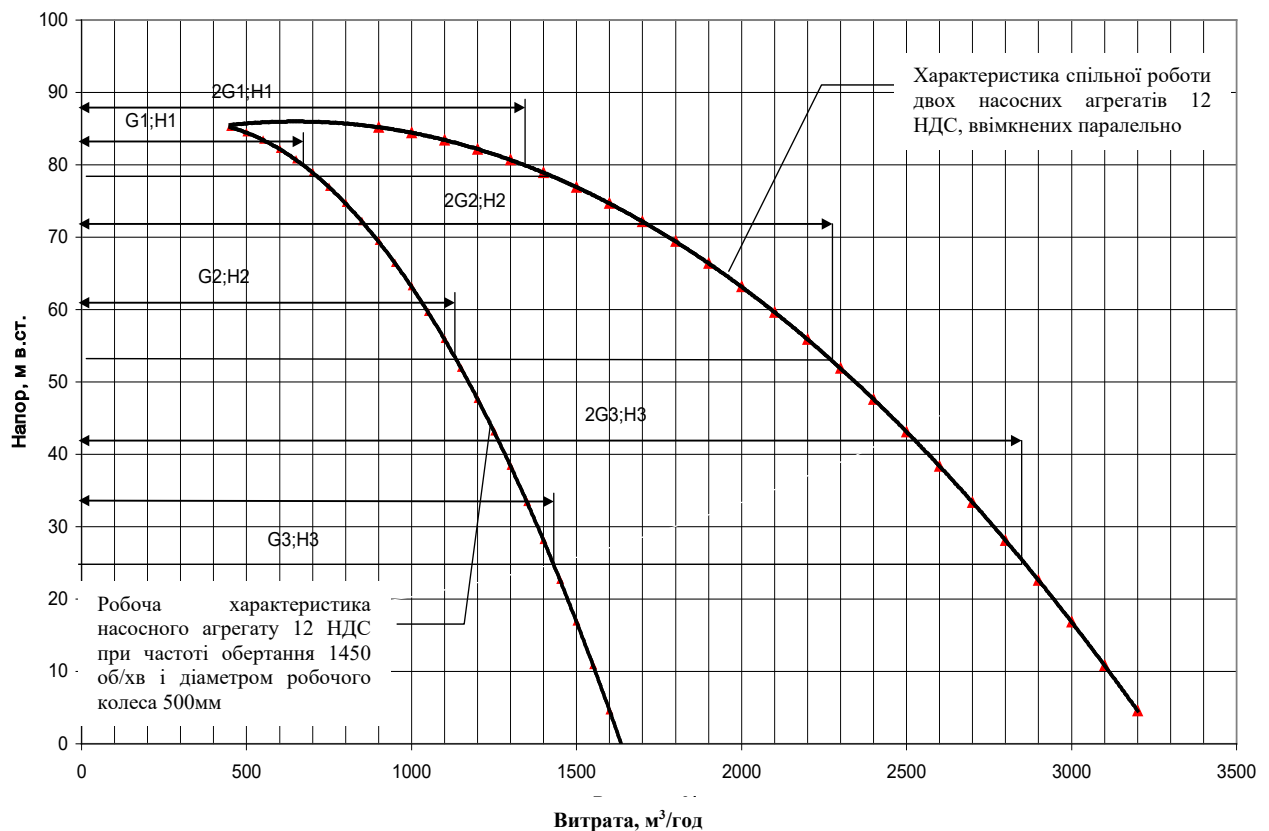


Рисунок 2.3 - Побудова сумарної робочої характеристики для двох однакових паралельно включених насосів

На підставі отриманих аналітичних залежностей побудований сполучений графік роботи нагнітачів і мережі (рисунок 2.4).

З графіків, наведених на рисунку 2.5 видно, що одного агрегату недостатньо для забезпечення максимальної витрати 2500 м<sup>3</sup>/год, а двох

агрегатів занадто багато. На практиці це означає, що запускаються обидва насоса, а для регулювання продуктивності насосної станції змінюють характеристику системи шляхом прикриття засувки на нагнітанні насосів або на колекторі насосної станції.

Даний спосіб регулювання крім прямих непродуктивних витрат електроенергії приводить до передчасного зношування запірної арматури, чепцевого ущільнення насосних агрегатів, скорочує міжремонтний період насосного устаткування й трубопроводів, приводить до додаткових витрат на ремонтне обслуговування енергоустаткування й до збитків від втрати виробництва внаслідок подовження простоїв основного технологічного устаткування при ремонті устаткування оборотного циклу.

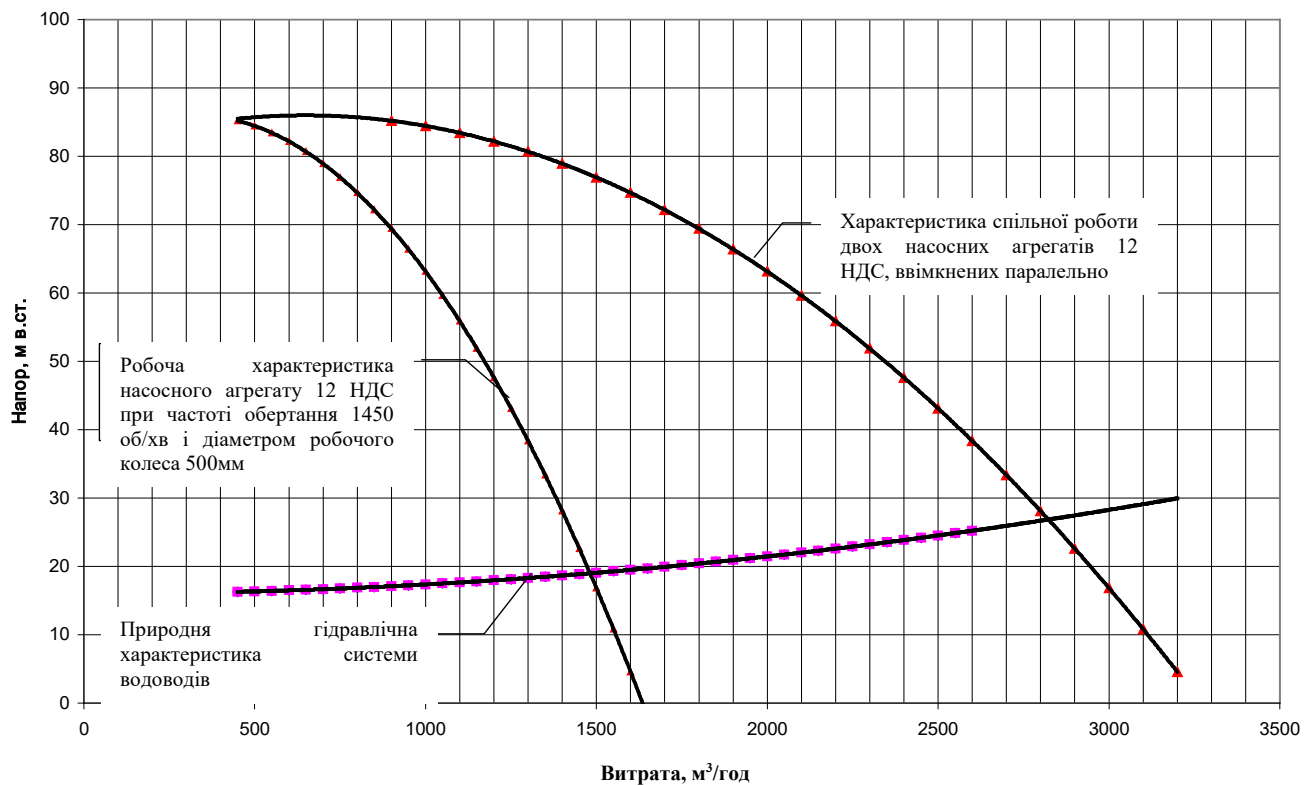


Рисунок 2.4 - Графіки спільної роботи мережі й насосів насосної станції освітленої води

Розрахунки режиму роботи насосної станції при регулюванні запірною арматурами.

При прикритті засувки підвищується опір мережі й збільшується крутість характеристики. Насосна станція споживає додаткову енергію для подолання цього опору. Величина додаткової енергії пропорційна падінню тиску на арматурах, за допомогою якої проводиться регулювання, і може бути оцінена як, кВт:

$$\Delta N = \frac{G \cdot \Delta H \cdot 101325}{3600 \cdot \cos \varphi \cdot \eta \cdot 1000}, \quad (2.8)$$

де  $G$  – витрата води через насосну станцію, м<sup>3</sup>/год;

$\Delta H$  - різниця між природнім опором мережі й опором, обумовленим прикриттям запірної арматур, кгс/см<sup>2</sup>;

$\varphi$  - кут зрушення між синусоїдами струму й напруги,  $\cos \varphi$  прийнятий за паспортними даними двигунів і рівний 0,9;

$\eta$  - ККД насоса. Прийнятий на підставі паспортних даних 0,64.

При витраті через насосну станцію 2500 м<sup>3</sup>/год й спаданні напору на запірній арматурі 18,596 м втрати потужності на регулювання складуть, кВт:

$$\Delta N = \frac{2500 \cdot 1,8596 \cdot 101325}{3600 \cdot 0,9 \cdot 0,64 \cdot 1000} = 227,170$$

Отримана цифра показує, що на регулювання продуктивності в цьому випадку витрачається біля половини спожитої енергії.

Розрахунок режиму роботи при регулюванні продуктивності зміною обертів.

Для розрахунків режиму роботи насосної станції при регулюванні й зміною кількості обертів робочого колеса скористаємося відомим співвідношенням:

$$\left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 = \frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} \quad (2.9)$$

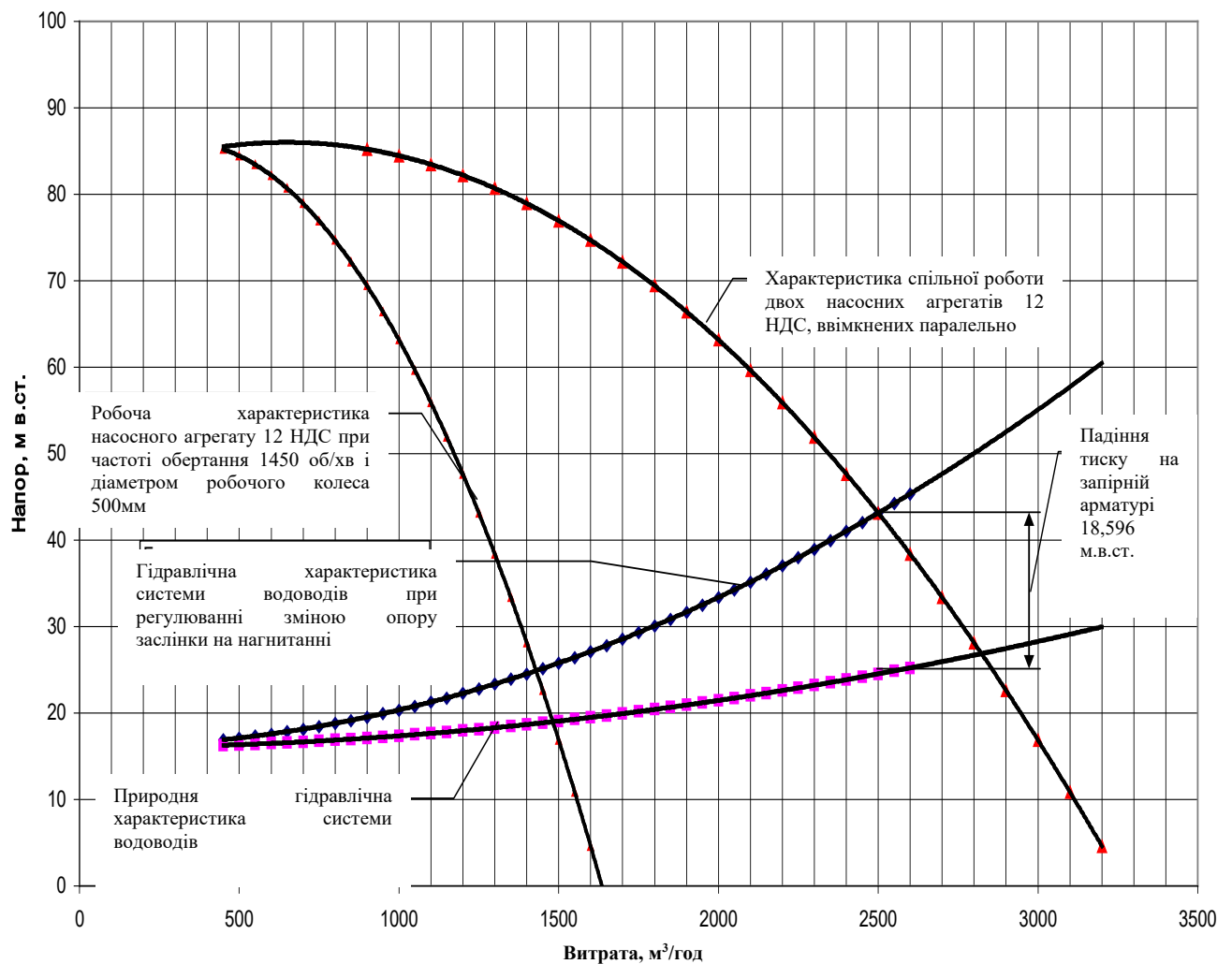
де  $n_1$  – початкові оберти робочого колеса, об/хв;

$n_2$  – змінені оберти робочого колеса, об/хв;

$\Delta H_1$  – початковий напір, що розвивається, м в.ст;

$\Delta H_2$  – змінений напір, що розвивається, м в.ст.

Графіки режимів роботи насосної станції при регулюванні запірною арматурами наведено на рисунку 2.5.



Рисунк 2.5 - Режим роботи насосної станції при регулюванні продуктивності засувкою на нагнітанні насосів

Знаючи  $\Delta H_1$  і  $\Delta H_2$  а також  $n_1$  з (2.9) знаходимо змінені оберти насоса, необхідні для розвитку напору  $\Delta H_2$ , об/хв:

$$n_2 = n_1 \cdot \sqrt{\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1}} = 1450 \cdot \sqrt{\frac{24,519}{43,115}} = 1093,479$$

Розв'язавши рівняння (2.9) відносно  $\Delta H_2$  одержимо рівняння характеристики насоса при обертах, відмінних від стандартних:

$$\Delta H_2 = \Delta H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad (2.10)$$

Підставивши в (2.10) замість  $\Delta H_1$  праву частину рівняння характеристики насоса, наведену на рисунку 2.4, одержимо рівняння характеристики при обертах, відмінних від стандартних:

$$\Delta H = \left(-5 \cdot 10^{-5} \cdot G^2 + 0,0324 \cdot G + 80,74\right) \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad (2.11)$$

Режим роботи, при якому регулювання проводиться зміною частоти обертання робочого колеса, розрахований на підставі рівняння (2.11) і наведений на рисунку 2.6.

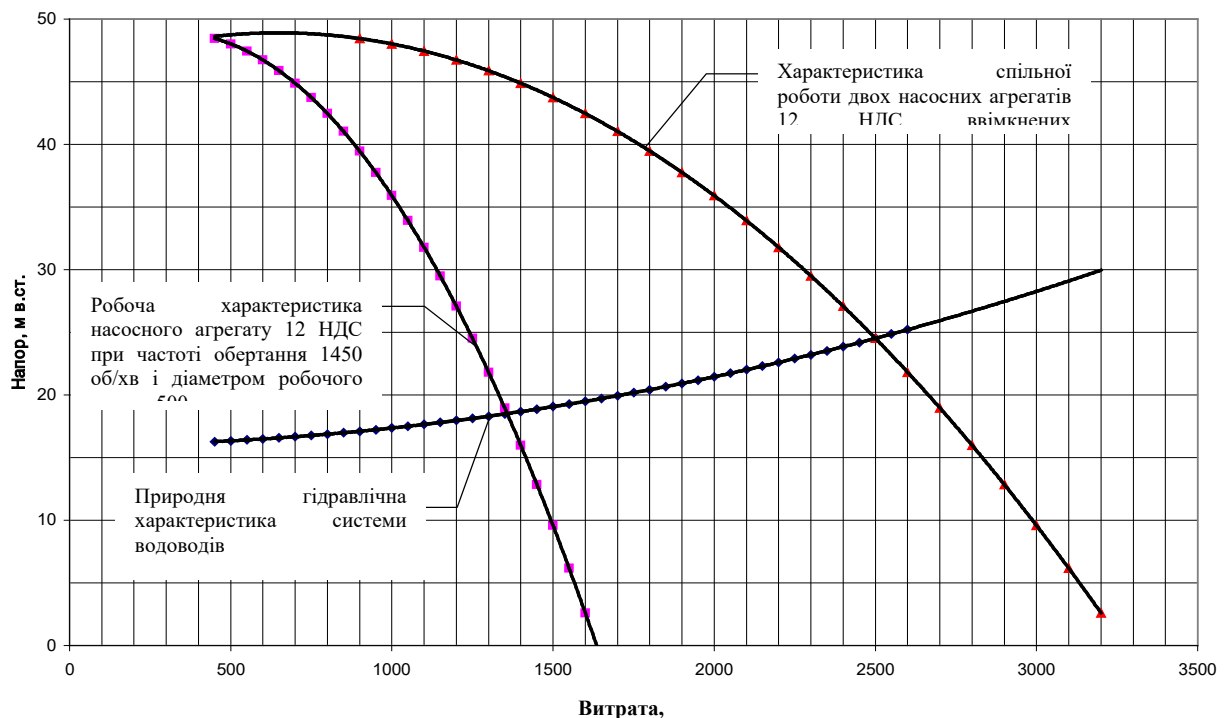


Рисунок 2.6 - Режим роботи насосної станції при регулюванні продуктивності зміною числа обертів робочого колеса насоса

З графіків, наведених на рисунку 2.6 видно, що напір насоса зменшився до величини, необхідної для забезпечення пропускної здатності системи трубопроводів. При цьому втрати напору в запірній арматурах відсутні. При зниженні обертів насоса відбувається зменшення потужності споживання, яке оцінюється співвідношенням:

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.12)$$

З (2.12) знаходимо потужність, що споживається при зниженні обертів, кВт:

$$N_2 = N_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad (2.13)$$

де  $N_1$  – потужність, що споживається при регулюванні продуктивності насосної станції за допомогою запірної арматури

$n_2$  – змінені оберти насоса, об/хв,

$n_1$  – первинні оберти насоса, об/хв.

Потужність  $N_1$  розраховується за формулою (2.8) і для режиму, наведеного на рисунку 2.6, становить, кВт:

$$N_1 = \frac{G \cdot \Delta H \cdot 101325}{3600 \cdot \cos \varphi \cdot \eta \cdot 1000} = \frac{2500 \cdot 4,3115 \cdot 101325}{3600 \cdot 0,9 \cdot 0,64 \cdot 1000} = 526,696 \quad (2.14)$$

Звідси:

$$N_2 = N_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 = 526,696 \cdot \left(\frac{1093,479}{1450}\right)^3 = 225,88 \text{ кВт.}$$

Економія потужності в цьому випадку становить:

$$\Delta N = N_1 - N_2 = 526,696 - 225,88 = 300,816 \text{ кВт.}$$

Розрахунок режимів роботи насосної станції при використанні тиску води від накопичувачів і одночасному регулюванні числом обертів.

При використанні тиску води від накопичувачів гідравлічна характеристика мережі трубопроводів зміниться, оскільки статичний тиск, необхідний для заповнення системи зменшиться на величину підпору на всосі насосів. Характеристика мережі описується рівнянням (2.9).

При подачі у всмоктувальний колектор води під тиском рівняння характеристики прийме вид:

$$H = 162120 - \frac{H_0 \cdot 101325}{9,8} + 0,0138117 \cdot G^2 \quad (2.15)$$

де  $H_0$  – величина підпору всмоктувальному колекторі, м

Конструктивні характеристики очисних споруджень оборотного циклу обумовлюють величину підпору від 13 до 25 м в.ст. Для подальших розрахунків приймемо середнє значення величини підпору  $(13+25) \cdot 0,5 = 19$  м.

Потужність, споживана при даному режимі рівна, кВт:

$$N = \frac{G \cdot \Delta H \cdot 101325}{3600 \cdot \cos \varphi \cdot \eta \cdot 1000} = \frac{2500 \cdot 0,5519 \cdot 101325}{3600 \cdot 0,9 \cdot 0,64 \cdot 1000} = 67,420 \quad (2.16)$$

Економія потужності в порівнянні з регулюванням за допомогою запірної арматури і без використання підпору на всосі становить, кВт:

$$526,696 - 67,450 = 459,276 \text{ кВт,}$$

тобто 87,199 % від початково визначеної (2.14).

Розрахунок витрати електроенергії за середню добу.

Режим роботи насосної станції при використанні підпору у всмоктувальній лінії й регулюванні зміною обертів наведено на рисунку 2.7

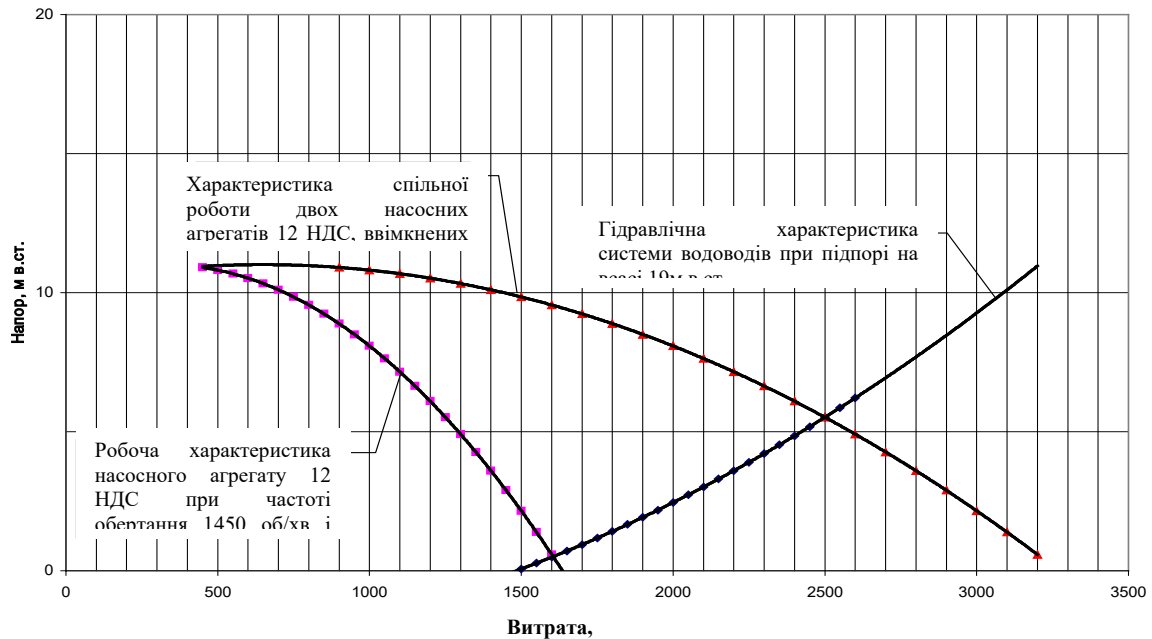


Рисунок 2.7 - Режим роботи насосної станції освітленої води при використанні підпору на всосі 19 м в.ст. і обертах насосних агрегатів 518,8075 об/хв

У якості вихідних даних для розрахунків прийняті витрати води, наведені на графіку (рисунок 1.2). Для розрахунків витрати електроенергії при регулюванні запірною арматурою прийняті величини фактичної продуктивності оборотного циклу, а для розрахунків витрати електроенергії при регулюванні зміною числа обертів – витрати, фактично спожиті устаткуванням. Дана умова пояснюється тим, що при регулюванні запірною арматурою неможливо добитися точної відповідності фактичної витрати необхідній. Дані по середньогодинним витратам протягом доби наведені в таблиці 2.3

Розрахунок витрати електроенергії за середню добу при регулюванні продуктивності насосної станції за допомогою запірної арматури.

Для розрахунків необхідно одержати аналітичне вираження для сумарної характеристики одночасної роботи двох насосів 12 ПДВ, які включені паралельно й працюють з номінальними обертами 1450 об/хв.



Таблиця 2.3 - Фактична продуктивність оборотного циклу й споживання освітленої води технологічним устаткуванням

Година доби	Споживання води технологічним устаткуванням, м <sup>3</sup> /год	Фактична продуктивність насосної станції, м <sup>3</sup> /год
1	1665	2000
2	1665	2000
3	1915	2200
4	1915	2000
5	1520	2000
6	1770	2000
7	970	1700
8	1070	1700
9	2350	2500
10	2050	2200
11	2050	2200
12	2050	2200
13	1720	2000
14	1770	2000
15	1770	2000
16	1400	2000
17	2100	2300
18	2100	2300
19	2100	2300
20	1770	2000
21	1720	2000
22	1970	2000
23	1970	2000
24	1970	2000

Для знаходження рівняння виберемо графік, представлений на рисунку 2.9. За допомогою команди «Побудувати лінію тренда» на діаграмі в робочій книзі табличного процесора EXCEL будемо квадратичну залежність. Вибравши в діалогові вікні опцію «Показувати рівняння на діаграмі» одержимо аналітичну залежність для характеристики спільної роботи двох насосів 12ПДВ:

$$H = -1,25 \cdot 10^{-5} \cdot G^2 + 0,0162 \cdot G + 80,74 \quad (2.17)$$

На підставі (2.17) визначаємо напір насосної станції, що розвивається при регулюванні продуктивності за допомогою запірної арматури і споживану при цьому потужність. Результати розрахунків наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Режимні параметри насосної станції при регулюванні продуктивності запірною арматурою протягом середньої доби

Година доби	Фактична продуктивність насосної станції, м <sup>3</sup> /год	Напір насосів при регулюванні запірною арматурою, м	Потужність насосів при регулюванні запірною арматурою, кВт
1	2	3	4
1	2000	63,14	617,06
2	2000	63,14	617,06
3	2200	55,88	600,72
4	2000	63,14	617,06
5	2000	63,14	617,06
6	2000	63,14	617,06
7	1700	72,155	599,39
8	1700	72,155	599,39

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
9	2500	43,115	526,70
10	2200	55,88	600,72
11	2200	55,88	600,72
12	2200	55,88	600,72
13	2000	63,14	617,06
14	2000	63,14	617,06
15	2000	63,14	617,06
16	2000	63,14	617,06
17	2300	51,875	583,01
18	2300	51,875	583,01
19	2300	51,875	583,01
20	2000	63,14	617,06
21	2000	63,14	617,06
22	2000	63,14	617,06
23	2000	63,14	617,06
24	2000	63,14	617,06
Середньогодин- не значення		60,44	604,841

Оскільки при регулюванні за допомогою зміни частоти обертання досягається точна відповідність досягнутої витрати природньому опору мережі, то при розрахунках режимних параметрів насосної станції з використанням підпору на всосі й регулюванні зміною частоти обертання робочих коліс для визначення напору насосних агрегатів, прийняте рівняння характеристики мережі (2.15). У якості  $H_0$  узята величина середнього підпору 19 м. Результати розрахунків напору, що розвивається насосною станцією й споживаної при цьому потужності наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Режимні параметри насосної станції при регулюванні продуктивності зміною частоти обертання й використанні підпору на всосі протягом середньої доби

Година доби	Споживання води технологічним устаткуванням, м <sup>3</sup> /год	Напір насосів при використанні підпору й регулюванні зміною частоти, м	Потужність насосів при регулюванні зміною частоти, кВт
1	2	3	4
1	1665	0,78	6,34
2	1665	0,78	6,34
3	1915	2,00	18,70
4	1915	2,00	18,70
5	1520	0,15	1,11
6	1770	1,27	10,99
7	970	-1,72	-8,14
8	1070	-1,44	-7,53
9	2350	4,53	51,99
10	2050	2,73	27,33
11	2050	2,73	27,33
12	2050	2,73	27,33
13	1720	1,03	8,68
14	1770	1,27	10,99
15	1770	1,27	10,99
16	1400	-0,33	-2,25
17	2100	3,01	30,90
18	2100	3,01	30,90
19	2100	3,01	30,90
20	1770	1,27	10,99
21	1720	1,03	8,68

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4
22	1970	2,29	22,05
23	1970	2,29	22,05
24	1970	2,29	22,05
Середнє значення		1,58	16,14

Знак « - » біля деяких значень потужності говорить про те, що при невисоких витратах, напору в трубопроводах вистачає, щоб обійтися без насосної станції освітленої води, потік води має надлишкову енергію й може віддавати її в мережу електропостачання. Таким чином, середня потужність, що споживається насосною станцією при використанні підпору на всосі й регулюванні продуктивності зміною частоти обертання насосних агрегатів складе 16,89 кВт. Економія потужності, дорівнює різниці між середнім значенням потужності, спожитої при регулюванні запірною арматурою (таблиця 2.4) і середнім значенні потужності при використанні підпору на всосі й регулюванні продуктивності зміною частоти обертання насосних агрегатів і становить, кВт:

$$\Delta N = 604,841 - 16,89 = 587,951 \quad (2.18)$$

Для визначення потужності перетворювачів частоти, які встановлені у насосній станції, визначимо, як змінюється споживаєма потужність при мінімальному тиску у всмоктувальному колекторі. Мінімальний тиск може бути при рівні води в трубопроводах на всосі 10 м в.ст. При досягненні тиску нижче цього значення повинна спрацювати автоматика зниження споживання води, оскільки в цьому випадку насос може перейти на сухий хід. Результати розрахунків наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Режими роботи насосної станції при мінімальному підпорі у всмоктувальному колекторі (10 м)

Година доби	Споживання води технологічним устаткуванням, м <sup>3</sup> /год	Напір насосів при використанні підпору й регулюванні зміною частоти, м	Потужність при регулюванні зміною частоти, кВт
1	1665	9,78	79,56
2	1665	9,78	79,56
3	1915	11,00	102,92
4	1915	11,00	102,92
5	1520	9,15	67,96
6	1770	10,27	88,83
7	970	7,28	0,00
8	1070	7,56	0,00
9	2350	13,53	155,34
10	2050	11,73	117,49
11	2050	11,73	117,49
12	2050	11,73	117,49
13	1720	10,03	84,32
14	1770	10,27	88,83
15	1770	10,27	88,83
16	1400	8,67	0,00
17	2100	12,01	123,25
18	2100	12,01	123,25
19	2100	12,01	123,25
20	1770	10,27	88,83
21	1720	10,03	84,32
22	1970	11,29	108,68
23	1970	11,29	108,68
24	1970	11,29	108,68
Середнє значення		10,58	90,02

У таблиці 2.6 наведені дані розрахунків для базового й проектного варіантів.

Таблиця 2.6 – Аналіз отриманих даних розрахунків

Час доби	Базовий варіант		Проектний варіант	
	Спожита потужність насосами при регулюванні запірною арматурою, кВт	Річне споживання ел.енергії, тис.кВт·год	Спожита потужність насосами при регулюванні зміною частоти й використанні підпору 19м на всосі, кВт	Річне споживання ел.енергії, тис.кВт·год
1	617,06	8802	6,34	3645
2	617,06		6,34	
3	600,72		18,70	
4	617,06		18,70	
5	617,06		1,11	
6	617,06		10,99	
7	599,39		-8,14	
8	599,39		-7,53	
9	526,70		51,99	
10	600,72		27,33	
11	600,72		27,33	
12	600,72		27,33	
13	617,06		8,68	
14	617,06		10,99	
15	617,06		10,99	
16	617,06		-2,25	
17	583,01		30,90	
18	583,01		30,90	
19	583,01		30,90	
20	617,06		10,99	
21	617,06		8,68	
22	617,06		22,05	
23	617,06		22,05	
24	617,06		22,05	
Порівн. знач.	604,841		16,14	

З таблиці видно, що максимальне значення спожитої потужності може досягати значення 155 кВт. Виходячи з цього прийmemo потужність одного перетворювача 200 кВт. Кількість перетворювачів – 2 шт. Кожний перетворювач може обслуговувати 2 насосних агрегати. При цьому один агрегат робочий – другий – резервний. При аварійному відключенні працюючого агрегату (у тому випадку якщо відключення зробила автоматика насоса а не перетворювача) оператор насосної станції включає резервний агрегат від цього ж перетворювача. У якості перетворювачів частоти прийmemo 2 агрегати VLT 6275-НТ4 "Danfoss" N=200 кВт.

Як видно з таблиці 2.6, річне споживання електроенергії знизиться на 58,6%.



### 3. РОЗРАХУНОК ВИТРАТ НА РЕАЛІЗАЦІЮ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ Й ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ

Для реалізації запропонованого проекту необхідно здійснити витрати на придбання перетворювачів частоти, трубопроводів, запірної арматур, допоміжних матеріалів, виконати роботи з монтажу й налагодженню устаткування. Розрахунки доцільності впровадження заходів проведений для базового варіанта схеми оборотного циклу й варіанта з реконструкцією, що передбачає зміну схеми оборотного циклу й використання частотно-регульованого привода.

#### 3.1 Розрахунок капітальних витрат на реалізацію енергозберігаючих заходів

##### 3.1.1 Розрахунки витрат на устаткування й матеріали

Перелік устаткування й матеріалів і витрати на їхнє придбання наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Перелік матеріалів і устаткування, необхідних для реалізації проекту

№ п/п	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5	6
1	Перетворювач частоти VLT 6275-НТ4"Danfoss" N=200 кВт	шт	2	127500	555000

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
2	Труба сталевая електрозварна прямошовна	т	4,3	2500	10750
3	Труба сталевая електрозварна прямошовная 325х6	т	1,7	2500	4250
4	Засувка 30ч915бр Ду 600	шт	2	14000	28000
5	Допоміжні матеріали (електротехнічні, паливозмащувальні, монтажні)				10000
	Разом, З <sub>1</sub>				1163000

3.1.2 Розрахунок витрат на будівельно-монтажні й налагоджувальні роботи

Вартість будівельно-монтажних наведена в таблиці 3.2. Ціни розраховані при коефіцієнті на умови робіт 1,1.

Таблиця 3.2 - Кошторисний розрахунок витрат на монтаж трубопроводів, арматури й перетворювачів частоти

№ п/п	Найменування робіт і витрат	Од. вим.	Кіл.	Поточна ціна одиниці, грн	Витрати, грн	Витрати праці працівників на обсяг робіт, чіл.год
1	2	3	4	5	6	7
1	Монтаж засувок чавунних фланцевих з ел.прив.на умовний тиск 1 МПа діаметр умовного проходу 600 мм	шт	2	217,65	435,30	55,56
2	Гідравлічне випробування на щільність засувок нових запірних фланцевих діаметр умовного проходу 600 мм	засувка	2	25,51	51,02	21,7
3	Ручне очищення чепцевого вузла Ду 600 мм	вузол	2	2,15	4,30	1,98
4	Виготовлення настилів з масою виробів до 30 кг	т	0,65	373,18	242,57	81,536
5	Виготовлення опор, маса елемента до 0,3 т	т	0,2	278,12	55,62	21,934
6	Монтаж опор	т	0,4	156,68	62,67	17,804
7	Демонтаж окремих ділянок труб Ду 600мм	10 м	0,4	105,38	42,15	13,328
8	Монтаж окремих ділянок труб Ду 600мм	10м	2,8	245,42	687,18	210,952
9	Монтаж окремих ділянок труб Ду 300мм	10м	3,3	85,23	281,26	53,229

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7
10	Виготовлення секторного відводу, діаметр, товщина стінок 600x10 мм п'яти секторний відвід	шт	1	58,68	58,68	12,35
11	Монтаж секторного відводу діаметр умовного проходу 600 мм	10м	0,2	245,42	49,08	15,068
12	Врізання в діючу мережу трубопроводу, діаметр труб 600 мм	урізання	2	25,37	50,74	8,06
13	Пристрій внутрішніх інвентарних трубчастих лісів: висота до 6 м	100 м <sup>2</sup>	0,2	177,49	35,50	14,652
14	Добавка на 4 м висоти	100м <sup>2</sup>	0,2	88,11	17,62	7,282
15	Розбирання внутрішніх інвентарних трубчастих лісів: висота до 6 м	100 м <sup>2</sup>	0,2	107,01	21,40	8,844
16	Добавка на 4 м висоти	100 м <sup>2</sup>	0,2	53,37	10,67	4,412
17	Ручне очищення трубопроводів діамет-ром 200-600 мм	м <sup>2</sup>	100	2,15	215,00	99
18	Ручне очищення металоконструкцій з перевагою кутової сталі	т	1,25	72,77	90,96	37,125
19	Обезпилювання поверхонь трубопроводу й металевих поверхонь	м <sup>2</sup>	89,11	0,86	76,64	10,69332

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7
20	Покриття ґрунтом ГФ-021 (перший шар)	100м <sup>2</sup>	0,89	162,53	144,65	20,1585
21	Фарбування металевих поґрунтованих поверхонь емалями ПФ-115 за 2 рази	100м <sup>2</sup>	0,89	152,72	135,92	8,2414
22	Монтаж системи регулювання електроприводом. Нереверсивний електропривод; однозонне регулювання	шт	2	8562	17124,0	18,52
23	Налагодження системи регулювання електроприводом. Нереверсивний електропривод	шт	2	9549	19098,0	18,52
	Разом за кошторисом:	-	-	38990,94		760,95
I	Разом прямі витрати	-	-	38990,94		761
	заробітна плата	-	-	1924,37		-
	вартість експлуатації машин	-	-	37066,57		-
II	Загальновиробничі витрати	-	-	4259,07		-
III	Засоби на зведення тимчасових будинків і споруджень	-	-	-		-
	Разом вартість будівельно-монтажних робіт (I+II+III+IV+V)	-	-	43250,01		761
VI	Інші супутні витрат	-	-	-		-
X	Податки, збори, обов'язкові платежі					
	Разом $Z_2=(I+II+III+IV+V+VI+VII+VIII+IX)$			44037,6		

### 3.1.3 Розрахунок сумарних витрат на реалізацію заходів

Сумарні витрати на реалізацію проекту є сумою підсумкових значень у таблицях 3.1 і 3.2 і становлять, грн:

$$KЗ = C_{уст} + C_{буд} \quad (3.1)$$

$$KЗ = 1163000 + 44037,6 = 1\,207\,037,6 \text{ грн.}$$

### 3.2 Розрахунок затрат на оплату праці експлуатаційного персоналу

Штатний розклад ділянки наведено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 - Штатний розклад ділянки ОЦОВС

№ п/п	Найменування посади	Розряд за ЄТКС	Кількість штатних одиниць	Тарифна ставка, грн/год або місячний оклад	% премії
1	Апаратник хімводоочистки	3	4	4,5	15
2	Апаратник хімводоочистки	4	4	4,2	15
3	Машиніст насосних установок	3	4	4	15
4	Слюсар-Ремонтник	5	2	4,5	20
5	Слюсар-ремонтник				
6	Ст.майстер		1	1300	40

Форма оплати праці працівників – почасово-преміальна.

3.2.1 Розрахунки витрат на оплату праці змінного й ремонтного персоналу

Розрахунки фонду робочого часу  $T_{\text{ef}}$  для змінного й ремонтного персоналу наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Фонд робочого часу для працівників ділянки ОЦОВС

№ п/п	Найменування посади	Графік роботи	Річний фонд робочого часу, год
1	Апаратник хімводоочистки	2-змінний безперервний 4-бригадний	$365 \cdot 24 / 4 = 2190$
2	Машиніст насосних установок	2-змінний безперервний 4-бригадний	$365 \cdot 24 / 4 = 2190$
3	Слюсар- ремонтник	1-змінний за 5-денним робочим тижнем	$(365 - 10 - 52 - 52) - 6 = 2002^*$

\* 10 – кількість святкових днів у році, 52 – кількість субот і неділь у році, 6 – кількість годин у результаті скорочення передсвяткових днів на 1 годину.

Розрахунки фонду оплати праці робітників зроблені у наступній послідовності:

Визначення тарифної заробітної плати робітників на рік (на основі тарифної ставки, відпрацьованого часу й чисельності робітників даної професії й розряду робіт):

$$ЗП_{\text{тар. (роз.)}} = T_{\text{ef}} \cdot h_{\text{ср.}} \cdot Ч_{\text{об.}}, \quad (3.2)$$

де  $h_{\text{ср.}}$  - середньозважена годинна тарифна ставка, грн.;

$Ч_{об.}$  - облікова чисельність робітників, осіб;

$T_{эф.}$  - річний ефективний фонд часу роботи робітника, год.

Розрахунки суми преміальних виплат за якісне виконання виробничого завдання:

$$ЗП_{пр.} = ЗП_{тар.} \cdot (П_{пр.} / 100\%), \quad (3.3)$$

де  $П_{пр.}$  - відсоток премії за якісне виконання виробничого завдання.

Визначення доплати за роботу у вечірній час (вечірнім часом вважається час з 16<sup>00</sup> до 22<sup>00</sup>; доплата проводиться з розрахунку 20 % від денної годинної тарифної ставки за кожну годину роботи у вечірній час):

$$ЗП_{веч.} = 0,2 \cdot h_{ср.} \cdot T_{веч.} \cdot Ч_{об.}, \quad (3.4)$$

де  $T_{веч.}$  – кількість годин роботи у вечірній час ( $T_{эф.}/4 = 1950 \text{ год} / 4 = 487,5 \text{ год.}$ )

Визначення доплати за роботу в нічний час (нічним часом вважається час із 22<sup>00</sup> до 6<sup>00</sup>; доплата проводиться з розрахунку 40 % від денної годинної тарифної ставки за кожну годину роботи в нічний час):

$$ЗП_{ніч.} = 0,4 \cdot h_{ср.} \cdot T_{ніч.} \cdot Ч_{об.}, \quad (3.5)$$

де  $T_{ніч.}$  - кількість годин роботи в нічний час ( $T_{эф.}/3 = 1950 \text{ год.} / 3 = 650 \text{ год.}$ )

Розрахунки доплати за роботу у святкові дні:

$$ЗП_{свят.} = h_{ср.} \cdot T_{свят.} \cdot Д \cdot Е \cdot Ч_{об.}, \quad (3.6)$$

де  $T_{свят.}$  - кількість святкових днів у планованому році;

$Д$  – тривалість зміни, год.;

$Е$  – частка працюючих у святкові дні ( при чотирибригадному двозмінному графіку  $2/4=0,5$ ).

Оплата понаднормового часу роботи:



$$ЗП_{пер} = h_{ср.} \cdot T_{пер} \cdot Ч_{об}, \quad (3.7)$$

де  $T_{пер}$  - річна кількість годин переробки, яка визначається за формулою:

$$T_{пер} = T_{факт} - T_1 - T_2, \quad (3.8)$$

де  $T_{факт}$  - річна кількість годин роботи одного робітника при безперервному двозмінному чотирибригадному режимі роботи:

$$T_{факт} = (365 \cdot 2 \cdot 12) / 4 = 2190 \text{ год.};$$

де  $T_1$  - річна кількість годин роботи одного робітника при 40-годинному робочому тижні у відповідність з трудовим законодавством:

$$T_1 = (365 - 10 - 52 - 52) \cdot 8 - 6 = 2002 \text{ год.}$$

де 10 - кількість святкових днів у році;

52 - кількість неділь у році;

52 - кількість субот у році;

6 - кількість годин у результаті скорочення передсвяткових днів на 1 годину;

8 – тривалість зміни, год.;

$T_2$  - річна кількість годин роботи одного робітника у святкові дні:

$$T_2 = (10 \cdot 2 \cdot 8) / 4 = 40 \text{ год.}$$

Розрахунки оплати відпусток здійснюються, виходячи з тривалості відпустки й середньоденної заробітної плати робітника:

$$ЗП_{відп.} = (ЗП_{мар.} + ЗП_{прир.} + ЗП_{пр.} + ЗП_{проф.} + ЗП_{ночн.} + ЗП_{празд} + ЗП_{пер.}) \cdot (T_{відп.} / T_{к.}), \quad (3.9)$$

де  $T_{відп.}$  - тривалість відпустки у календарних днях;

$T_k$  – календарний фонд часу, дні.

Розрахунки фонду додаткової заробітної плати робітників:

$$\Phi_{дод.ЗП} = \Sigma(ЗП_{пр.} + ЗП_{прир.} + ЗП_{проф.} + ЗП_{веч.} + ЗП_{ніч.} + ЗП_{свят.} + ЗП_{пер.} + ЗП_{відп.}) \quad (3.10)$$

Результати розрахунків заробітної плати змінного персоналу наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Результати розрахунків зарплати змінного персоналу ділянки ОЦОВС

Показник	Од.вим	Значення
Середньозважена годинна тарифна ставка	грн/год	4,23
Облікова чисельність працівників	осіб	12
Річна тарифна зарплата	грн/рік	111252
Преміальні виплати	грн/рік	16687,8
Доплати за вечірній час	грн/рік	4953
Доплати за нічний час	грн/рік	13208
Доплати за роботу у святкові дні	грн/рік	3048
Доплати за переробку графіка	грн/рік	7518,4
Додаткова заробітна плата робітників	грн/рік	55716,60
Сума основної й додаткової зарплати робітників	грн/рік	166968,60
Середньомісячна зарплата робітників	грн/(осіб·год)	1159,50

Визначення ФОТ робітників шляхом підсумовування фонду основної заробітної плати й фонду додаткової заробітної плати робітників:

$$\Phi_{ОТ\ роб.} = \Sigma(\Phi_{осн.ЗП} + \Phi_{дод.ЗП}) \quad (3.11)$$

Розрахунки середньомісячної заробітної плати чергових і ремонтників (окремо):

$$ЗП_{ср.м.} = ФОТ / (Ч_{об.} \cdot 12_{міс.}), \quad (3.12)$$

де  $ФОТ$  – фонд оплати праці відповідної до категорії робітників, грн.;

$Ч_{об.}$  - облікова чисельність відповідної категорії робітників, осіб.

Результати розрахунків заробітної плати ремонтного персоналу наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Результати розрахунків зарплати ремонтного персоналу ділянки ОЦОВС

Показник	Од.вим	Значення
Середньозважена годинна тарифна ставка	грн/год	4,67
Облікова чисельність працівників	осіб	3
Річна тарифна зарплата	грн/рік	28028
Преміальні виплати	грн/рік	5605,6
Тривалість відпустки	днів	24
Календарний фонд робочого часу	днів	251
Оплата відпусток	грн/рік	3215,96
Додаткова заробітна плата робітників	грн/рік	8821,56
Сума основної й додаткової зарплати робітників	грн/рік	36849,56
Середньомісячна зарплата робітників	грн/(осіб•год)	1023,60

Розрахунки ФОТ керівника ділянки.

Річний фонду оплати праці визначають за формулою ( з урахуванням преміальних виплат):

$$ФОТ_{(n)} = \Sigma ((ЗП_{окл.} + ЗП_{окл.} \cdot (П_{пр.} / 100\%)) \cdot 12_{міс.}), \quad (3.12)$$

де  $ЗП_{окл.}$  - оплата за окладом для відповідної посади, грн.;

$П_{пр.}$  - відсоток премії за якісне виконання виробничого завдання;

Розрахунки ФОТ керівника ділянки представлено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Розрахунки ФОТ старшого майстра ділянки ОЦОВС

Найменування посади	Оклад у міс., грн.	Премія в міс., грн.	Місячний ОТ, грн.	Річний ФОТ, грн.
Старший майстер	1300	40	1820	21840

Сумарні витрати на оплату праці працівників ділянки ОЦОВС становлять:

$$166968,60 + 36849,56 + 21840 = 225658,16 \text{ грн/рік/}$$

### 3.3 Розрахунки ефекту від впровадження енергозберігаючих заходів

Розрахунки річного економічного ефекту й економічної ефективності від впровадження енергозберігаючих заходів.

Балансовий прибуток від реалізації проекту

$$\Delta\Pi = C_b \cdot Q_b - C_n \cdot Q_n, \quad (3.13)$$

де  $C_b$  і  $C_n$  – собівартість 1тис.м<sup>3</sup> освітленої води для базового й проектного варіантів відповідно;

$Q_b$  і  $Q_n$  – продуктивність оборотного циклу для базового й проектного варіантів відповідно.

Структура собівартості освітленої води за базовим варіантом й після реконструкції наведено в таблиці 3.8

Таблиця 3.8 Структура собівартості освітленої води

№ п/п	Найменування статті витрат	Одиниця виміру	Кількість		Витрати, грн/рік	
			Базо- вий варіант	Після реконструк- ції	Базовий варіант	Після рекон- струкції
1	Продуктив- ність оборот- ного циклу	тис. м <sup>3</sup> /рік	18098	15823	-	-
2	Електроенергія	тис. кВт·год	8802	3645	7217640	2988900
3	Технічна вода	тис.м <sup>3</sup>	1810	475	543000	142500
4	Заробітна плата	грн	225658	225658	225658	225658
5	Амортизація основних засобів	грн			23420	279 120
6	Поточні ремонти	грн	24000	24000	24000	24000
7	Капітальні ремонти	грн	180000	180000	180000	180000
8	РАЗОМ				8213718	3 840 178
9	Собівартість продукції	грн/тис.м <sup>3</sup>			453	243

Балансовий прибуток від реалізації проекту складе:

$$\Delta\Pi = 453 \cdot 18098 - 243 \cdot 15823 = 4\,373\,540 \text{ грн./рік.}$$

Чистий прибуток від реалізації проекту:

$$\Pi_{\text{ч}} = \Delta\Pi - 25\% \Delta\Pi . \quad (3.14)$$

Чистий прибуток від реалізації проекту складе:

$$\Pi_{\text{ч}} = 4\,373\,540 - 0,25 \cdot 4\,373\,540 = 3\,280\,155 \text{ грн./рік.}$$

Коефіцієнт абсолютної економічної ефективності розраховується за формулою:

$$E_{\text{АБС}} = \frac{\Pi_{\text{ч}} + C_{\text{уст}} \cdot H_a}{KЗ}, \quad (3.15)$$

Коефіцієнт абсолютної економічної ефективності становить:

$$E_{\text{АБС}} = \frac{3\,280\,155 + 1163000 \cdot 0,24}{1\,207\,037,6} = 2,95 \text{ грн./1грн.КВ}$$

Строк окупності капітальних витрат:

$$T = \frac{KЗ}{\Pi_{\text{ч}} + C_{\text{уст}} \cdot H_a}, \quad (3.16)$$

Строк окупності капітальних витрат становить^

$$T = \frac{1\,207\,037,6}{3280155 + 1163000 \cdot 0,24} = 0,34 \text{ рік.}$$

Результати розрахунків ефективності пропонованих заходів наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 - Основні техніко-економічні показники проекту

Найменування показника	Одиниця виміру	Величина показника	
		Базовий варіант	Проектований варіант
Річний випуск продукції:	тис.м <sup>3</sup>	18098	15823
- у натуральному вираженні;			
- у вартісному вираженні	тис.грн	8213,718	3 840,178
Чисельність працюючих, усього	осіб	12	12
в тому числі			
Фонд оплати праці працівників	тис.грн./р ік	225,658	225,658
Собівартість одиниці продукції	грн./тис.м 3	453	229
Величина капітальних вкладень (КВ)	тис.грн.		1207,037
Чистий прибуток від реалізації проекту	тис.грн.		3280,155
Коефіцієнт абсолютної економічної ефективності	грн./1грн. КВ		2,95
Строк окупності	рік		0,34

Чиста потокова вартість (NPV) визначається за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+E)^t} - KЗ \quad , \quad (3.17)$$

де  $D_t$  - прибуток, отриманий за рік  $t$ , у перший рік експлуатації устаткування прибуток становить 50% від загальної розрахункової річної економії.

$T$  – розрахунковий період у літах;

$E$  – прийнята процентна ставка,  $E=10\%$

Таблиця 3.10 – Розрахунки потокової вартості

№	Рядок		2018	2019	2020	Сума
1	Грошовий потік проекту	тис.грн.	3 280	3 280	3 280	13 554
2	Грошовий потік накопиченим підсумком	тис.грн.	6 993	10 274	13 554	13 554
3	Коефіцієнт дисконтування (Кд)		1,33	1,46	1,61	
4	$a = 1/Кд$		0,75	0,68	0,62	
5	Дисконтируваний баланс коштів	тис.грн.	2 464	2 240	2 037	9 736
6	Баланс коштів за наростаючим підсумком	тис.грн.	5 459	7 700	9 736	<b>9 736</b>
7	Строк окупності з обліком дисконтування	років				

В таблиці 3.4 приведений розрахунок внутрішньої норми прибутку.

Таблиця 3.11 – Розрахунки внутрішньої норми прибутку

Рік	2018	2019	2020	Усього
t-рік	3	4	5	
Грошовий потік проекту, тис. грн	3 280,2	3 280,2	3 280,2	13 554
$(1+IRR)^t$	24,4	70,7	205,1	
Дисконтируваний грошовий потік	134,49	46,38	15,99	-54,60
IRR	1,90 > 0,15			

Внутрішня норма прибутку, ВНП, (IRR), визначається з рівняння:

$$\sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1 + ВНП)^t} - K3 = 0, \quad (3.18)$$



На рисунку 3.1 наведений графік чистого грошового потоку

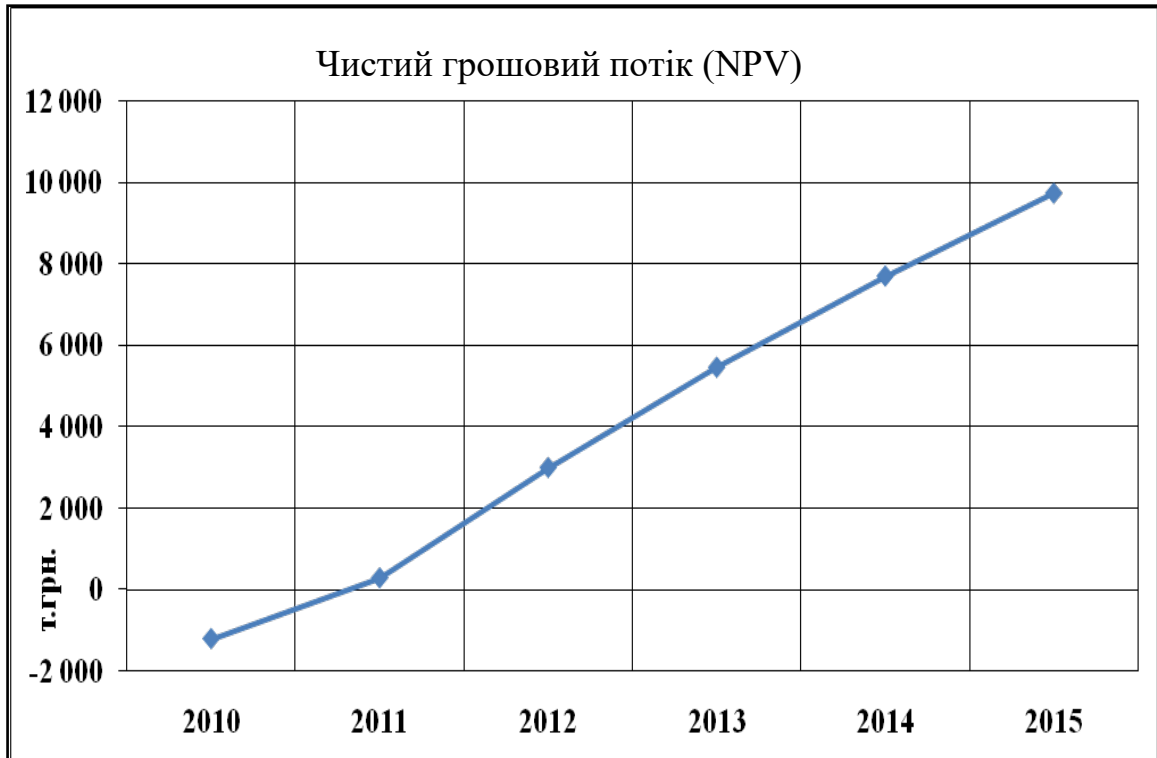


Рисунок 3.1 - Графік чистого грошового потоку

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища

До складу цеху ПрАТ «Дніпроспецсталь» входить: рудний двір, спільно з аглофабрикою; відділення глином'ялки; відділення розливочних машин; бункерної естакади; доменних печей з ливарними дворами; газоочисток.

Призначення рудного двору: складування й усереднення за складом шихтових матеріалів, що йдуть в агломераційне й доменне виробництво.

Відділення глином'ялки призначене для виготовлення мас для забивання чавунних і шлаковипускних отворів.

Відділення розливочних машин служить для лиття чавуну на товарні чушки (спеціальні злитки чавуну).

Бункерна естакада призначена для складування, нагромадження шихтових матеріалів і подачі їх у скіпи (спеціальні візки) і на колошник печі.

У доменному цеху в результаті особливостей технологічного процесу, що проходить з утворенням великих кількостей надлишкового тепла, інфрачервоної радіації, пилу й газів, питання створення сприятливих санітарно-гігієнічних умов праці здобувають особливе значення.

Цех складається з: рудного двору, ливарного двору, бункерних естакад і підбункерних приміщень.

Рудний двір призначений для створення запасів руди в зимовий час, руда розвантажується вагоноперекидачем у рудну траншею, звідки мостовим грейферним краном укладається в штабель висотою до 17м. По довжині рудний двір займає весь фронт довгих печей.

Розвантаження й транспортування сирих матеріалів (коксу, руди, агломерату й т.п.) супроводжуються виділенням значних кількостей пилу в повітряний басейн рудного двору. Основними джерелами виділення пилу є розвантаження вагонів, перевантаження руди грейферними кранами, навантаження й розвантаження трансферкара. Концентрації пилу на рудному

дворі коливаються від 10 до 120 мг/м<sup>3</sup>, на бункерній естакаді - від 16 до 1000 мг/м<sup>3</sup>. Максимальних значень концентрація пилу досягає під час навантаження й вивантаження матеріалів, що порошать. Виробничий шум на рудному дворі й бункерній естакаді, як правило, не перевищує припустимих рівнів, установлених СН – 245 - 71. Вплив шуму сприймають машиністи рудного крана, вагоноперекидача, вагонотовкача, трансферкара.

Бункерні естакади - металевий, залізобетонні або змішаний тип спорудження, що складаються з ряду бункерів для зберігання оперативного запасу шихтових матеріалів. Зверху бункери перекриваються ґратами з отворами 200х200мм, через які виконується завантаження, а знизу вони обладнані затворами для вивантаження матеріалів. Споруджуються естакади уздовж фронту доменних печей із дворядним розташуванням бункерів.

Доменне виробництво нерозривно пов'язане з високими температурами, тисками з утворенням великих кількостей вибухонебезпечних і токсичних газів, рідких продуктів плавки, з пересуванням великої кількості газів і насиченістю механічним і електричним устаткуванням. По характеру робіт доменне виробництво відноситься до категорії важких робіт, більшість технологічних операцій виконуються в несприятливих кліматичних умовах виробничого середовища (висока температура, теплове випромінювання, загорошеність, загазованість, шум і вібрація).

При випуску чавуну й шлаків спостерігається підвищення змісту пилу в повітрі робочої зони. Найбільші пиловиділення відбуваються при випуску чавуну й досягають 270 мг/м<sup>3</sup> у головної ринви. Значні концентрації пилу (до 1500 мг/м<sup>3</sup>) у зоні чугуновозного ковша, що заповнюється чавуном. Ця операція супроводжується утворенням хмари пилу, що складає в основному із часточок графіту. П

У таблиці 4.1 представлена оцінка факторів виробничого й трудового процесу горнового.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу горнового

№ п/п	Чинники виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці.			Тривалість дії фактору за зміну %
				1 ступ.	2 ступ.	3 ступ.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>						
	1 кл. небезпеки ангідрид хромовий бенз-(α)-пирен	0,01 0,0002	0,059 0,0002	-	-	5,9p	85
	2 кл. небезпеки аерозоль оксиду марганця	0,3	0,27	-	-		85
	3-4 кл. небезпеки сірководень діоксид азоту азоту оксиди сірчистий ангідрид	10 5 5 10	13,4 7,4 35,5 21,5	1,34p 1,48p 2,1p	-	7,1p	85
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	6	23	-	3,75p	-	85
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	95	3	-	-	85
4	Шум, дБА	80	96	-	-	16	85
5	Мікроклімат у приміщенні, °C:	27	38	-	-	11	85
	-швидкість руху повітря, м/с	0,3	0,5	0,2	-	-	85
	-відносна вологість повітря, %	60	49	-	-	-	85
	-інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140	6000	-	-	5860	85
6	Тяжкість та напруженість праці	Тяжка (категорія 3) праця напружена					

## 4.2 Заходи щодо захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

Проаналізувавши карту умов праці видно, що головними факторами, що впливають на здоров'я горнового, який працює в доменному цеху ПрАТ «Запоріжсталь» є фактори, що виникають у ході технологічних процесів виробництва, а саме це тепло від агрегатів.

Джерелами інтенсивних теплових випромінювань є: розплавлений чавун і шлаки, нагріта до високої температури вогнетривка футеровка внутрішнього простору печі й поверхня розплавлених шлаків, вплив яких проявляється при відкритих вікнах печі.

Робітники ливарного двору періодично піддаються впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях залежно від розмірів і температури джерел випромінювання й відстані становить (0,01...3) м, (6...7) кВт/м<sup>2</sup>.

Випуск чавуну й шлаків з печі супроводжується також виділенням значних кількостей шкідливих для організму газів і з'єднань: оксиду вуглецю, сірчистого газу, різних вуглеводнів і ціаністих з'єднань.

Джерелом виділення газів можуть бути також тріщини в кладці й кожусі доменної печі, нещільності з'єднань окремих елементів конструкцій.

У доменних цехах утворюється й виділяється у виробниче приміщення велика кількість пилу при випуску чавуну й шлаків.

Максимальне пиловиділення спостерігається у головної ринви при випуску чавуну.

При виплавці передільного чавуну й роботі з підвищеним тиском під колошником пил має наступний хімічний склад в %: 6,02 Fe; 12,9 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 13,8 Fe<sub>общ</sub>; 14,6 Si<sub>2</sub>; 4,35 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4,35 Mg; 11,85 Ca; 0,74 S; 3,75 Mn.

Кількість пилу в повітрі робочої зони горнового становить 180 мг/м<sup>3</sup>, при нормі 4 мг/м<sup>3</sup>.

В умовах доменного виробництва шкідливим фактором є шум. При виконанні деяких операцій виникає шум різного походження:

- механічного (рух електромостових кранів, завалочних машин) – 95 дБА;
- термічного (згоряння палив у форсуночних пристроях) – 90 дБА.

### 4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

#### 4.3.1 Мікроклімат

На умови праці горнового виявляють велику увагу характеристики мікроклімату: температура, вологість, швидкість руху повітря, теплове випромінювання. Температура повітря робочої зони становить 42°C, що перевищує норму. Температура повітря залежить від кількості явного (надлишкового) тепла.

У результаті періодичності проведення гарячих операцій мікроклімат цехів нестійкий, з параметрами що часто змінюються.

Різкі коливання температури повітря впливають на теплорегуляцію організму, знижується імунітет працюючих, порушується обмін речовин. Вологість повітря в доменних цехах низька 10 г/м у літку й 8 г/м взимку.

Фактичне значення, швидкості руху повітря в доменних цехах становить (0,2....0,3) м/с, при нормативному значенні 0,3 м/с.

#### 4.3.2 Вентиляція й кондиціювання

Внаслідок виділення великої кількості тепла надлишкового в доменному цеху (ливарний двір) потрібен значний повітрообмін, особливо в літню пору.

Вентиляція є ефективним засобом забезпечення потрібних гігієнічних якостей повітря, що відповідають вимогам Санітарних норм проектування промислових підприємств СН- 245-71.

Вентиляція досягається переміщенням повітря: забрудненого - із приміщення й свіжого - у приміщення.

По застосовуваному способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну (штучну) вентиляцію. При змішаній вентиляції сполучається природна й механічна вентиляція в різних варіантах.

Природна загальнообмінна вентиляція проектується для: ливарного двору, доменних печей будинку повітрянагрівачів і розливної машини. При механічній вентиляції повітрообмін досягає за рахунок різниці тиску, що створюється вентилятором.

Механічна вентиляція застосовується коли тепловиділення в цеху недостатні для використання аерації на протязі року, а також якщо кількість або токсичність шкідливих речовин приміщення, що виділяється в повітря, вимагає підтримки постійного повітрообміну незалежно від зовнішніх метеорологічних умов.

Механічна вентиляція ділиться на робочу й аварійну. Робоча - на загальнообмінну й місцеву. Опалення в приміщенні відпочинку місцеве, а також є центральне опалення допоміжних приміщень. Для опалення доменного цеху й нагрівання приточного повітря використовують тепловиділення від устаткування. Основним методом боротьби з тепловиділеннями на ливарному дворі є система загальнообмінної й місцевої приточної вентиляції, а також кондиціонування повітря.

Місцева витяжна вентиляція застосовується від укриттів головної ринви, чавунних і шлакових льоток.

У доменному цеху використовується душируюча вентиляція кондиціонованим повітрям у льоток для випуску чавуну й шлаків (5 патрубків продуктивністю по 17000 м<sup>3</sup>/рік) (таблиця 4.2).

На ливарному дворі використовують накатні витяжні пристрої під ковшами для чавуну й шлаків.

Приточна вентиляція кондиціонованим повітрям на постах керування (за 3000 м<sup>3</sup>/Г).

Таблиця 4.2 – Значення прийнятих параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Характеристика виробничих приміщень за надлишковим тепловиділенням (більш-менш 23 Вт/м <sup>2</sup> )	Категорія робіт	Період року (теплий) на постійних робочих місцях			Температура повітря поза пост. робочих місць
			t <sup>o</sup> <sub>п</sub> , °C	Відн. вологість %	Швидкість руху повітря, м/з	
			Теплий період	5520	Важка Ш	

Опалення виробничих приміщень варто приймати повітряне, сполучене із приточною вентиляцією. Використовується природна загально-обмінна вентиляція (аерація). Визначення загального повітрообміну по тепловиділенням.

Кількість необхідного приточного повітря (без обліку місцевих відсосів) визначається по формулі

Тепловиділення від доменної печі визначаються по формулі

$$L_{np} = \frac{Q_y - C_n(t_{p.z} - t_n)}{C_v(t_{y.x} - t_{np})}, \quad (4.1)$$

де  $Q_y$  – надлишок явної теплоти в приміщенні,  $Q_y = 7969358,8$ ;

$C_n$  - теплоємність повітря,  $C_v = 1,005$  кДж/(м<sup>3</sup>·К);

$t_{p.z}$  – температура робочої зони,  $t_{p.z} = 42$  °C;



$t_{np}$  – температура приточного повітря,  $t_{np} = t_n = 27$  °С;

$t_{yx}$  – температура повітря, що видаляється з верхньої зони приміщення, °С.

$$L_{np} = \frac{7969358,8 - 1,0005(42 - 27)}{1,005(36,9 - 27)} = 881077,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Температура повітря, що видаляється  $t_{yx}$  визначають за формулою, °С

$$t_{yx} = \frac{t_{p.z} - (1 - m) \cdot t_{np}}{m}, \quad (4.2)$$

$$t_{yx} = \frac{42 - (1 - 0,7) \cdot 27}{0,7} = 36,6 \text{ °С.}$$

Таким чином, необхідна кількість приточного повітря, що поступає до цеху – 881077,2 м<sup>3</sup>/год.

Тепловиділення від доменної печі визначаються за формулою, Вт

$$Q = a \cdot F_n (t_n - t_g), \quad (4.3)$$

де  $t_g, t_n$  - температура в цеху й поверхні печі, °С;

$F_n$  - площа бічної поверхні печі, м<sup>2</sup>;

$a$  - коефіцієнт теплообміну, 18 Вт/(м<sup>2</sup> К);

$$Q = 18 \cdot 70(140 - 42) = 125244 .$$

У цеху чотири доменні печі, Вт

$$\sum Q_n = 4 \cdot 125244 = 500976 .$$

Тепло що поступає від відкритих робочих вікон, Вт

$$Q_u = 3 \cdot k \cdot c_0 \left[ \left( \frac{T_u}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 \right] F \frac{\tau}{60}, \quad (4.4)$$

де  $k$  - коефіцієнт діафрагмування, дорівнює 0,65;

$c_0$  - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, дорівнює 5,67 Вт/м<sup>2</sup>;

$T_u, T_o$  - температура робочого простору й навколишнього середовища, К;

$F$  - площа випромінюючої поверхні;

$\tau$  - час на який відкривається вікно протягом години, 20 хв.

$$Q_u = 3 \cdot 0,65 \cdot 5,67 \left[ \left( \frac{1473}{100} \right)^4 - \left( \frac{315}{100} \right)^4 \right] 1,16 \frac{20}{60} = 200842,8,$$

Тепло що поступає від металу, що остиває

$$Q_m = 0,28 [c_{ж} (t_{поч} - t_{\phi}) + l_{\phi} + c_{тв} (t_{\phi} - t_{кін})] \cdot G / \tau, \quad (4.5)$$

де  $c_{ж}$  і  $c_{тв}$  - питома теплоємність матеріалу в рідкому й твердому стані, 1,17 і 0,73 кДж/(кг·К);

$t_{поч}, t_{\phi}, t_{кін}$  - температура відповідно початкова, фазового перетворення й кінцева, °С;

$l_{\phi}$  - теплота фазового перетворення, 96 кДж/кг;

$G$  - маса матеріалу, 60000 кг;

$\tau$  - час знаходження металу в цеху, 0,5 години.

$$Q_m = 0,28 [1,17(1600 - 1400) + 96 + 0,73(1400 - 700)] \cdot 60000 / 0,5 = 7131348.$$

Надлишкові тепловиділення визначаються як сума всіх складових, Вт

$$\sum Q_{над} = 500976 + 200842,8 + 136192 + 7131348 = 7969358,8.$$

Висота розташування температурного перекриття визначається з номограми,  $z = 18,5$  м.

Різниця тисків, що викликає переміщення аераційного повітря через приточні й витяжні прорізи, кгс/м<sup>2</sup>

$$\Delta p = (z - z_1)(\gamma_n - \gamma_{p.z}) + (z_2 - z)(\gamma_n - \gamma_y) \quad (4.6)$$

де  $\gamma_n, \gamma_{p.z}$  - питома вага відповідно навколишнього й видаляемого повітря, кг/м<sup>3</sup> визначається

$$\gamma = 353/T$$

$$\gamma_n = 353/293=1,2 \quad \gamma_{p.z} = 353/315=1,12 \quad \gamma_y = 353/320=1,1$$

$$\Delta p = (18,5 - 1,5)(1,2 - 1,12) + (30 - 18,5)(1,2 - 1,1) = 2,51.$$

Втрати тиску на прохід повітря через приточні прорізи

$$\Delta p_1 = \beta \cdot \Delta p, \quad (4.7)$$

де  $\beta$  - частка різниці тисків, що витрачається на прохід повітря через приточні прорізи, приймаємо 0,2;

$$\Delta p_1 = 0,2 \cdot 2,51 = 0,502 \text{ кгс/м}^2.$$

Втрати тиску на прохід повітря через витяжні прорізи ліхтаря

$$\Delta p_2 = \Delta p - \Delta p_1 \quad (4.8)$$

$$\Delta p_2 = 2,51 - 0,502 = 2,008 \text{ кгс/м}^2.$$

Площа приточних прорізів

$$F_{np} = \frac{G}{3600 \sqrt{\frac{2g \cdot \gamma_n}{\zeta_1} \Delta p_1}}, \quad (4.9)$$

де  $\zeta_1$  – коефіцієнт місцевого опору приточних прорізів, дорівнює 3,5 для одинарної підвісної стулки при куті відкриття  $60^\circ$ .

$$F_{np} = \frac{881077,2}{3600 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1,2}{3,5} 0,502}} = 448,9 \text{ м}^2.$$

Площа витяжних прорізів

$$F_{вм} = \frac{G}{3600 \sqrt{\frac{2g \cdot \gamma_y}{\zeta_2} \Delta p_2}}, \quad (4.10)$$

де  $\zeta_2$  – коефіцієнт місцевого опору ліхтаря, для п-образного Рюкіна й Ільїнського при куті відкриття стулок  $55^\circ$  дорівнює 7,1 (див. рис. 4.1).

$$F_{вм} = \frac{881077,2}{3600 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 5}{7,1} 2,008}} = 412,3 \text{ м}^2.$$

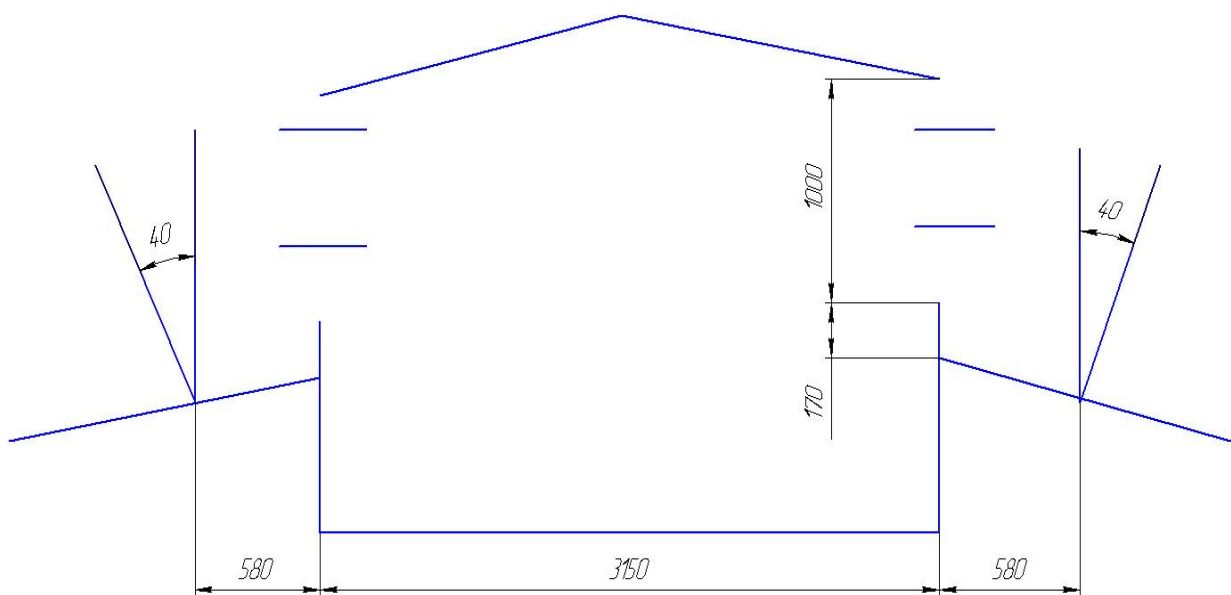


Рисунок 4.1 - Аераційний ліхтар

### 4.3.3 Освітлення

Природне освітлення поверхні на відкритому місці створюється прямим сонячним світлом і дифузійним світлом небозводу. Співвідношення між освітленням прямим і дифузійним світлом небозводу.

Основний показник - коефіцієнт природної освітленості (КПО) відношення природної освітленості, створюваної в деякій точці заданої площини усередині приміщення світлом неба безпосередньо або після відбиття ( $E_v$ ), до одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості створюваної світлом повністю відкритого небозводу ( $E_n$ )

$$l = E_v / E_n \cdot 100\% . \quad (4.11)$$

$l=3\%$ , розряд зорової роботи VII. Нормоване значення КПО ( $E_n$ ) з урахуванням характеру зорової роботи й світлового клімату в районі розташування будинку.

$$l_n = l \cdot m \cdot c , \quad (4.12)$$

де  $l$  - значення КПО;

$m$  - 1,9 - коефіцієнт світлового клімату;

$c$  - коефіцієнт сонячного клімату.

Спрощений метод розрахунку площі світлових прорізів складається у визначенні відносини площі світлових прорізів ( $S_o$ ) до площі підлоги приміщення ( $S_n$ ), в % при якому забезпечується нормоване значення  $l_n$ . При верхнім освітленні приміщень розрахунок виконується за формулою

$$100 \cdot S_o / S_n = l_n \cdot \eta_\phi / \tau_0 \cdot r_2 , \quad (4.13)$$

де  $r_2$ - коефіцієнт, що враховує підвищення к.п.о. при верхнім висвітленні завдяки світлу, що відбивається від поверхні приміщення  $r_2 = 1,45$ ;

$\eta_\phi$  - світлова характеристика світлових прорізів,  $\eta_\phi = 2,62$ ;

$\tau_0$  - загальний коефіцієнт пропущення прорізу.

$$100 S_o / S_n = 0,23 \cdot 2,62 / 1,5 \cdot 1,45 = 0,028.$$

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й захворюванню очей, а також може бути причиною нещасних випадків.

Штучне освітлення.

Електричне освітлення необхідно для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення:

- довжина приміщення - 90 м;
- ширина приміщення - 50м;
- висота приміщення - 7м.

Норма освітленості 75 лк - для лампи накаливання.

Рівень у горизонтальній площині на який найменша освітленість становить 75 лк:  $h_0 = 0,8$  м.

Коефіцієнт запасу,  $K = 1,3$  .

Розрахункова висота:  $h = 7 - 0,8 = 6,2$  м.

Площа:  $S = 90 \cdot 50 = 4500$  м<sup>2</sup>.

Індекс приміщення

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A+B)} = \frac{4500}{6,2(50+90)} = 5,18$$

Коефіцієнт відбиття підлог і стін  $P_n = 50\%$ ,  $P_c = 30\%$ .

Використовуються лампи накаливання НГД 127-100 (напруга на лампі 127В, потужність 100 Вт, світловий потік 1260 мм, D = 81 мм, L = 125 мм),

світильник «Універсаль». УПМ: пит. потужність «Універсаль»:  $16 \text{ Вт/м}^2$  ;  
 $\eta=0,386$  - коефіцієнт використання, тобто відносна частка потоку лампи, що падає на поверхню  $S$ .

Необхідний світловий потік лампи кожного світильника розраховується за формулою

$$F_{np} = \frac{E \cdot K \cdot \rho \cdot Z}{N} \quad , \quad (4.14)$$

де  $Z$  - коефіцієнт переходу від найменшої освітленості до середньої,  
 $Z=(1,1\dots 1,2)$ , лм

$$F_{np} = \frac{75 \cdot 1,3 \cdot 4500 \cdot 1,1}{0,386} = 1250323,8$$

Необхідне число ламп

$$N = \frac{1250323,8}{4500} = 276.$$

Відстань між центрами світильників, м

$$l = h \cdot m = 6,2 \cdot 0,5 = 3,1.$$

Відстань від стіни по першому ряді світильників при наявності робочих місць у стіни  $b' = 1/3 l = 1/3 \cdot 3,1 = 1,03 \text{ м}$ .

Відстань між крайніми рядами світильників, розташованих у протилежних стін (по ширині цеху):  $C = h - 2b' = 6,2 - 2 \times 1,03 = 4,14$ .

Кількість рядів світильників 12 шт, по 23 світильника в ряді.

#### 4.4 Захисні заходи з електробезпеки

Для забезпечення електробезпеки обслуговуючого персоналу і нормальної роботи систем РЗА, ПА і АСУ ТП виконується захисне і робоче заземлення пристроїв цих систем згідно з вимогами ПУЕ.

Рекомендується кабельні лінії різного призначення прокладати по різних трасах, виконуючи з'єднання кабелів горизонтальними заземлювачами. Металеві оболонки і броня кабелів повинні заземлюватись в місці вводу в будівлю релейного щита ,а також в місцях кінцевого розділення кабелів. Металеві коробки, по яких прокладаються кабелі слід заземлювати через 5-10 метрів.

Для кіл міжмашинного обміну повинні застосовуватись тільки екрановані симетричні кабелі. Ці кабелі повинні прокладатись на якомога більшій відстані від силових кіл.

Взагалі, в залежності, від характеру діяння ЕМВ на лінії зв'язку і підімкнену до них релейну апаратуру можуть бути рекомендовані наступні способи захисту:

- застосування дводровових симетричних ліній зв'язку, добре ізольованих між собою та від землі;
- виключення застосування однодротових зовнішніх ліній зв'язку;
- екранування підземних кабелів з мідною, алюмінієвою, свинцевою оболонкою або прокладання їх в сталевих конструкціях, трубах;
- електромагнітне екранування блоків та вузлів апаратури;
- використання різного роду захисних вхідних пристроїв і грозозахисних засобів (троси, заземлюючі контури і т. ін.).

Як заходи захисту від прямого дотику застосовані: ізоляція струмоведучих частин; огороження і оболонки; бар'єри; розміщення поза зоною досяжності. Як заходи захисту у разі непрямого дотику застосовані:



Автоматичне відключення живлення; ізолювальні зони; система зрівнювання потенціалів; електричне відокремлення кіл.

Існуючі та проєктовані заходи захисту від ураження електричним струмом відповідають вимогам ДСН 3.3.6.037, ДСНІП 239-96, ГОСТ 12.1.002-84, Д СанПіН 3.3.6-2002.

Струмоведачі частини повністю покриті ізоляцією, яка може бути усунена тільки шляхом руйнування. Ізоляція струмоведачих частин електрообладнання повинна відповідати стандартам або технічним умовам на це електрообладнання. Струмопровідні частини електрообладнання і ошиновка 1 кВ знаходяться поза зоною досяжності на висоті не менше 3,2 м від рівня землі.

Для електрообладнання, яке може зберігати електричний заряд після відключення (наприклад, конденсатори), для запобігання дотику до нього повинен бути виконаний попереджувальний напис. Перед дотиком до струмоведачих частин відключених конденсаторних батарей необхідно провести додатковий розряд замиканням висновків накоротко і на корпус металевою шиною з заземлювальним провідником, укріпленої на ізолюючій штанзі.

Для забезпечення автоматичного відключення живлення необхідно виконати систему заземлення і основну систему зрівнювання потенціалів, а також забезпечити координацію характеристик захисних пристроїв, які здійснюють це відключення.

#### 4.5 Пожежна безпека

Проєкт розроблений у суворій відповідності з ДБН В.1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Несучі та огорожувальні конструкції виконані з негорючих матеріалів. Приміщення належать до II ступеня

вогнестійкості і мають евакуаційні виходи безпосередньо назовні або через тамбури згідно з п.5.13 та п.5.12 ДБН В.1.1.7-2002.

Ширина евакуаційних шляхів виконана відповідно до п.5.28 ДБН В.1.1.7-2006. Евакуаційні виходи з будівель виконані у відповідності до вимог п.5.9 та п.5.18 ДБН В.1.1.7-2006. Для запобігання розтікання масла з маслонаповненого обладнання та розповсюдження пожежі при їх пошкодженні проектом передбачені маслоприймач, масловідводи і маслозбірник заглибленого типу об'ємом 2,5м<sup>3</sup>. В якості протипожежних заходів на території цеху передбачені наступні заходи: застосування кабелів з ізоляцією, що не підтримують горіння; підключення швидкодіючими релейними захистами кабелів; установка пожежних щитів з вуглекислотними вогнегасниками, совковими лопатами і ящиками з піском для гасіння пожежі.

Ступінь вогнестійкості усіх будівель згідно СНиП2.01.02-85 “Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений” приймається II. До будівель і споруд забезпечуються під’їзди пожежних машин. Гасіння пожеж на підстанції передбачається міською пожежною командою, а також первинними засобами гасіння пожежі, які встановлені на протипожежних щитах згідно таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Первинні засоби вогнегасіння в доменному цеху

Найменування Споруди	Найменування та тип засобів вогнегасіння	Кіл-сть шт.
РУ – 6 кВ	Ящик з піском	2
	Щит с первинними засобами вогнегасіння	2
	Вогнегасник ОУ 8	2
Щит управління	Вогнегасник ОУ 8	4
	Пересувний вогнегасник ОУ 80	1
ЗПК	Вогнегасник ОУ 2	4

Металеві конструкції запроектовані відповідно до вимог СНиП II-23-81, СНиП 2.01.07-85. Марки сталі, прийняті в залежності від групи конструкцій. Всі заводські з'єднання металоконструкцій прийняті зварні, монтажні - зварні та на болтах нормальної та грубої точності. Для забезпечення необхідної вогнестійкості всі металоконструкції покриваються емалевими складами по ґрунтованій поверхні. Таким чином, вимоги щодо пожежної безпеки відповідають нормам.

Таблиця 4.2 – Категорія виробництва за пожежо - і вибухонебезпечністю

Найменування вузлів і допоміжних споруд	Категорія виробництва за СНиП	Характеристика будівельних конструкцій	Клас приміщення за ПУЭ
Вузол установки електрообладнання	В Пожежонебезпечне. В елементах РУ наявне масло з температурою возгорання 135 °С	Незгоряємі (залізобетонні і сталеві)	П1
РУ – 6 кВ	Г	Незгоряємі (із збірного залізобетону і сталі)	-
РУ – 1 кВ	В	Незгоряємі (з елементів БМЗ)	П1
ЗПК	Г	Незгоряємі (з елементів БМЗ)	-
Кабельні канали	В	Незгоряємі конструкції	П1

#### 4.6 Засоби індивідуального захисту

Для захисту органів слуху застосовують зовнішні і внутрішні противошуми (антифони). Як зовнішні противошуми рекомендують використовувати шумозахисні навушники, які покривають вушну раковину, як внутрішні противошуми – заглушки, вкладиші, які вставляють в зовнішній слуховий прохід. Ступінь ослаблення шуму залежить від конструкції противошуму і частоти. Заглушки послаблюють шум на 5-7 дБ при частотах до 500 Гц і на 15 дБ при частотах понад 3000 Гц. Протишуми конструкції МІОТ послаблюють шум до 8 дБ при частотах до 500 Гц і до 55 дБ при частотах 5000-7000 Гц.

Для захисту від низькочастотних шумів придатні заглушки – кліпси, які представляють собою гумові пробочки з плоскою торцевою поверхнею, які закріплені на обідку з сталевого дроту, що пружинить, діаметром 1,5-2 мм. Для захисту від тепловиділень на об'єкті застосовують щільні матеріали з тканини, а також захисні рукавички. Для захисту органів дихання використовують фільтр типу «тюльпан». Інших засобів індивідуального захисту не передбачається.

#### 4.7 Розробка заходів захисту від тепловиділень

Розрахунок аерації пічного прольоту.

Оскільки в цеху температура повітря досягає 40 °С і запиленість повітря перевищує нормативне значення у  $G_{\phi} \setminus G_n = 23 \setminus 6 = 3,75$  рази, необхідно застосовувати загальнообмінну вентиляцію. Для цього в цеху влаштовують аераційні ліхтарі.

Кількість теплоти, що виділяється в цеху від печі:

$$Q_1 = \left\{ 2.2 \cdot \left( \frac{T_e}{10} + 32 \right)^{5/4} + \left[ \left( \frac{T_e}{1000} + 3.23 \right)^4 - 2.91 \right] \right\} \cdot 1.163 \cdot F_n, \quad (4.15)$$

де  $T_e$  – температура печі, К;

$F_n$  – площа печі, м<sup>2</sup>.

$$Q_1 = \left\{ 2.2 \cdot \left( \frac{973}{10} + 32 \right)^{5/4} + \left[ \left( \frac{973}{1000} + 3.23 \right)^4 - 2.91 \right] \right\} \cdot 1.163 \cdot 32.8 = 48384 \text{ Вт}$$

Тепловиділення від сонячної радіації через світлові прорізи

$$Q_2 = 9653 \cdot F_c, \quad (4.16)$$

де  $F_c$  – площа світових прорізів, м<sup>2</sup>.

$$Q_2 = 9653 \cdot 10 \cdot 4 = 386120 \text{ Вт.}$$

Втрати теплоти через зовнішні огради у межах робочої зони

$$Q_p = 6978 \cdot F_{б.с.}, \quad (4.17)$$

де  $F_{б.с.}$  – площа бокових стін цеху, м<sup>2</sup>.

$$Q_p = 6978 \cdot 7 \cdot 4 = 195384 \text{ Вт.}$$

Кількість теплоти, яке виділяється у цеху від різних джерел

$$Q = \sum Q_i = Q_1 + Q_2. \quad (4.18)$$

$$Q = 48384 + 386120 = 434504 \text{ Вт.}$$

Кількість повітря, необхідного для асиміляції надлишкових тепловиділень

$$G = \frac{4.15 \cdot \alpha \cdot (m \cdot Q - Q_p)}{t_{p.z.} - t_n}, \quad (4.19)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує висоту розташування припливних отворів;  
 $m$  – коефіцієнт, що враховує вплив площі, займаної тепловиділяючим обладнанням.

$$G = \frac{4.15 \cdot 1.04 \cdot (0.62 \cdot 434504 - 195384)}{40 - 25} = 213174 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Визначивши кількість повітря  $G$ , необхідного для асиміляції надлишкових теплових виділень в цеху, можна розрахувати площі припливних  $F_{пр}$  і витяжних  $F_{вит}$  прорізів цеху

- щільності видаляється і зовнішнього повітря

$$\rho_y = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot a_y. \quad (4.20)$$

$$\rho_y = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 1,33 \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_n = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot a_n. \quad (4.21)$$

$$\rho_n = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 13 = 1,341 \text{ кг/м}^3.$$

- відстань від нейтральної зони до центрів припливних та витяжних прорізів

$$h_s = \frac{H_1}{0.64 \frac{\rho_y}{\rho_n} + 1}. \quad (4.22)$$

$$h_e = \frac{2}{0.64 \cdot \frac{1.33}{1.341} + 1} = 1.22 \text{ м.}$$

$$h_n = H_I + h_e. \quad (4.23)$$

$$h_n = 2 + 1,22 = 3,22 \text{ м.}$$

- площі припливних та витяжних прорізів

$$F_{np} = \frac{213174}{3600 \cdot 0,56 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 3,22 \cdot 1,341 \cdot (1,341 - 1,33)}} = 109,6 \text{ м}^2;$$

$$F_{sum} = \frac{213174}{3600 \cdot 0,57 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 1,22 \cdot 1,33 \cdot (1,341 - 1,33)}} = 175,6 \text{ м}^2.$$

У цеху для загальнообмінної вентиляції застосуємо П-образні аераційні ліхтарі з вітробойними щитками [44].

Розрахунок теплоізоляції поста управління. Необхідно вибрати і визначити кількість екранів, які будуть захищати пульт управління від тепла в цеху з відкритою феросплавної піччю.

Температура стінки  $t_1 = 40^\circ\text{C}$ , температура повітря  $t_2 = 23^\circ\text{C}$ . Пост керування викладений цеглою. Ступінь чорноти  $E_n = 0,85$ . Потрібно забрати всередині поста температуру не більше  $26^\circ\text{C}$ .

$$T_u = 273 + 40 = 313 \text{ К};$$

$$T_e = 273 + 23 = 296 \text{ К};$$

$$T_s = 273 + 26 = 299 \text{ К.}$$

Визначаємо ступінь екранізації

$$\mu = \frac{T_u}{T_\varepsilon} \quad . \quad (4.24)$$

$$\mu = \frac{313}{299} = 1,05 \quad .$$

Вибираємо екран з альфоля, ступінь чорноти якого  $E_a = 0,37$ . Тоді наведені ступені чорноти будуть

1) між альфолем і цегляною стіною [45]

$$E_{u\varepsilon} = \frac{1}{\frac{1}{E_u} + \frac{1}{E_\varepsilon} - 1} \quad . \quad (4.25)$$

$$E_{u\varepsilon} = \frac{1}{\frac{1}{0,85} + \frac{1}{0,37} - 1} = 0,35$$

2) між альфолем і повітрям, для якого можна прийняти  $E_\varepsilon = 0,82$ .

$$E_{u\varepsilon} = \frac{1}{\frac{1}{0,85} + \frac{1}{0,82} - 1} = 0,714 \quad . \quad (4.26)$$

Визначаємо число екранів [46]

$$n = \frac{1 - \left(\frac{T_\varepsilon}{T_u}\right)^4}{\frac{1}{\mu^4} - \left(\frac{T_\varepsilon}{T_u}\right)^4} \cdot \frac{E_{u\varepsilon}}{E_{u\varepsilon}} - 1 \quad . \quad (4.27)$$

$$n = \frac{1 - \left(\frac{296}{313}\right)^4}{\frac{1}{1,05^4} - \left(\frac{296}{313}\right)^4} \cdot \frac{0,35}{0,714} - 1 = \frac{1 - 0,8}{0,82 - 0,8} \cdot 0,49 - 1 = 3,9 \approx 4 \quad .$$



Отже, необхідно використовувати чотири шари з альфоля, щоб забезпечити температуру всередині поста управління в межах 26°C. Пульти управління також має кондиціонер для створення мікроклімату з оптимальними умовами праці всередині нього.

## ВИСНОВКИ

У дипломному проекті виконаний аналіз втрат електроенергії в схемі оборотного циклу окалиновмістних стоків цеху заводу. Визначені причини нераціонального використання електроенергії.

Існуюча схема водопостачання має наступні недоліки:

- енергія стовпа води, піднятої на висоту +24,000 м насосами насосної станції підкачування, губиться при розриві струменя у баках-акумуляторах;
- для регулювання продуктивності використовується запірна арматури великого діаметра, що веде до її передчасного зношування і підвищенню ймовірності відмови;
- регулювання за допомогою запірної арматур не дозволяє точно збалансувати продуктивність обох насосних станцій, що веде до перевитрати води й електроенергії;
- регулювання за допомогою запірної арматур енергетично не вигідне, оскільки звичайно при цьому губиться від 5 до 10 % енергії;
- не вирішене завдання регулювання продуктивності оборотного циклу відповідно до потреб виробництва, у результаті чого відбувається перевитрата води і, як наслідок, перевитрата електроенергії на її транспортування.

Зазначені недоліки приводять до перевитрати електроенергії на привод насосних агрегатів, збільшенню собівартості прокатної продукції.

Були вивчені способи регулювання роботи насосних станцій, які застосовані у металургійному виробництві й розроблені заходи щодо економії електроенергії на привод насосів освітленої води.

Запропоновані заходи щодо використання енергії стовпа води шляхом виключення розриву струменя в баках акумуляторів і подачі води з напором до 20 м вод.ст. безпосередньо на всас насосів освітленої води й регулювання продуктивності насосних агрегатів освітленої води за допомогою частотно-

регульованого електропривода дозволять знизити споживання електроенергії на привод насосів на 587,951 кВт.

В економічному розділі виконані розрахунки основних техніко-економічних показників проекту й визначена доцільність проекту. Строк окупності запропонованих заходів – 0,34 року, що робить їх високорентабельними й дозволяє рекомендувати до впровадження.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Луговой А.В., Родькин Д.И., Черный А.П. и др. Энергосберегающее оборудование для систем нерегулируемого электропривода // Проблемы создания новых машин и технологий: Сб. научных трудов КГПИ. – Вып. 1 / 1998. – Кременчуг: КГПИ, 1998, с. 15-23.
2. Гладырь А.И. Технологические предпосылки применения пусковых систем с квазичастотным управлением // Проблемы создания новых машин и технологий: Сб. научных трудов КГПУ. – Вып. 2 / 2000 (9). – Кременчуг: КГПУ, 2000, с. 84-88.
3. ДСТУ 2339-94. Энергозбереження. Основні положення. – Київ: Видавництво стандартів, 1994.- 5 с.
4. ДСТУ 2804-94. Енергобаланс промислового підприємства. Загальні положення. Терміни та визначення. – Київ: Видавництво стандартів, 1994.- 17 с.
5. ДСТУ 2339-94. Енергозбереження. Методи аналізу та розрахунку зниження витрат палива та енергії на металургійних підприємствах. – Київ: Видавництво стандартів, 1993.- 7 с.
6. Про комплексну державну програму енергозбереження України: Постанова КМ України від 19 березня 1997 року № 148 //Урядовий кур'єр. – 1998 – 1 квітня. – С. 5
7. [http://www.eia.doe.gov/Iron and Steel Energy Intensities](http://www.eia.doe.gov/Iron%20and%20Steel%20Energy%20Intensities).- Официальный сайт министерства статистики США
8. <http://cenef.sumy.ua> .- официальный сайт Сумского регионального «Центра энергоэффективности»
9. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат , 1983. – 191 с.
10. СНиП 2.04.02-84\* - Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат , 1983 – 134 с.
11. СНиП II-12-77 – Защита от шума. – М.: Стройиздат , 1978. – 75 с.

12. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общин требования безопасности
13. ГОСТ 22247-96. Насосы центробежные. Основные параметры и размеры. Требования безопасности. Методы контроля.
14. ГОСТ 12.01.029-80. ССБТ. Общие методы защиты от шума.
15. Богуславский Л.Д. Экономика водоснабжения. 2-е изд. – М.:Стройиздат. 1987. - 280 с
16. Про енергозбереження: Закон України від 1 липня 1997 року № 74/94-ВР//Урядовий кур'єр. – 1997 – 15 липня. – С.10
17. ДСТУ 2155-93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності. – Київ: Видавництво стандартів, 1993.- 7 с.
18. Коренькова Т.В., Костюк Ю.С. Анализ работоспособности оборудования насосных станций // Вісник КДПУ, вып. 2 / 2003 (19). Кременчук, КДПУ, 2003, с. 78-83.
19. Коренькова Т.В. Техничко-економічна оцінка ефективності використання системи ТРН-АД в електроприводі насосних установок // Зб. наук. прац. КДПУ – вып. 2 / 2001. – Кременчук, КДПУ, 2001, с. 98-101.
19. Низимов В.Б., Низимов Р.В. Сравнительная оценка влияния систем облегченного пуска синхронных двигателей на пусковые характеристики // Техн. електродинаміка, 2003, №3, с. 34-37.
20. Вагин Г.Я., Головки Н.Н. и др. Методика технико-економічного обґрунтування впровадження ресурсо- і енергозберігаючих технологій і обладнання в промисловості // Промислова енергетика, 2005, №6, с. 8-13.
21. Луговой А.В., Черный А.П. Вопросы практического энергосбережения промышленных предприятий // Проблемы создания новых машин и технологий: Сб. научных трудов КГПИ. – Вып. 1 / 1998. – Кременчук: КГПИ, 1998, с. 5-13.
22. Прайс-лист от 01.06.2006 ОАО «Южный электромашиностроительный завод» (г. Новая Каховка).

23. Жидицкий В.Ц., Джигерей В.С., Мельников А.В. Основы охраны труда. Учебник. – Изд. 2-е, дополненное. – Львов: Афиша. 2000. – 351с.
24. Баланчевадзе В. И. Энергетика сегодня и завтра: Учебное пособие / В.И. Баланчевадзе, А. И. Барановский - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 344 с.
25. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справочник в 2-х книгах / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев – М.: Теплоэнергетик, 2005. – 234 с.
26. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / [под общ. ред. В.А. Григорьева]. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 348 с.
27. Никифоров Б.И. Энергосбережение на металлургических предприятиях / Б.И. Никифоров, Г.В. Заславец: Монография – Магнитогорск: МГТУ. - 2000. – 131 с.
28. Методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учётом качества потребляемой и отводимой воды в чёрной металлургии. – М.: МЧМ СССР. – 1981. – 167 с.
29. Методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения с учётом качества потребляемой и отводимой воды в чёрной металлургии (II редакция с дополнениями и изменениями). – М.: МЧМ СССР. – 1988. – 211 с.
30. Андоньев С.М. Особенности промышленного водоснабжения: Учебное пособие – Киев: Будівельник. – 1981. – 246 с.
31. Бережинский А.И. Охлаждение и очистка газов кислородных конвертеров: Учебное пособие / А.И. Бережинский, А.Ф Циммерман . – М.: Металлургия, 1975. – 316 с.
32. Андоньев С.М. Испарительное охлаждение металлургических печей: Учебное пособие – М.: Металлургия, 1970. – 318 с.
33. Шейдлин А. Е. Новая энергетика: Учебное пособие - М.: Наука. 1987. - 463 с.
34. Проектирование систем управления/Г. К. Гудвин, С. Ф. Греббе, М. Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ.ьЛаборатория знаний, 2004. – 911 с., ил.