

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСУ ВАКУУМНОГО  
БАКУ ПАПЕРОРІВНОЇ МАШИНИ»**

Виконав: студент VI курсу  
групи Ен-61 спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Филип'юк В. В.

Керівник: \_\_\_\_\_ Гречин Д. П.

Рецензент: \_\_\_\_\_ Сиротюк С. В.

**ДУБЛЯНИ 2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – *другий (магістерський) рівень*  
Спеціальність 141 «*Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

(підпис)

к.т.н., доцент Левонюк В. Р.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_\_ року

ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу студенту  
Филип'юку Владиславу Васильовичу

Тема роботи: «Автоматизований електропривод насосу вакуумного баку папероробної машини»

Керівник роботи доцент, к.т.н. Гречин Д. П.

( наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом по університету від «12» вересня 2024 р. № 616 /к-с

1. Строк подання студентом роботи 6.12.2024 р.
2. Вихідні дані до роботи  
технічна документація, науково-технічна і довідкова література, законодавча та нормативна база України з питань охорони праці.
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Характеристика підприємства
2. Обґрунтування типу системи автоматизованого електроприводу насосу вакуумного баку
3. Автоматизований електропривод насосу вакуумного баку
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.
5. Ефективність прийнятих рішень.

Висновки

Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу – презентація.

6. Консультанти з розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконан ня
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	<i>Дробот І. М., ст.викладач</i>			
4	<i>Городецький І. М. к.т.н., доцент</i>			

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ етапу	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Отримання завдання. Вивчення рекомендованої літератури за темою КР, написання аналітичного огляду кваліфікаційної роботи, вивчення об'єкту (I розділ роботи).</i>	<i>12.09.2024 – 25.09.2024</i>	
2.	<i>Обґрунтування та розроблення електроприводу, Побудова моделі, проведення досліджень.(II-III розділи роботи).</i>	<i>26.09.2024 – 1.11.2024</i>	
3.	<i>Розроблення та обґрунтування пропозицій щодо реалізації результатів роботи. Розроблення питань з охорони праці, Написання економічної частини. (IV- V розділи роботи).</i>	<i>2.11.2024 – 24.11.2024</i>	
4.	<i>Кінцеве оформлення кваліфікаційної роботи та оформлення ілюстративних матеріалів, таблиць, задача КР на рецензування.</i>	<i>25.11.2024 – 1.12.2024</i>	
5.	<i>Підготовка до захисту в ЕК (написання доповіді). Пробний захист на кафедрі, виправлення зауважень. Завершення кваліфікаційної роботи в цілому</i>	<i>2.12.2024 – 6.12.2024</i>	

Студент \_\_\_\_\_ Филип'юк В. В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Гречин Д. П.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

УДК 631.313.3

## Р Е Ф Е Р А Т

Филип'юк В. В. «Автоматизований електропривод насосу вакуумного баку папереробної машини». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 56 с. текстової частини, 5 таблиць, 18 рисунків, 15 джерел посилання.

**Об'єкт дослідження:** система електроприводу вакуумного баку.

**Мета роботи:** розроблення системи автоматизованого електроприводу вакуумного баку.

**Завдання дослідження:** проаналізувати особливості роботи підприємства та обґрунтувати тему кваліфікаційної роботи, обґрунтувати тип електроприводу вакуумного баку, розроблення системи автоматизованого електроприводу вакуумного баку, побудова моделі електроприводу та дослідження її роботи, розрахунок терміну окупності.

У кваліфікаційній роботі: проаналізовано діяльність підприємства; розкрито питання актуальності кваліфікаційної роботи; проаналізовано способи регулювання продуктивності насосних установок і обґрунтовано вибір регулюванням швидкості обертання; проаналізовано способи регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна та обґрунтовано використання частотного керування; запропоновано схему автоматизованого електроприводу вакуумного баку, вибрано перетворювач частоти та побудовано модель системи електроприводу; проаналізовано питання охорони праці; проведено економічний розрахунок.

**Ключові слова:** електропривод, вакуумний бак, насос, регулювання продуктивності, електропривод, асинхронний двигун, перетворювач частоти, модель, графічні залежності.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА	8
1.1 Виробничо-господарська характеристика	8
1.2 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	12
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСУ ВАКУУМНОГО БАКУ	14
РОЗДІЛ 3 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСУ ВАКУУМНОГО БАКУ	20
3.1 Існуюча система керування насосною установкою	20
3.2 Модернізація системи електроприводу	21
3.3 Структурно-математична модель системи автоматизованого електроприводу вакуумного баку	26
3.4 Дослідження динаміки системи автоматизованого електроприводу вакуумного баку	36
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	39
4.1 Аналіз травмонебезпечних ситуацій під час виконання роботи вакуумного баку	39
4.2 Планування заходів з покращення охорони праці	40
4.3 Оцінка рівня небезпеки виникнення травм	41
РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	48
ВИСНОВКИ	51
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	52

## ВСТУП

В 1843 р. німецький винахідник Ф. Келлер відкрив спосіб отримання деревинної маси шляхом стирання деревини на точильному камені. Це відкриття мало велике значення для подальшого розвитку паперового виробництва, так як з'явилась можливість використовувати дешеву і доступну сировину – деревину. Вже в 1844 р. була створена машина для стирання деревини, яку назвали дефібрер.

Спочатку дефібрери мали дуже примітивну конструкцію. Пізніше з'явилися більш сучасні пресові, потім ланцюгові, гвинтові і кільцеві дефібрери.

Деревинна маса знайшла широке застосування в виробництві паперу, картону, вона входить в склад більшості видів цієї продукції в межах від 10 до 90%. Її питома вага в балансі напівфабрикатів для паперового виробництва становить близько 36%. Виробляють чотири види деревинної маси: білу, буру, хімічну і термомеханічну.

Для виробництва білої деревинної маси в основному застосовується деревина хвойних порід: ялина, піхта і сосна. Деревинну масу високої якості отримують з ялинкової деревини, яку застосовують при виробництві широкого асортименту паперу і є основним компонентом в газетному папері. З піхти отримують також хорошу деревинну масу, але механічні показники її нижчі, ніж в ялинкової. Соснова деревина має високий вміст смоли і для виготовлення білої деревинної маси на наших підприємствах її майже не застосовують. Окрім деревини хвойних порід, для виробництва білої деревинної маси використовують деревину листяних порід – осини, тополі і ін. Цю деревинну масу добавляють до деревинної маси, отриманої з хвойної деревини.

Хімічний склад білої деревинної маси приблизно такий ж, як і в вихідній деревині.

Волокна деревинної маси при відливі паперу утворюють погане переплетення і не дають міцного листа. Тому при виробництві паперу її застосовують лише разом з целюлозою. Білу деревинну масу для внутрішніх потреб виробляють в відповідності з технологічним режимом, затвердженням на підприємстві.

Технічні вимоги на деревинну масу встановлюють в залежності від виду паперу і картону, для якого вона призначена.

Товарна деревинна маса біла (і вибілена) випускається марок А, Б, В, Г і К (ГОСТ 10014 – 73).

Вибілена деревинна маса марки А використовується для часткової заміни вибіленої целюлози в композиції друкарського паперу і писального.

Біла деревинна марок Б, В і Г застосовують в композиції з вибіленою целюлозою для паперу типу типографічного і писального № 2, а також для деяких і картону в композиції з невибіленою целюлозою – типографічного №3, писального кольорового, обкладинкового, курильного, картону і паперу з покрівним шаром та ін.

Біла деревинна маса марки К використовується для картонів типів коробочного та ін.

Основними компонентами споживчої тари (лотків на яйця) є маса деревна біла та макулатурна маса, а також хімічні компоненти.

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

#### 1.1 Виробничо-господарська характеристика

Відкрите акціонерне товариство "Жидачівський целюлозно-паперовий комбінат" засноване відповідно до рішення Фонду державного майна України від 25 грудня 1995р. № 56-АТ. Назва товариства: повна - відкрите акціонерне товариство "Жидачівський целюлозно-паперовий комбінат"; скорочена - ВАТ "ЖЦПК", англomовна - JOIN STOCK COMPANY"ZHHDACHIV PULP AND PAPER MILLS.

Підприємство знаходиться за адресою: Україна, Львівська обл., Жидачів, вул. Фабрична, 4.

Дане підприємство виробляє: папір, картон, вироби з них, а також випускає товари народного і технічного призначення шляхом перероблення сировинних ресурсів-деревини, макулатури, целюлози, хімікатів і т.п. з подальшим продажем, отримання прибутку на вкладений капітал для задоволення інтересів учасників і членів трудового колективу товариства.

Предметом діяльності Товариства є виготовлення із деревини, макулатури, хімікатів і т. і. напівфабрикатів для виробництва паперу і картону - деревинної маси і целюлози: виробництво паперу для потреб поліграфії, інших видів промисловості та власних погреб; картону для потреб поліграфії, інших видів промисловості та власних потреб; таропакувальної продукції (гофрокартону, ящиків з нього, прокладок для пакування яєць, мішків і т. п.); технічних видів паперу; товарів народного споживання; гуртова і роздрібна торгівля картонно-паперовою і пакувальною продукцією; експортно-імпортна діяльність: діяльність з іноземними інвестиціями; купівля-продаж акцій товариства, надання послуг:



- дотримуватися установчих документів Товариства, виконувати рішення загальних зборів Товариства;

- не розголошувати комерційну таємницю та конфіденційну інформацію про діяльність Товариства;

- виконувати інші обов'язки, якщо це передбачено чинним законодавством України.

Статутний фонд Товариства становить 22808279 (двадцять два мільйони вісімсот вісім тисяч двісті сімдесят девять) гривень 25 копійок.

Статутний фонд Товариства поділений на 456165585 (чотириста п'ятдесят шість мли. сто шістдесят п'ять тисяч п'ятсот вісімдесят п'ять) простих іменних акцій номінальною вартістю 0,05 гривні ( п'ять копійок) кожна.

ВАТ «Жидачівський целюлозно - паперовий комбінат» виробляє 22 види товарної продукції, а саме:

- папір газетний м. А, Б, О (маса 45,5 - 48,8 г/м<sup>2</sup>);
- папір газетний кольоровий м. А, Б;
- обгортковий м. Є, Ж, Д, А;
- папір для гофрування м. Б-1, Б-2, Б-3 (маса 112 -150 г/м<sup>2</sup>);
- основа для водонепроникаючого паперу;
- папір для розмножувальної техніки м. А-1;
- картон тарний для плоских шарів гофров, картону м. К-1,К-2 (маса 125 - 175г/м<sup>2</sup>);
- гофрокартон м. Т-21 - Т-24;
- ящики з гофрокартону;
- тара горбкувата для яєць;
- мило сульфатне.

На комбінаті діє таке обладнання по випуску товарної продукції:

- **паперове виробництво** - п'ять папероробних машин: ПРМ № 1 - на реконструкції; ПРМ № 2 - продуктивність 25 тис.т/рік, обрізна ширина полотна - 3500мм ПРМ № 3 - продуктивність 28 тис.т/рік робочою шириною 2520 мм,

оснащена АСУТП; ПРМ № 4 - на реконструкції; ПРМ № 5 - продуктивністю 35 тис.т/рік робочою шириною 2520 мм, оснащена АСУТП;

- **картонне виробництво** - картоноробна машина продуктивністю 60 тис. тон картону в рік по випуску тарного, коробкового, рубероїдного картону масою 200-500 г/м<sup>2</sup>, обрізна ширина полотна - 2900 мм.

**Загальні висновки відносно стану підприємства** - основна частина виробничих фондів ВАТ "ЖЦПК" знаходиться в задовільному технічному стані і дає можливість забезпечити випуск продукції необхідної якості.

Велика увага приділяється технології виробництва газетного паперу. На паперовій машині №5установлена система виміру і регулювання ваги і вологості 1 м<sup>2</sup> паперу та система контролю процесом. В технологічному потоці папероворобної машини встановлений поздовжньо-різальний верстат і транспортно пакувальна лінія. І це забезпечує виготовлення паперу з якісною намоткою рулонів та його різку.

Потребує реконструкції частина основних фондів, що забезпечує виробництво волокнистих напівфабрикатів. Це реконструкція целюлозного заводу з організацією випуску сульфатної небіленої хвойної целюлози нормального виходу, що повинно забезпечити можливість випуску високоякісного картону, мішочного паперу та «флютингу», і відповідно, продуктів переробки гофрокартонної тари.

Слід приділити увагу заміні існуючого фізично зношеного обладнання по виробництву деревної маси з метою створення стабільної напівфабрикатної бази для одержання якісних друкарських видів паперу.

Широкий асортимент гофроящиків реалізується підприємствам харчової промисловості (м'ясо-молочним, консервним, кондитерським, виногорілчанам, рибопереробним підприємствам).

Таблиця 1.1 – Перелік основного технологічного обладнання по ВАТ «Жидачівськи ЦПК»

	Найменування обладнання	Продукція, під яку потужності	Швидкість м/хв	Обріз шир мм	Потужність
1	ПРМ№ 2	папір для гофрув. обгортковий (125г/м <sup>2</sup> )	125	2100-1250	26000 млн. м <sup>2</sup> /рік
2	ПРМ№ 3	картон для плоских шарів гофрокартону (К-1.К-2) 160г/м <sup>2</sup>	175	2100	28000 млн. м <sup>2</sup> /рік
3	ПРМ № 5	газетний (м. А, Б) (45,0-48,8	580	2520	33000 млн. м <sup>2</sup> /рік
4	КРМ	Картон коробковий	90	2900	60000 млн. м <sup>2</sup> /рік
5	Гофроагрегат ЛСГКП-2	гофрокартон трьох-шаровий (Т-22), гофроящик	85	2100	60 млн. м <sup>2</sup> /рік
6.	Гофроагрегат ЛГКП-2	гофрокартон технічний	50	1250-1050	17,7 млн. м <sup>2</sup> /рік
7.	Вакум-формування машина	тара горбкувата для яєць			70 млн. шт.

Другим за обсягом є ринок газетного паперу. Продукція комбінату на цьому ринку складає близько 26 %. Участь на внутрішньому ринку розширилась проти попереднього періоду у 2 рази. Ринок характерний присутністю на ньому безпосередніх постійних споживачів - видавництв, які є достатньо платоспроможними, що створює жорстку конкуренцію постачальників за їх грошові кошти. Ємкість ринку газетного паперу має тенденцію до зростання, а пропозиція не задовольняє попит на рівні 20 - 25 %. Динамічно зростає ринок на сировину для виробництва гофротари - картон

тарний та папір для гофрування в зв'язку з приростом потужностей в Україні по виробництву гофротари на базі малих та середніх виробників та розширенням потреб в тарі. Обсяги продаж цих видів продукції на внутрішньому ринку зросли на 22 %. Попит залишиться незадоволеним і в поточному році, що дає стабільну перспективу росту продаж.

Нестабільним є ринок горбкуватої тари. Виробництво яєць в минулому знизилось, обсяги продаж горбкуватих прокладок стали останнім часом нарощувати обсяги. Не еластичність попиту і пропозицій та сезонні коливання ринку не дають підстав для гарантованого розширення збуту.

Регулюючим важелем залишається ефективна цінова політика. Ринок на окремі види продукції формується під впливом різних факторів, головними з них є не потреба в конкретному виді товару, а реальна платоспроможність, яка в різних секторах ринку має свій рівень.

Визначальним ринком для комбінату є ринок гофротари, який дає 50% всіх поступлень.

## **1.2 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи**

Об'єктом кваліфікаційної роботи є система електроприводу насоса відкачування води з вакуумного баку. Оскільки на підприємстві для регулювання продуктивності відкачування води в даному місці використовують ручне керування шляхом дроселювання ми пропонуємо цей процес автоматизувати.

Як відомо, що регулювання шляхом дроселювання має низький коефіцієнт корисної дії, оскільки часто навіть при замкненому вентилі двигун насоса все одно працює, що є не економічно, а також при низькому завантаженні двигуна мережа завантажується реактивними струмами, що веде до зниження коефіцієнта потужності.

Тому ми пропонуємо систему дроселювання замінити на регулювання швидкості обертання помпи, в функції рівня води.

Для цього необхідно встановити давач рівня води у вакуумному баку, а також для живлення двигуна насоса перетворювач частоти. В залежності від рівня води система автоматичного керування буде регулювати швидкість обертання двигуна, а відповідно і продуктивність насоса.

Така модернізація полегшить роботу працівників на даному об'єкті, а також забезпечить високу якість регулювання та високий коефіцієнт корисної дії роботи водо насосної установки.

## РОЗДІЛ 2

## ОБГРУНТУВАННЯ ТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСУ ВАКУУМНОГО БАКУ

При використанні насосів, виникає потреба у регулюванні їх тиску і продуктивності. Основні способи реалізації даної потреби можна наступними способами: ввімкненням-вимкненням двигуна насосу, зміною числа працюючих насосів, зміною швидкістю привідного двигуна регулюванням засувкою.

Використовування засувки – це збитковий спосіб регулювання, хоча один із найпростіших у реалізації.

*Експлуатаційні характеристики насоса при регулюванні продуктивності засувкою*

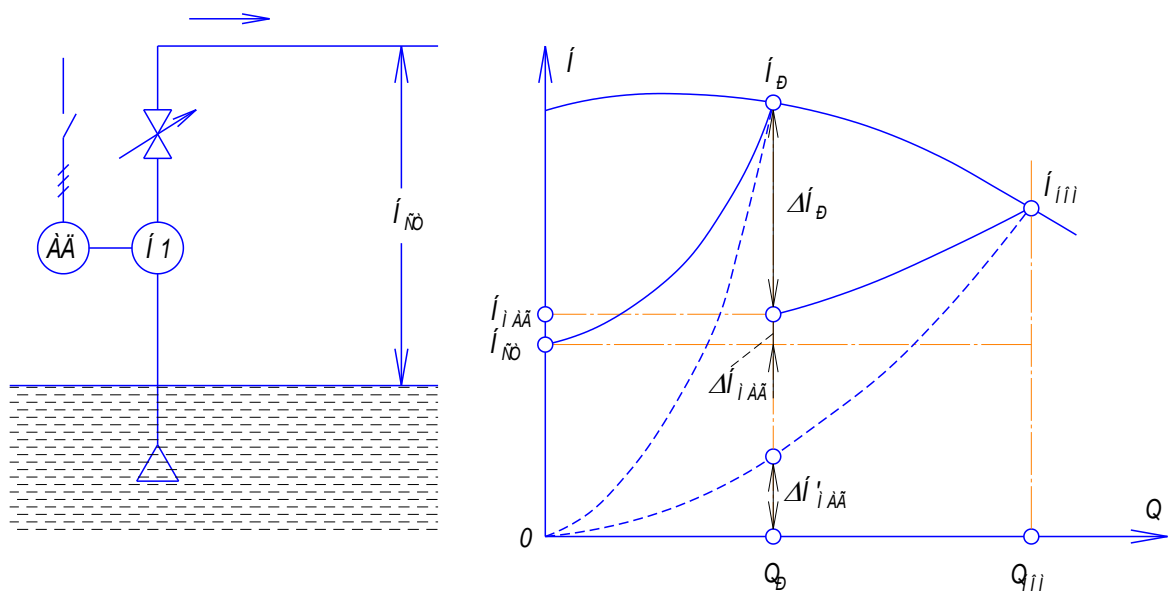


Рисунок 2.1 – Схема та характеристика  $Q - H$  при регулюванні продуктивності вентилем

Даний метод здійснюється шляхом зміни гідравлічного опору магістралі. При закриванні вентиля, зменшується продуктивність насосу, збільшується напір, швидкість двигуна постійна (рис. 2.1).

Регулювання швидкості насосу – це найбільш економічний спосіб регулювання продуктивності насосу (рис. 2.2).

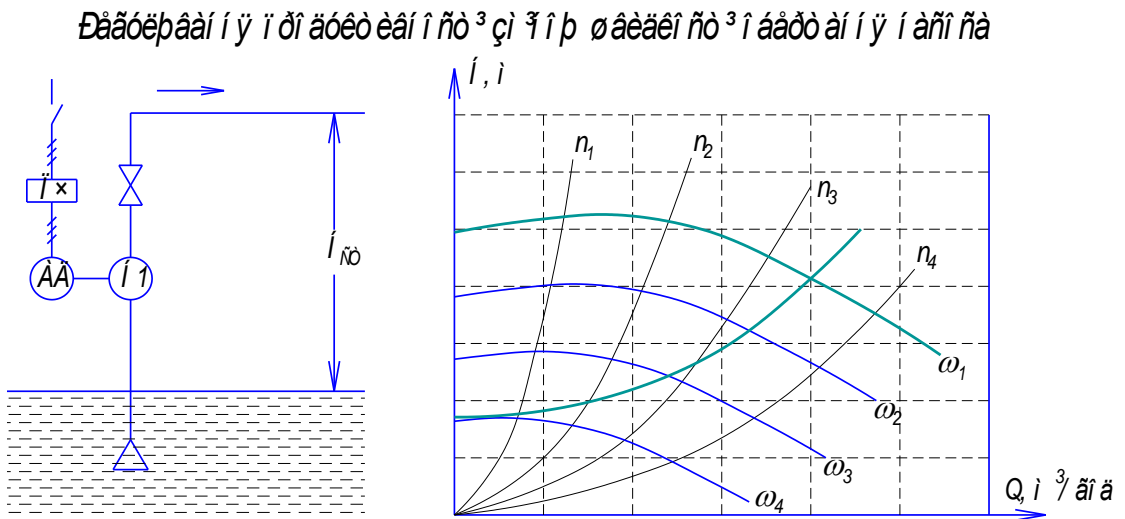


Рисунок 2.2 – Схема та характеристика Q – Н при регулюванні продуктивності зміною швидкості

При обмежених можливостях регулювання швидкості насосів, доцільніше регулювати продуктивність зміною кількості працюючих насосів, додатковий насос періодично вмикається-вимикаються (рис. 2.3).

Якщо насос робочий лише один, то вмикати-вимикати двигун.

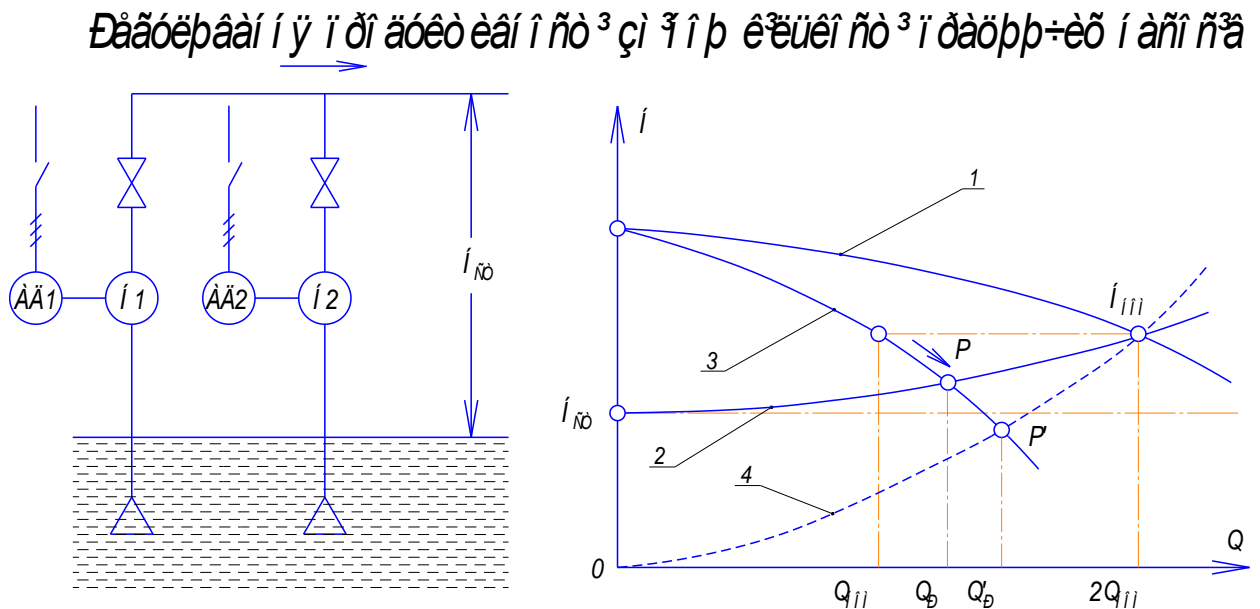


Рисунок 2.3 – Схема та характеристика Q – Н при регулюванні продуктивності вентилем при паралельній роботі насосів: 1, 3 – характеристики насосів; 2,4 –характеристики системи.

Провівши аналіз способів регулювання продуктивності насосів ми прийшли до висновку про доцільність використання регулювання продуктивності зміною швидкості обертання насоса.

Можливі варіанти електроприводу насоса із регулюванням швидкості обертання: двошвидкісний асинхронний двигун; асинхронний двигун з реостатами в колі фазного ротора; асинхронний двигун з тиристорним регулятором напруги; перетворювач частоти- асинхронний двигун.

Двошвидкісний двигун здійснює ступінчасте регулювання швидкості, що для даного механізму не забезпечить плавне регулювання швидкості.

Реостатне керування певною мірою може забезпечити плавне регулювання швидкості, проте він є збитковий з точки зору енергозбереження.

Систему електроприводу асинхронний двигун з тиристорним регулятором напруги доцільно розглядати через наступні позитивні якості: м'який пуск, за рахунок проміжних характеристик, діапазон регулювання швидкості 10:1; безконтактна система керування; обмежений кидок струму; вища надійність. Тиристорний регулятор напруги сьогодні використовують переважно як пристрій плавного пуску, а як засіб регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів використовують інколи у вентиляційних установках.

Електропривод побудований за схемою перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ-АД) повністю включає в себе всі основні переваги електроприводу із тиристорним регулятором напруги та має їх ще більше, зокрема забезпечує більший пусковий момент. До недоліків даного електроприводу слід віднести високу вартість, та складність самого перетворювача. Ці перетворювачі є доволі надійними, є зручними у налаштуваннях, а їх вартість зі збільшенням асортименту зменшується.

Енергозбереження в електроприводі досягається шляхом вибору раціонального режиму роботи і експлуатації електропривода. А саме: підвищення завантаження робочих машин; вибір доцільного способу



регулювання швидкості згідно характеру зміни моменту навантаження; вибір діапазону регулювання швидкості електроприводу із врахуванням умов роботи та технологічного процесу; виключення режиму неробочого ходу; оптимізація динамічних режимів; зниження напруги на затискачах двигуна.

Використання регульованого частотного електропривода для турбомеханізмів забезпечує збереження енергії шляхом усунення непродуктивних витрат енергії. При цьому економія електроенергії прямо пропорційна непродуктивним витратам і може досягати 80%.

Частотно-регульований привод заощаджує непродуктивні витрати енергії, окрім того він використовує функцію енергозбереження. Використання даної функції дозволяє заощаджувати ще від 5 до 30% електроенергії підтримуючи електродвигун в режимі оптимального ККД. При роботі у режимі енергозбереження відбувається автоматичне відстеження перетворювачем споживаного струму, здійснюється автоматичний розрахунок навантаження, у результаті знижується вихідна напруга. За рахунок чого, відбувається зниження втрат в обмотках двигуна і збільшення його ККД.

У частотно-регульованому електроприводі економічний і технічний ефект досягається:

- за рахунок скорочення експлуатаційних витрат;
- за рахунок зниження витрат на установку додаткової регулюючої арматури;
- за рахунок використання режимів м'якого пуску і зупинки двигуна;
- за рахунок введення зворотного зв'язку по регульованому параметру (частоті обертання, зусиллю, температурі, в нашому випадку по рівню). При цьому привод дозволяє автоматично регулювати тиск, в залежності від споживання води.

Частотно-регульований електропривод, має багато переваг. Ці переваги особливо помітні у регульованому технологічному процесі, наприклад, здійснюється регулювання об'єму, швидкості, тиску тощо, а робоча машина

оснащена двигунами із постійною швидкістю. У такому випадку до переваг частотно-регульованого електропривода відносять:

- пристосованість до агресивного середовища;
- менший час простоїв;
- можливість удосконалення;
- зменшення витрат на обслуговування;
- підвищена якість устаткування;
- поліпшена якість продукції;
- краща керованість, висока швидкодія, великий діапазон регулювання, добра сумісність, можливість керування кількома приводами, великі прискорення і гальмування, плавний пуск);
- заощадження енергії.

Проте є і недоліки:

- скорочується термін служби двигуна;
- необхідність додаткового простору для електроніки;
- велика складність;
- необхідно застосовувати спеціальні фільтри та ізолюючі трансформатори;
- значні величини гармонік струму і напруги;
- високі капітальні витрати.

Отже, у кожному конкретному випадку необхідно оцінювати переваги та недоліки які є у даному випадку. Якщо недоліки традиційного привода, можуть бути зменшені шляхом використання частотно-регульованого електроприводу, то доцільно його використовувати.

В загальному випадку, аналізуючи продукцію провідних світових виробників систем привода, а також матеріали наукових досліджень опубліковані у даній галузі дозволяють відмітити основні тенденції розвитку електропривода.

Постійно зменшується використання систем електроприводу із використанням двигуна постійного струму, а відповідно збільшується використання систем електроприводу із двигунами змінного струму. Це пояснюється низькою експлуатаційною надійністю колектора та високою вартістю колекторного двигуна постійного струму порівняно із двигуном змінного струму. Прогнозується, що на Європейському ринку із загальної кількості регульованого приводу, що продається – електропривод змінного струму складатиме 68%, а електропривод постійного струму становитиме лише 15%. Решту ринку припадатиме на механічні і гідравлічні приводи.

Переважно застосовують у даний час приводи із короткозамкненим асинхронним двигуном. Близько 80% таких приводів – нерегульовані. Через різке здешевлення статичного перетворювача частоти їх частка – частотно-регульованого асинхронного електроприводу швидко збільшується.

Для масових застосувань приводу, більшості технологічних процесів (компресори, конвеєри, вентилятори, насоси, тощо) потрібно відносно низьку швидкодію, і порівняно невеликий діапазон регулювання швидкості (до 1:10). У такому випадку доцільно використовувати скалярний частотно-регульований асинхронний електропривод. Широкий діапазон регулювання швидкості (до 1:10000), а також швидкодіючий електропривод транспортних засобів, роботів, верстатів, потребує застосувати більш складні структури векторного керування. Частка такого приводу становить близько 5% від загальної кількості і постійно зростає.

Після проведеного аналізу існуючих типів електроприводу та загальних тенденцій їх подальшого розвитку, можна зробити обґрунтований вибір частотно-регульованого асинхронного електропривода.

## РОЗДІЛ 3

### АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСУ ВАКУУМНОГО БАКУ

#### 3.1 Існуюча система керування насосною установкою

Об'єктом кваліфікаційної роботи є система електроприводу насоса відкачування води з вакуумного баку. Оскільки на підприємстві для регулювання продуктивності відкачування води в даному місці використовують ручне керування шляхом дроселювання ми пропонуємо цей процес автоматизувати.

Як відомо, що регулювання шляхом дроселювання має низький коефіцієнт корисної дії, оскільки часто навіть при замкненому вентилі двигун насоса все одно працює, що є не економічно, а також при низькому завантаженні двигуна мережа завантажується реактивними струмами, що веде до зниження коефіцієнта потужності.

Провівши аналіз роботи установки можна відмітити виявлені недоліки:

- здійснення прямого пуску АД з короткозамкненим ротором потужності (18,5 кВт);
- робота недовантажених двигунів знижує  $\cos \varphi$  і ККД;
- при низькому коефіцієнті потужності виникає потреба у додаткових компенсуючих пристроях на підстанціях.

Усі виявлені недоліки знижують продуктивність насосної станції в цілому, збільшують витрати на ремонт електрообладнання, збільшують витрати електроенергії, зменшують надійність роботи насосних агрегатів і електроприводів. В зв'язку з цим ми вирішили реконструювати таку схему керування.

### 3.2 Модернізація системи електроприводу

Ми пропонуємо систему дроселювання замінити на регулювання швидкості обертання помпи, в функції рівня води.

Для цього необхідно встановити давач рівня води у вакуумному баку, а також для живлення двигуна насоса перетворювач частоти. В залежності від рівня води система автоматичного керування буде регулювати швидкість обертання двигуна, а відповідно і продуктивність насоса.

Така модернізація полегшить роботу працівників на даному об'єкті, а також забезпечить високу якість регулювання та високий коефіцієнт корисної дії роботи водо насосної установки.

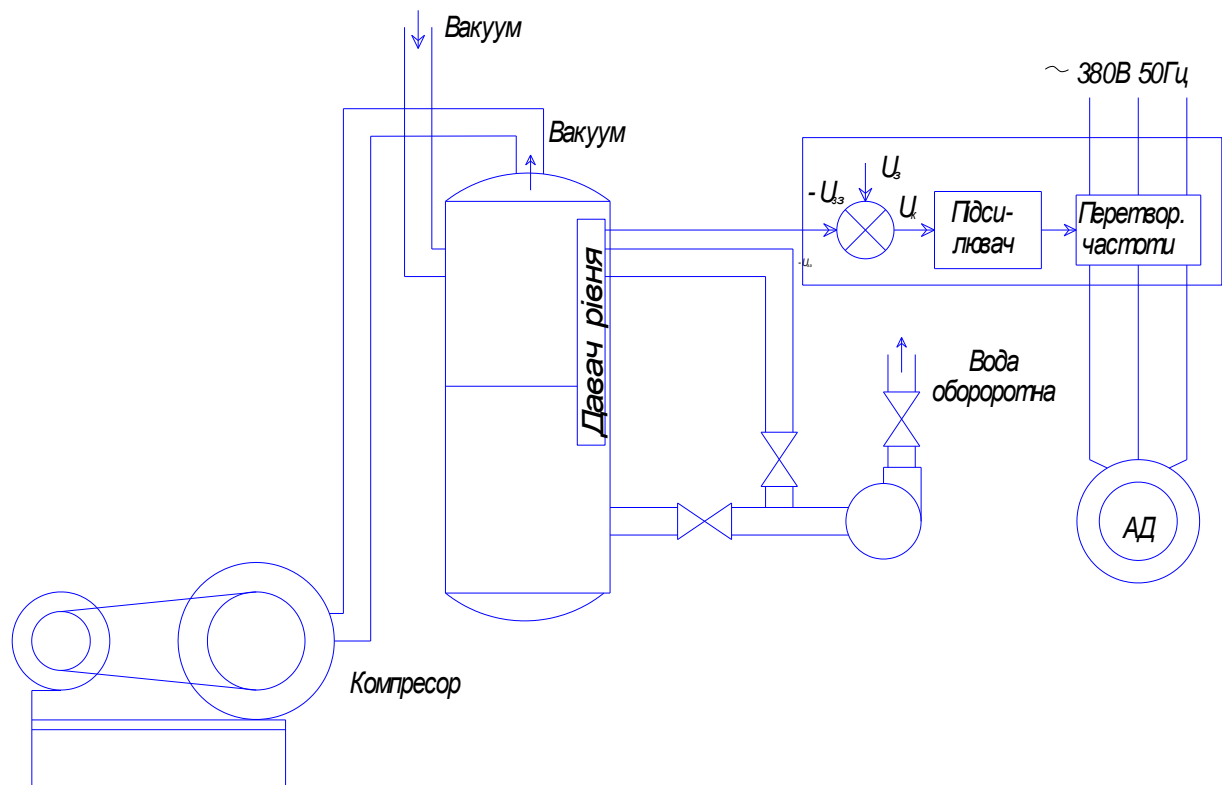


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи автоматизованого електроприводу насоса



До даного двигуна вибираєм перетворювач частоти Altivar 38 із наступними номінальними параметрами: ATV-38HD25N4;  $P_H=18,5$  кВт;  $I_H=37$ А;  $U_H=380$  В.

На рисунку 3.2 зображено схему підключення перетворювача частоти: (1) силове живлення; (2) контакти реле безпеки для сигналізації стану перетворювача; (3) +24 внутрішнє джерело.

У перетворювачі частоти можна програмно реалізувати ПІ – регулятор (рис. 3.3). Дві входи AI2 або AIC дозволяють підключити датчик зворотнього зв'язку за певним параметром і активувати ПІ – регулятор. Задаючим входом завжди є AI1.

Таблиця 3.1 – Призначення клем

Клема	Призначення
<b>R1A</b> <b>R1B</b> <b>R1C</b>	Перемикаючий контакт реле безпеки R1
<b>LI1</b> <b>LI2</b> <b>LI3</b> <b>LI4</b>	Логічні входи, живлення 24 В, стан 0, якщо <5 В, 1, якщо > 11 В
<b>COM</b>	Загальна точка вхід-вихід
<b>AI2</b> <b>AIC</b>	Аналоговий вхід по напрузі 0+10 В Аналоговий вхід по струму від 0 до 20 мА Використовується AI2 або AIC
<b>AI1</b>	Аналоговий вхід по напрузі 0+10В
<b>+10</b>	Живлення задаючого потенціометра
<b>R2A</b> <b>R2C</b>	Замикаючий контакт реле r2
<b>AO</b>	Аналогові входи, 0-20 мА або 4-20 мА
<b>+24</b>	Живлення логічних входів

В меню можна налаштувати:

- коефіцієнт зворотнього зв'язку регулятора (FbS);
- інверсія сигналу корекції (PIC);
- пропорційний коефіцієнт підсилення регулятора (rPG);

- інтегральний коефіцієнт підсилення регулятора (rIG);

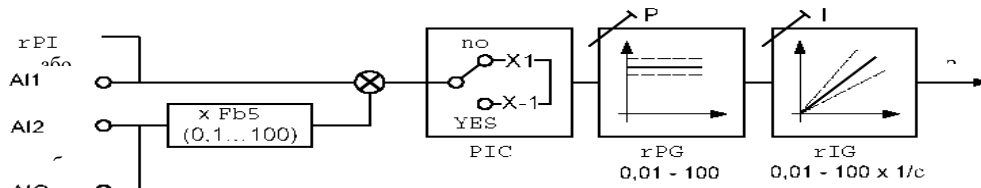


Рисунок 3.3 – Вбудований в перетворювач ПІ – регулятор

Зовнішній вигляд дисплею зображено на рис. 3.4.

Коли в перетворювачі активований ПІ – регулятор, то можна активувати наступні функції:

- зупинка на вибігу;
- швидка зупинка;
- динамічне гальмування (можливі два випадки: 1) автоматично, якщо частота менше 0,5 Гц.); 2) активізацією логічного входу, призначеного на цю функцію.

Додатково перетворювач можна комплектувати виносним терміналом, який монтується на дверях шафи. (рис. 3.5).

Він приєднується кабелем із роз'ємом, який до послідовного порта перетворювача. На пульті така сама індикація і такі самі клавіші керування, що і у перетворювачі частоти Altivar 38, а також є перемикач для блокування доступу до меню і три клавіші керування перетворювачем:

- STOP/RESET: команда зупинки двигуна або скидання несправності;
- RUN: команда на пуск двигуна;
- FWD/RV: вимірювання напряму обертання.



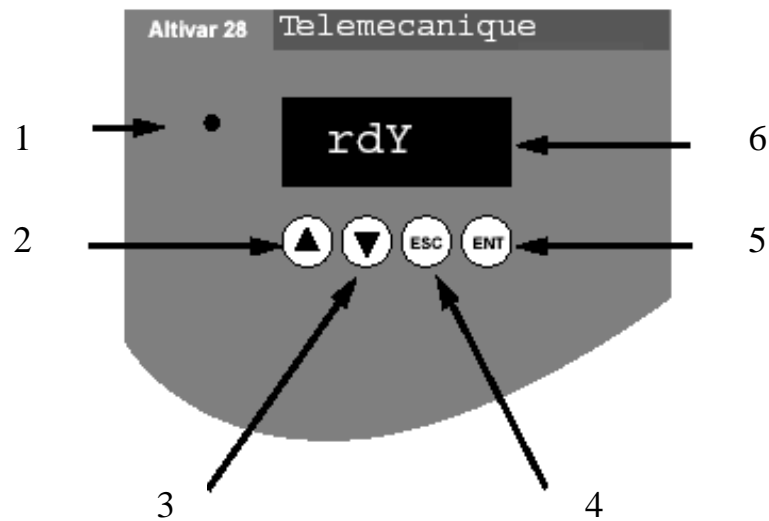


Рисунок 3.4 – Дисплей перетворювача та клавіші керування

1 - червоний світлодіод: живлення увімкнено; 2 - перехід до попереднього параметру або меню; 3 - перехід до наступного параметру; 4 - вихід з меню або параметр; 5 - вхід в меню або параметр; 6 - чотири семисегментних індикатори.

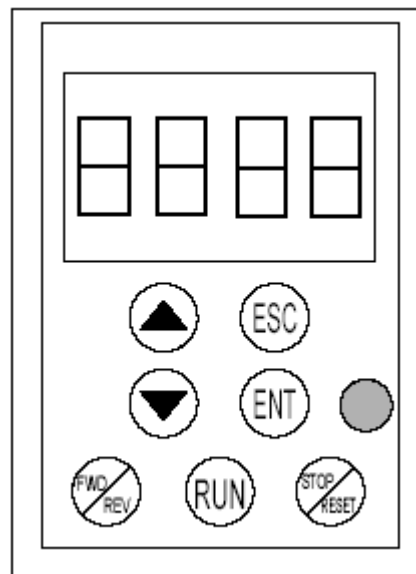


Рисунок 3.5 – Додатковий виносний термінал

При догляді перетворювача частоти AltiVar 38 рекомендується періодично:

- перевіряти стан і кріплення з'єднань

- перевіряти значення температури біля перетворювача, щоб вона залишалась на прийнятному рівні і вентиляція ефективна;
- прибирати при необхідності порох з перетворювача.

### 3.3 Структурно-математична модель системи автоматизованого електроприводу вакуумного баку

Оскільки ми оприділились із типом електроприводу та способом регулювання продуктивності, то необхідно перевірити, як ця система буде працювати. Дослідження проведемо шляхом математичного моделювання.

При математичному моделюванні будують математичну модель – систему рівнянь, що описує об'єкт, який моделюється. Моделювання електромеханічних систем здійснюють для дослідження властивостей систем динамічних і статичних загалом чи окремих її елементів (ланок).

Отже, треба здійснити побудову структурної моделі автоматичної системи керування та на її базі розробити модель системи; провести дослідження та аналіз режимів роботи. Моделювання будемо здійснювати у програмі MATLAB/Simulink.

Модель складається із:

- перетворювач частоти;
- давач зворотнього зв'язку за рівнем;
- пропорційно – інтегральний регулятор рівня;
- асинхронний двигун.

Розпочнем побудову моделі системи з моделі асинхронного двигуна.

Скористаємось спрощеним описом динаміки, обмежившись розглядом тільки робочого відрізу природної механічної характеристики двигуна, в діапазоні зміни ковзання від  $s=0$  до  $s=s_k$ . Основними припущеннями, які приймаються при спрощеному описі динаміки асинхронного двигуна, є:

- нехтують індуктивним опором ротора  $X_p$  та активним опором статора  $R_c$ .
- потокозчеплення статора  $\psi_1$  залишається незмінним в динамічних режимах;

Припущення  $\psi_1 = const$  наближено зберігається при всіх способах регулювання, крім регулювання напругою статора двигуна при незмінній частоті живлення статора регулювання двигунів з подвійним живленням, а також.

Індуктивний опір ротора  $X_p$  значно менший від активного опору ротора:

$$X_p = 2\pi f_c L_p s \ll R_p. \quad (3.1)$$

Ці припущення спрощують рівняння статички і динаміки. Рівняння моменту при роботі двигуна з ковзанням  $0 \leq s \leq s_k$ :

$$M_\delta = \frac{2M_k s}{s_k} = \frac{2M_k (\omega_0 - \omega_\delta)}{s_k \omega_0} = \beta (\omega_0 - \omega_\delta), \quad (3.2)$$

де  $s_k = \frac{R'_{2\Sigma}}{X_k}$  – критичне ковзання двигуна;

$M_k = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0 X_k} = \frac{3U_\phi^2 s_k}{2\omega_0 R'_{2\Sigma}}$  – критичний момент двигуна;

$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{P_n}$  – швидкість ідеального холостого ходу двигуна;

$X_k = X_c + X'_p$  – індуктивний опір кола короткого замикання;

$\omega_\delta$  – біжуче значення швидкості двигуна;

$P_n$  – кількість пар полюсів;

$R'_{2\Sigma}$  – сумарний приведений активний опір кола ротора;

$\beta = \frac{2M_k}{\omega_0 s_k}$  – коефіцієнт жорсткості робочого відрізка механічної

характеристики  $\omega_\delta = f(M)$  двигуна

Запишем в операторній формі рівняння динаміки трифазного асинхронного електродвигуна.

Рівняння руху двигуна:

$$J_{\Sigma} p \omega_{\delta} = M_{\delta} - M_c. \quad (3.3)$$

Фазна напруга статора:

$$U_{\phi} \cong E_1 = 2\pi f_1 w_1 \Phi_{\mu} = \omega_{0el} \phi_1 = \omega_0 p_n \phi_1. \quad (3.4)$$

ЕРС ротора:

$$E_p = \omega_{pel} \phi_1 = R_{2\Sigma} \Gamma_p + L_2 p \Gamma_p. \quad (3.5)$$

Момент двигуна:

$$M_{\delta} = 3 p_n \phi_1 \Gamma_p. \quad (3.6)$$

$\phi_1 = w_1 \Phi_{\mu}$  - потокозчеплення поля статора;

$\omega_{0el} = 2\pi f_1$  - кутова електрична частота обертання напруги мережі;

$\omega_{pee} = \omega_{0el} - \omega_{\delta el}$  - кутова електрична частота обертання поля ротора;

$\omega_{\delta el} = p_n \omega_{\delta}$  - кутова електрична швидкість обертання ротора;

$\Phi_{\mu}$  - результуючий потік двигуна.

Після перетворень отримаємо систему рівнянь відносно вихідних параметрів:

$$\Gamma_p = \frac{(\omega_{0el} - \omega_{\delta el}) U_{\phi}}{\omega_{0el} R_{2\Sigma} (p T_e + 1)}; \quad (3.7)$$

$$\omega_{\delta} = \frac{M_{\delta} - M_c}{p J_{\Sigma}}; \quad (3.8)$$

$$M_{\delta} = \frac{3 p_n \Gamma_p U_{\phi}}{\omega_{0el}}; \quad (3.9)$$

$$\omega_{\delta} = \frac{\omega_{\delta el}}{p_n}, \quad (3.10)$$

де  $T_e = \frac{L_2}{R_{2\Sigma}} = \frac{X_{\kappa}}{\omega_{0el} R_{2\Sigma}} = \frac{1}{\omega_{0el} s_{\kappa}}$  - електромагнітна стала.

За отриманою системою рівнянь побудуємо структурно-математичну модель асинхронного двигуна (рис. 3.6), що відповідає роботі двигуна на ділянці механічної характеристики від  $s=0$  до  $s=s_k$ .

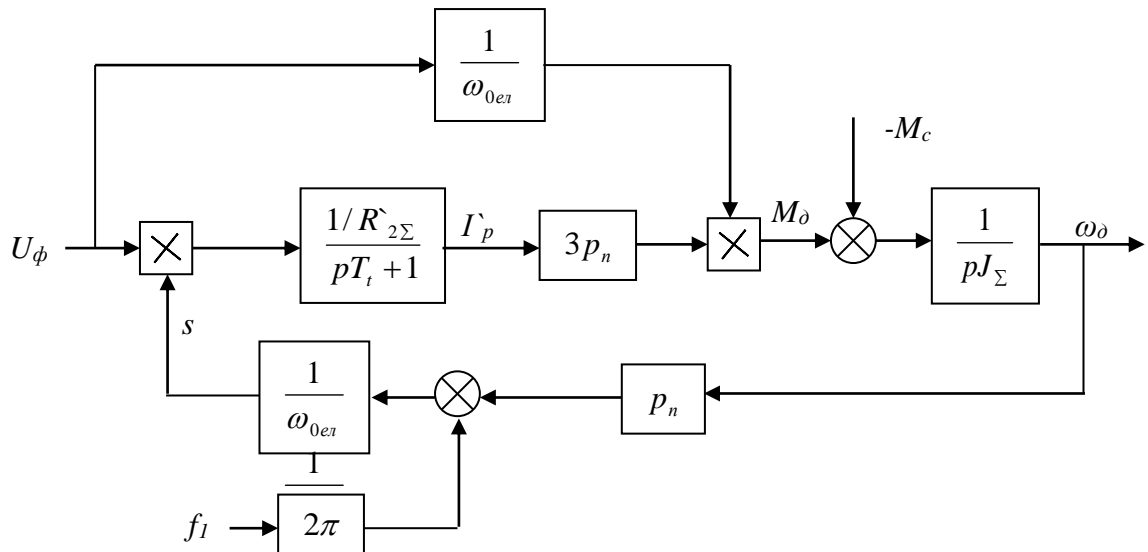


Рисунок 3.6 – Структурно-математична модель асинхронного двигуна

Вхідними параметрами структурно-математичної моделі схеми є активний опір ротора  $R'_{2\Sigma}$ , частота напруги статора  $f_1$ , фізична напруга статора  $U_\phi$  момент навантаження  $M_c$ . Вихідні координати – струм ротора  $I_p$ , кутова швидкість двигуна  $\omega_\delta$ , електромагнітний момент  $M_\delta$ .

Проведемо розрахунки параметрів моделі асинхронного двигуна (АД).

$$\omega_{0el} = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с};$$

$$p_n = 1;$$

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{3000 - 2910}{3000} = 0,03;$$

$$s_k = s_n \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}),$$

$$s_k = 0,03(2,7 + \sqrt{2,7^2 - 1}) = 0,156.$$

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0el} s_k} = \frac{1}{314 \cdot 0,156} = 0,02 \text{ с};$$

$$\kappa = \frac{0,95U_\phi}{E_{pn}} = \frac{0,95 \cdot 220}{233} = 0,9;$$

$$R_2 = \frac{E_{pu}}{I_{pu}} \cdot s_n \cdot \kappa_1 = \frac{233}{54} \cdot 0,03 \cdot 0,9 = 0,117 \text{ Ом};$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{0,117} = 8,58 \text{ См.}$$

Моделювання проводиться в математичному пакеті MATLAB/Simulink.

Модель з підставленими значеннями параметрів представлена на рис.

3.7.

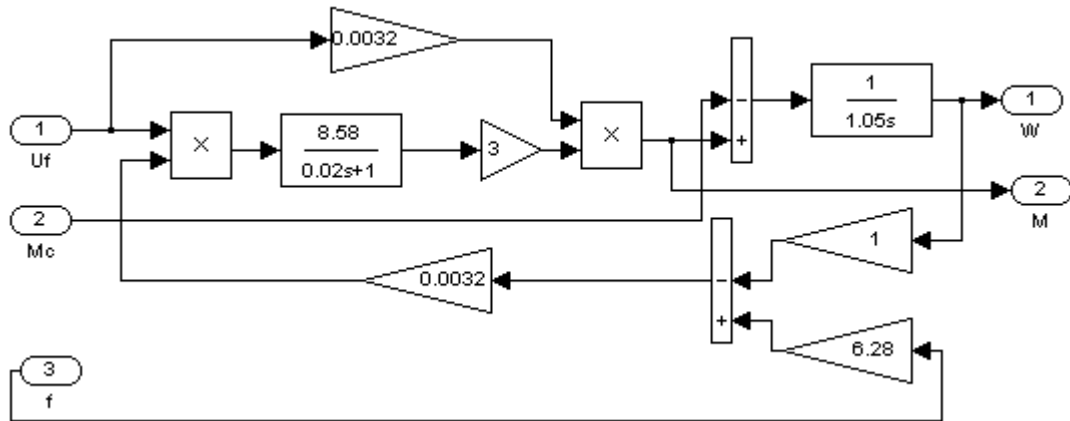


Рисунок 3.7 – Структурно-математична модель асинхронного двигуна  
Насос належить до турбомеханізмів, для яких однією з особливостей є залежність статичного моменту опору від частоти обертання турбомеханізму.

Характеристика турбомеханізму описується рівнем напору, м,

$$H = A_2 n^2 + B_2 n Q + C_2 Q^2,$$

де  $Q$  – подача,  $m^3/c$ ;  $A_2, B_2, C_2$  - коефіцієнти.

При роботі турбомеханізму на систему без протитиску ( $H_c = 0$ ) характеристика системи описується формулою  $H = RQ^2$ .

Параметри робочої точки  $Q_A = f(n)$  і  $H_A = f(n)$ :

$$Q = n \left[ \frac{-B_2 + \sqrt{B_2^2 - 4A_2(R - C_2)}}{2(R - C_2)} \right];$$

$$H = n^2 \left[ \frac{-\frac{B_2}{\sqrt{R}} + \sqrt{\frac{B_2^2}{R} + 4A_2\left(1 - \frac{C_2}{R}\right)}}{2\left(1 - \frac{C_2}{R}\right)} \right]; \quad (3.11)$$

Подача турбомеханізму при роботі на систему без статичної складової напору пропорційна частоті обертання турбомеханізму

$$\frac{Q_1}{Q_i} = \frac{n_1}{n_i} ; \quad (3.12)$$

або

$$Q = k_Q n . \quad (3.13)$$

Напір який розвиває турбомеханізм

$$\frac{H_1}{H_i} = \left( \frac{n_1}{n_i} \right)^2 ; \quad (3.14)$$

або

$$H = k_H n^2 . \quad (3.15)$$

Корисна потужність, що розвивається турбомеханізмом,

$$\frac{P_{кор1}}{P_{корі}} = \left( \frac{n_1}{n_i} \right)^3 ; \quad (3.16)$$

або

$$P = k_P n^3 . \quad (3.17)$$

При роботі на систему без протитиску ККД турбомеханізму залишається постійним:

$$\eta_{TM} = const .$$

Характеристика пропорційності

$$H_i = \frac{H_1}{Q_1^2} Q_i^2 , \quad (3.18)$$

або

$$H_i = R Q_i^2 , \quad (3.19)$$

де  $H_1$  і  $Q_1$  - напір і подача при номінальній частоті обертання турбомеханізму, показує, як реагує подача і напір при регулюванні частоти обертання турбомеханізму і роботі систему з постійними параметрами.

Потужність яка підводиться до турбомеханізму пропорційна кубу частоти обертання:

$$\frac{P_{Mexl}}{P_{Mexi}} = \left( \frac{n_1}{n_i} \right)^3 ; \quad (3.20)$$

або

$$P_{Mex} = k_P n^3 . \quad (3.21)$$

Момент аеродинамічного опору турбомеханізму:

$$\frac{M_1}{M_i} = \left( \frac{n_1}{n_i} \right)^2 ; \quad (3.22)$$

або

$$M = k_M n^2 . \quad (3.23)$$

Формули наведенні (3.12), (3.14), (3.16), (3.18), (3.20), (3.22) дійсні лише для випадку, коли турбомеханізм працює на систему, яка не має статичної складової напору.

Для цього випадку момент опору турбомеханізму, приведенний до валу двигуна, має вигляд:

$$M = M_{TP} + k_M n^2 . \quad (3.24)$$

Момент опору турбомеханізму складається з моменту аеродинамічного (або гідравлічного) опору, який визначається по (3.22), і момента, обумовленого механічними опорами (тертям в підшипниках, редукторі і інш.). Момент тертя  $M_{TP}$  для більшості турбомеханізмів не перевищує 5% номінального момента. З врахуванням цього механічна характеристика турбомеханізму в відносних одиницях має вигляд:

$$\frac{M}{M_{ном}} = 0.05 + 0.95 \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^2 . \quad (3.25)$$

Характеристика системи визначається формулою  $H = H_c + RQ^2$ .

Залежність між подачею, напором і частотою обертання описується виразом

$$Q = \frac{B_2 n - \sqrt{B_2^2 n^2 + 4(R - C_2)(A_2^2 n^2 - H_c)}}{2(R - C_2)} . \quad (3.26)$$

При  $H_c = H_0$  подача  $Q = 0$ .



Залежність моменту опору на валу турбомеханізму від частоти обертання має вигляд:

$$M = M_{TP} + f(n) . \quad (3.27)$$

Через складність виразів для  $Q$  і  $H$ , а також внаслідок того, що ККД турбомеханізма не залишається постійним при регулюванні частоти обертання, не вдається отримати достатньо просту аналітичну залежність потужності і момента на валу від швидкості при роботі турбомеханізму на систему з статичним напором. Для такого випадку частіше користуються графо-аналітичним методом.

Наближену аналітичну залежність моменту опору навантаження на валу турбомеханізму від частоти обертання, яка відповідає фізичним принципам його роботи, можна отримати, використовуючи характеристики турбомеханізмів  $H = f(Q)$  і  $P_{mex} = f(Q)$ .

В межах робочої зони характеристика турбомеханізма  $H = f(Q)$

$$H = H_0 \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^2 - C_4 Q^2 . \quad (3.28)$$

Залежність потужності на валі від розходу можна апроксимувати прямою лінією

$$P_{mex} = P_0 \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^3 + A_4 Q \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^2 . \quad (3.29)$$

Коефіцієнти  $C_4$  і  $A_4$  визначаються по номінальним даним турбомеханізма:

$$C_4 = \frac{H_0 - H_{ном}}{Q_{ном}^2} ; \quad A_4 = \frac{P_{mexном} - P_0}{Q_{ном}} .$$

В цих формулах  $H_0$  і  $P_0$  - напір і потужність на валу турбомеханізму, які відповідають  $Q=0$  (закритому засуві) і  $n = n_{ном}$ ,  $H_{ном}$ ,  $Q_{ном}$ ,  $P_{ном}$ ,  $n_{ном}$  - номінальні напір, подача, потужність на валі і частота обертання турбомеханізму.

Робочий режим турбомеханізму визначається характеристикою турбомеханізму і характеристикою системи

$$Q = \sqrt{\frac{H_0 \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^2 - H_c}{R + C_4}} ; \quad (3.30)$$

$$P_{мех} = P_0 \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^3 + A_4 \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^2 \sqrt{\frac{H_0 \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^2 - H_c}{R + C_4}} ;$$

або

$$P_{мех} = P_0 \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^3 + A_4 \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^2 Q . \quad (3.31)$$

Момент

$$M = \frac{9560 P_0}{n_{ном}} \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^2 + \frac{9560 A_4}{n_{ном}} \frac{n}{n_{ном}} \sqrt{\frac{H_0 \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^2 - H_c}{R + C_4}} ;$$

або

$$M = \frac{9560 P_0}{n_{ном}} \left( \frac{n}{n_{ном}} \right)^2 + \frac{9560 A_4}{n_{ном}} \frac{n}{n_{ном}} Q . \quad (3.32)$$

Насос описаний статичними рівняннями і його структурна схема відносно витрати матиме вигляд приведений на рисунку 3.8.

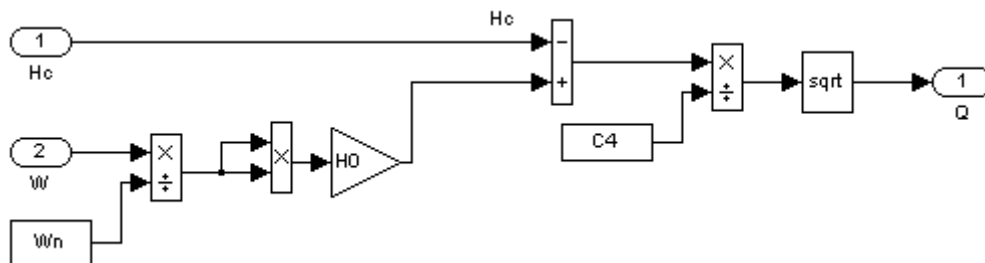


Рисунок. 3.8 – Структурна схема помпи

Дані помпи для розрахунку

Тип 4К-18

$H_0 = 30 \text{ м}$

$$H_n = 25,7 \text{ м}$$

$$Q_n = 0,049 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$P_o = 16 \text{ кВт}$$

Розрахунок параметрів структурної схеми

$$C_4 = \frac{H_o - H_n}{Q^2} = \frac{30 - 25,7}{0,049^2} = 1791.$$

Структурно-математична модель помпи з підставленими значеннями представлена на рис. 3.9.

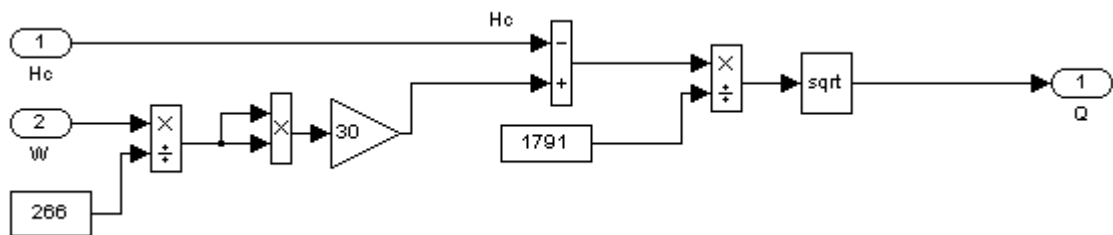


Рисунок 3.9 – Структурно-математична модель помпи

Модель ПІ – регулятора рівня з підібраними параметрами представлена на рис. 3.10.

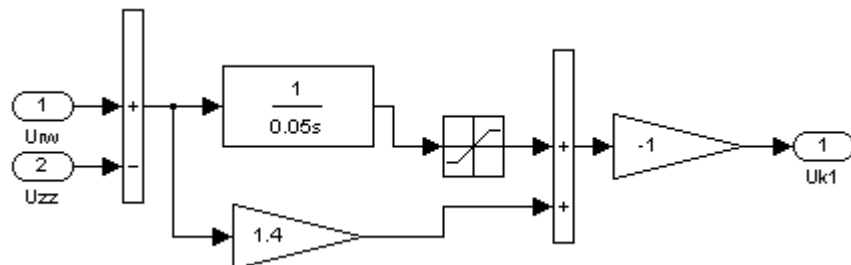


Рисунок 3.10 – Модель ПІ – регулятора рівня

Модель перетворювача частоти з законом керування  $U/f^2 = const$ , представлена на рисунку 3.11.

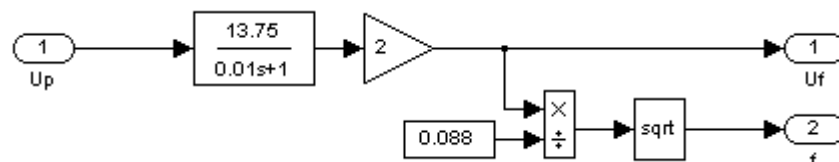


Рисунок 3.11 – Модель перетворювача частоти

Вакуумний бак зі зміною рівня води, спочатку збільшення, а потім зменшення. Модель представлена на рис. 3.12.

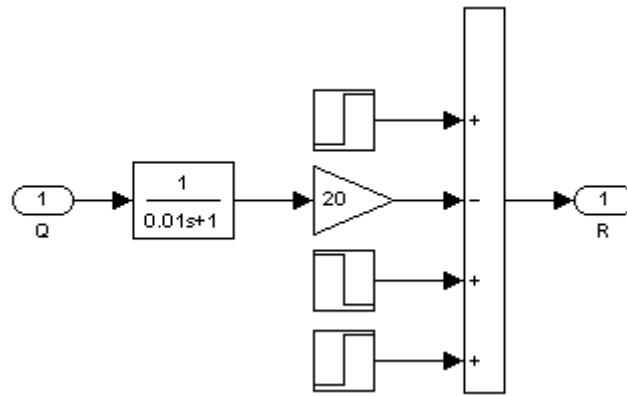


Рисунок 3.12 – Вакуумний бак зі зміною рівня води

Структурно-математична модель системи автоматизованого електроприводу представлена на рисунку 3.13. Дана модель складається із наступних елементів: джерело сигналу завдання, ПІ-регулятора, перетворювача частоти, асинхронного двигуна, насоса, вакуумного баку, у системі реалізовано від’ємний зворотній зв’язок по рівню води у баку.

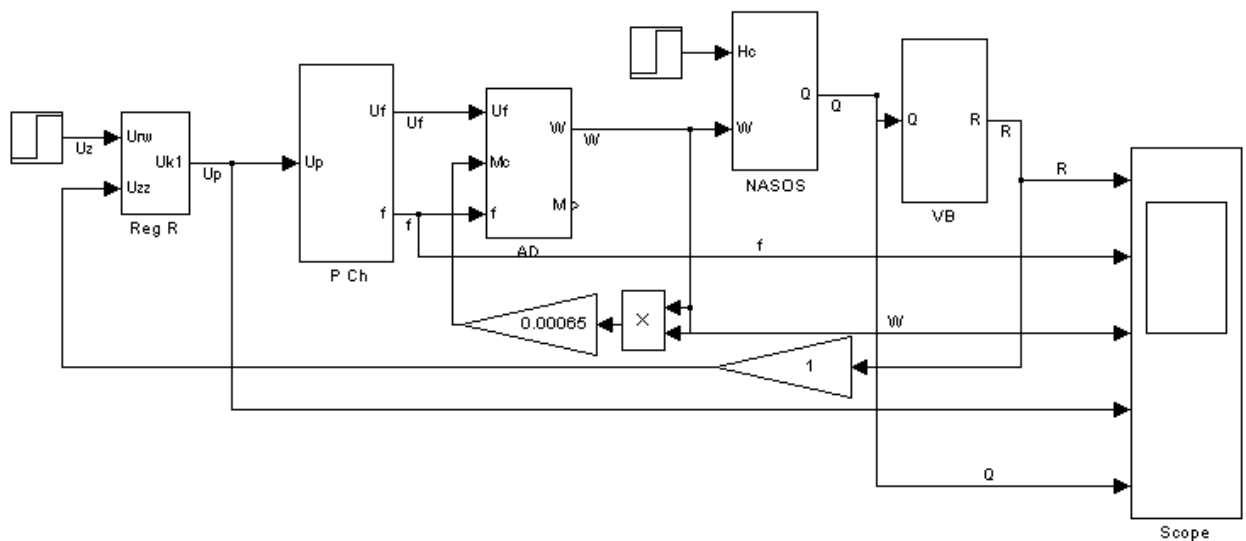


Рисунок 3.13 – Структурно математична модель автоматизованого електроприводу вакуумного баку

### 3.4 Дослідження динаміки системи автоматизованого електроприводу вакуумного баку

За допомогою даної моделі можна дослідити динаміку системи при зміні навантаження. Графіки перехідних процесів представлені на рис. 3.14. Так при збільшеному прибуванні води різко збільшується рівень, при цьому

система збільшує частоту напруги живлення двигуна і відповідно збільшує швидкість обертання помпи, збільшується інтенсивність відкачування води і рівень вирівнюється. І навпаки, при зменшенні інтенсивності прибування води рівень зменшується і швидкість двигуна зменшується, отже зменшується інтенсивність відкачування.

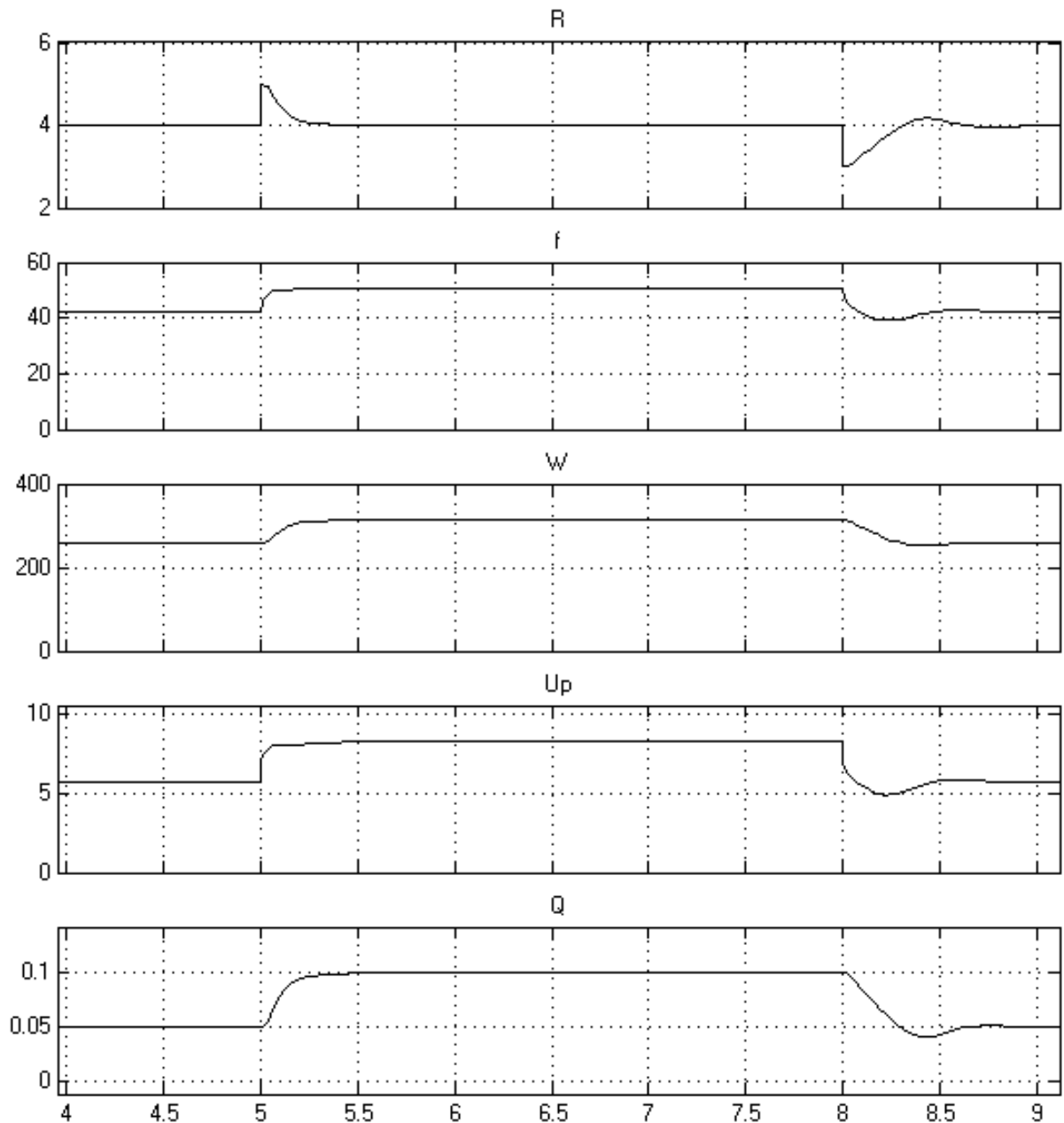


Рисунок 3.14 – Графічні залежності перехідних процесів рівень, частота напруги живлення, кутова частота обертання двигуна, напруга регулювання, витрата

Отже з аналізу графічних залежностей перехідних процесів видно, що система працює належним чином, забезпечуючи автоматичну підтримку рівня води у вакуумному баку в залежності від інтенсивності прибування.

Час перехідних процесів становить менше 0,5 с.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Аналіз травмонебезпечних ситуацій під час виконання роботи з вакуумним баком

З метою виявлення причин виробничих травм і професійних захворювань проводиться аналіз стану охорони праці згідно із Законом України “Про охорону праці” тут розробляються конкретні заходи щодо поліпшення стану охорони праці, забезпечуються відповідною документацією, фінансовими і матеріальними ресурсами. На підприємстві з метою контролю за здійсненням заходів з техніки безпеки, проведенням профілактичних оглядів та організацією навчання працівників правилам і нормам з техніки безпеки створена комісія з охорони праці. Про результати заходів щодо охорони праці свідчать дані про динаміку наявності на підприємстві нещасних випадків, пов’язаних з порушенням правил техніки безпеки на виробництві.

При майже постійній чисельності працівників, кількість нещасних випадків значно знизилась, а кількість днів непрацездатності скоротилась більше, ніж у двічі.

Як відомо, психофізичні умови праці впливають на нервово-психічне навантаження працівника. З метою їх поліпшення на підприємствах при розстановці кадрів необхідно врахувати їх фізіологічні особливості (вік, стать, стан здоров’я та ін.), прагнути створити сприятливий психологічний мікроклімат у виробничих підрозділах.

Особливу увагу треба приділяти організації праці пенсіонерів, яка в сільському господарстві ще має значну питому вагу. Їх працю найдоцільніше організовувати, створюючи окремі ланки, адже ці люди мають приблизно

однакову працездатність і спільні інтереси. Є можливість встановити їм знижені норми виробітку, пільговий розпорядок тощо.

*Техніка безпеки при монтажі і обслуговуванні електропроводки насоса вакуумного бака.*

Електропроводка насоса вакуумного бака не повинна мати порушень ізоляції, а місця підключення повинні бути ретельно ізольовані. Підвідний кабель повинен бути прокладений в трубі.

Електрообладнання повинно бути надійно заземлено. При відсутності заземлення вмикати електрообладнання забороняється.

При монтажі, пробних і робочих пусках, при експлуатації насоса вакуумного бака необхідно дотримуватись вимог техніки безпеки:

а) електричне обладнання, вводи та заземлення виконувати відповідно до вимог відповідних розділів чинних «Правил улаштування електроустановок» (ПУЕ) та ГОСТ 12.2.007.0-75;

б) вся пускова апаратура знаходиться в місці, що дозволяє спостерігати за процесом запуску насоса вакуумного бака з тим, щоб попередити можливість нещасних випадків;

в) вимоги до попереджувальних сигналізацій, написів, табличок - згідно п.3.8 ГОСТ 12.2.007.0-75.

## **4.2 Планування заходів з покращання охорони праці**

До заходів щодо покращення умов праці належать всі види діяльності, спрямовані на попередження, нейтралізацію або зменшення негативної дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на працівників.

Рівень умов праці оцінюють порівнянням фактичним і нормативних значень узагальнених (групових) показників.

Заходи щодо поліпшення умов праці здійснюють з метою створення безпечних умов праці шляхом:



– доведення до нормативного рівня показників виробничого середовища за елементами умов праці;

– захисту працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

До показників ефективності заходів щодо поліпшення умов праці належать:

а) зміни стану умов праці:

- зміна кількості засобів виробництва, приведених у відповідність до вимог стандартів безпеки праці;

- покращання санітарно-гігієнічних показників;

- покращання психофізичних показників, зменшення фізичних і нервово-психічних навантажень, в т.ч. монотонних умов праці;

- покращання естетичних показників, раціональне компонування робочих місць і впорядкування робочих приміщень;

б) соціальні результати заходів:

- збільшення кількості робочих місць, що відповідають нормативним вимогам;

- зниження рівня виробничого травматизму;

- зменшення кількості випадків професійних захворювань;

- зменшення плинності кадрів через незадовільні умови праці;

- престиж та задоволення працею.

Економічні результати заходів щодо поліпшення умов праці виражаються у вигляді економії за рахунок зменшення збитків внаслідок аварій, нещасних випадків і професійних захворювань у економіці в цілому та на кожному підприємстві зокрема.

### **4.3 Оцінка рівня небезпеки виникнення травм**

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію

(показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Для того, щоб оцінку рівня небезпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірностей будь-якого випадкового явища. Основні принципи даного методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця виявляють виробничі небезпеки аварійні та травмонебезпечні ситуації. При оцінці ситуації визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко імітаційної моделі. Після цього будують модель ("дерево помилок і відмов оператора"). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події. Головна випадкова подія в даному випадку травма, модель якої побудована на (рис. 4.1). Для побудови даної моделі ("дерева") травми використовують оператори "Г" та "АБО", після цього виконують набір ситуацій, які призвели до цієї події, яку вибрано як головною, після визначення ситуації, що привела до травми визначаємо інші такі події, що входять до кожної такої ситуації. Процес побудови моделі триває поки не будуть здійснені усі базові події, що визначають межу моделі.

Небажана подія – втрата працездатності робітника, який працював з обладнанням системи електроприводу насоса вакуумного бака із-за отримання травми від ураження струмом.

Початкова подія – у нашому випадку початкова подія це є травма робітника під час роботи.

Події, які можуть впливати на хід подій за час від початкової до небажаної події: наявність струму на корпусі електрообладнання; дотик робітника оголеними частинами тіла до корпусу.

Інтервал часу від початкової до небажаної події залежить від величини струму, який є на корпусі.

Чинники та обставини, які впливають на хід подій за час від початкової до небажаної події можуть бути такими:

Наявність струму на корпусі обладнання:

а) відсутність захисного заземлення:

- не виконувалося заземлення;
  - пошкоджено захисне заземлення.
- б) пошкодження ізоляції та вихід з ладу складових машини:
- відсутність профілактичних заходів;
  - спрацювання складових машин;
  - неправильна експлуатація.

Дотик робітника оголеними частинами тіла до корпусу електрообладнання:

- а) недотримання правил техніки безпеки:
- відсутність захисного щита;
  - недотримання правил вибору взуття;
  - незнання правил техніки безпеки;
- б) невикористання засобів індивідуального захисту та відповідного інструменту:
- відсутність засобів індивідуального захисту;
  - халатність робітника.

Зв'язок подій, факторів та обставин за час від початкової події до небажаної події:

Сучасними науковцями вже доказано, що стан робочого місця впливає не тільки на умови роботи, але процес виробництва в цілому. Такі чинники, відсутність засобів індивідуального захисту, невиконання профілактичних заходів щодо огляду робочого місця, нехтування правилами техніки безпеки можуть бути причиною травмування робітника.

Назвати можливі заходи та засоби запобігання дії шкідливого чинника

Для нашого випадку це є:

- проведення профілактичних заходів;
- збільшення асигнування на заходи з охорони праці;
- завчасне проведення інструктажів з охорони праці.

Назвати можливе втручання людини в процес та можливі помилки при цьому:

Людина може втручатися у любую подію, це досить природно. Щодо конкретного випадку, то на першому етапі, це втручання людини у виробничий процес, тобто дотримання правил техніки безпеки, проведення профілактичного огляду перед початком роботи, відкинути халатність під час виконання операцій.

Таблиця 4.1 – Ймовірності подій виникнення небезпеки

Шифр	Назва події	Ймовірність
P <sub>1</sub>	Відсутність захисного заземлення	0,02
P <sub>2</sub>	Пошкодження захисного заземлення	0,04
P <sub>3</sub>	Спрацювання складових машини	0,3
P <sub>4</sub>	Неправильна експлуатація машини	0,03
P <sub>5</sub>	Відсутність профілактичних заходів	0,12
P <sub>6</sub>	Відсутність захисного щита	0,12
P <sub>7</sub>	Невикористання дерев'яної підставки	0,15
P <sub>8</sub>	Незнання правил техніки безпеки	0,1
P <sub>9</sub>	Відсутність засобів індивідуального захисту	0,4
P <sub>10</sub>	Халатність	0,06

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій, застосовуючи формули:

1. Базові події з ймовірностями P<sub>1</sub> і P<sub>2</sub> за допомогою оператора "І" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P<sub>3</sub> можна визначити так:

$$P_3 = P_1 P_2 \quad (4.1)$$

2. За допомогою оператора "І" три події з ймовірностями P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> і P<sub>3</sub> формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P<sub>4</sub> обчислюють так:

$$(4.2)$$

$$P_4 = P_1 P_2 P_3 \cdot \text{л}$$

3. Оператор "І" об'єднує  $p$  події з ймовірностями  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  тоді ймовірність вихідної події  $P$  буде

$$P = P_1 P_2 \dots P_n. \quad (4.3)$$

4. Дві базові події з ймовірностями  $P_1$  і  $P_2$  за допомогою оператора "АБО" входять до третьої події. Тоді ймовірність  $P_3$  буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 P_2. \quad (4.4)$$

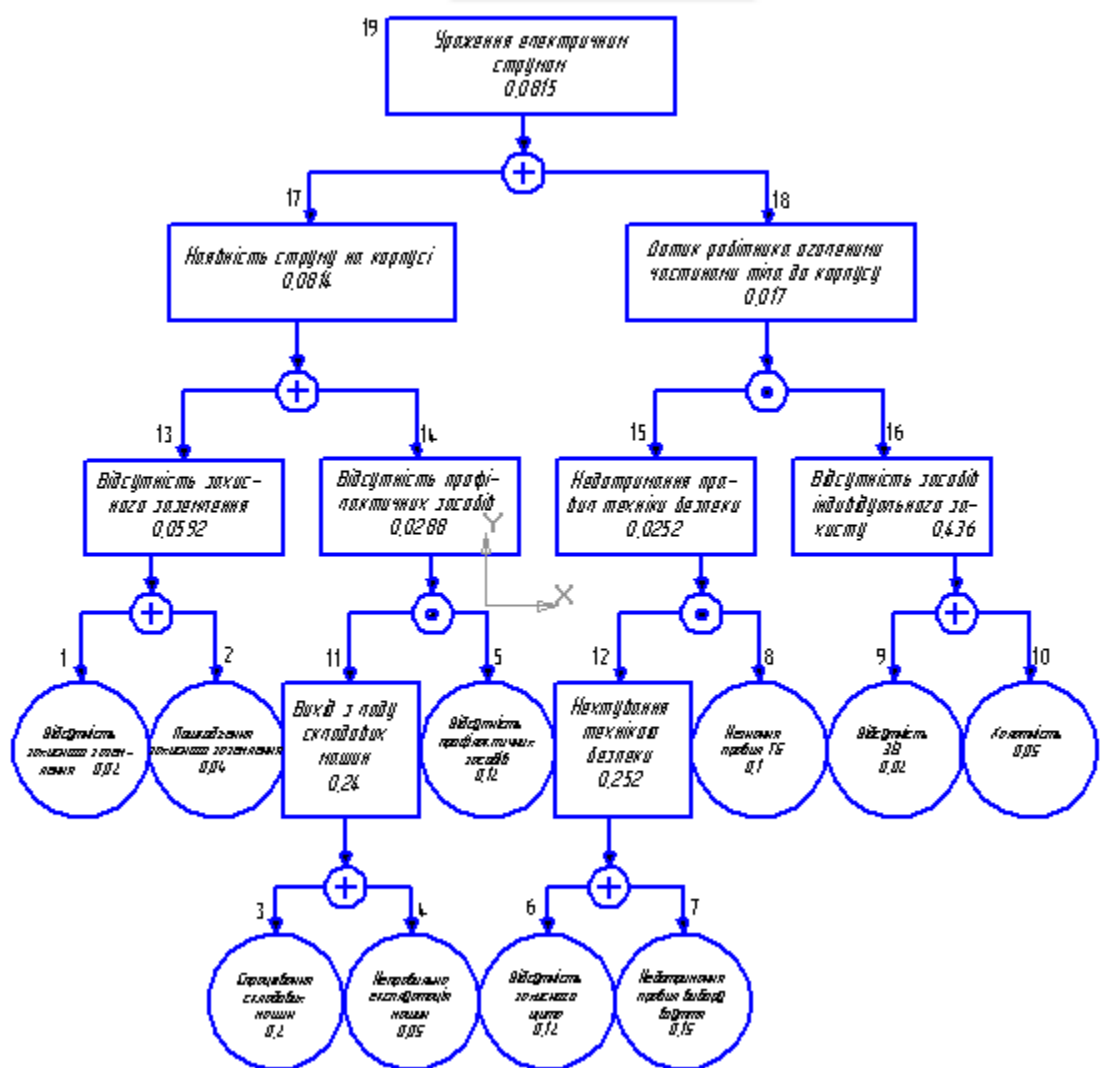


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм при роботі з електроприводом насосу вакуумного баку

5. Оператор "АБО" об'єднує три базові події з ймовірностями  $P_1, P_2, P_3$ , які за допомогою цього оператора входять у наступні події з ймовірністю  $P_4$ . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1P_2 - P_2P_3 - P_1P_3 + P_1P_2P_3. \quad (4.5)$$

6. Якщо до оператора "АБО" входять чотири і більше випадкових базових події з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули. Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення, аж поки не залишаться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції. Так поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування (рис. 4.1).

Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу (4.4), Отримаємо ймовірність події 13:

$$P_{13} = 0,02 + 0,04 - 0,02 \cdot 0,04 = 0,0592.$$

Аналогічно визначаємо ймовірність інших подій:

$$P_{11} = P_3 + P_4 - P_3 \cdot P_4;$$

$$P_{11} = 0,2 + 0,05 - 0,2 \cdot 0,05 = 0,24.$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 \cdot P_7;$$

$$P_{12} = 0,12 + 0,15 - 0,12 \cdot 0,15 = 0,252.$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9 \cdot P_{10};$$

$$P_{16} = 0,4 + 0,06 - 0,4 \cdot 0,06 = 0,436.$$

$$P_{14} = P_{11} \cdot P_5;$$

$$P_{14} = 0,24 \cdot 0,12 = 0,0288$$

$$P_{15} = P_{12} \cdot P_8;$$

$$P_{15} = 0,252 \cdot 0,1 = 0,0252.$$

$$P_{17} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14};$$

$$P_{17} = 0,0592 + 0,0236 - 0,0592 \cdot 0,0236 = 0,0814.$$

$$P_{18} = P_{15} \cdot P_{16};$$

$$P_{18} = 0,0252 \cdot 0,436 = 0,011.$$

$$P_{19} = P_{17} + P_{18} - P_{17} \cdot P_{18} ;$$

$$P_{19} = 0,0814 + 0,011 - 0,011 \cdot 0,0814 = 0,0815.$$

Таким чином на під час роботи електрообладнання переробного підприємства при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 8,73 травми. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль та виготовити необхідну кількість 313, профілактичних засобів за всіма вимогами безпеки), то можна побачити на моделі шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки – до 1.

## РОЗДІЛ 5

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Нам необхідно провести укрупнений порівняльний розрахунок базового (існуючої системи, де керування здійснюється дроселюванням) та проєктованого варіантів (ПЧ-АД).

У таблиці 5.1 відображено капітальні вкладення у проєктований електропривод, при її складанні не враховували вартості монтажу і транспортування, оскільки на етапі попередніх укрупненого розрахунку виправдано. З таблиці 5.1 видно, що вартість капітальних вкладень становить 60 000 грн.

Таблиця 5.1 – Капітальні вкладення у проєктований електропривод ( $k_e$ )

Варіант	Назва обладнання	Кількість, шт	Вартість, грн.	Сумарна вартість, грн
Проектний	Перетворювач частоти з давачем рівня	1	60 000	60 000
Разом				60 000

Визначаємо вартість втрат енергії, для цього необхідно визначити сумарну потужність електроприводу базового варіанту  $P_б$  та проєктованого варіанту  $P_n$  кВт.

Втрати потужності у базовому і проєктному варіантах:

$$P^* = P((1 - \eta) / \eta), \quad (5.1)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії системи електропривода.

Коефіцієнт корисної дії системи електроприводу базового варіанту:

$$\eta_б = \eta_{AD} \eta_{ск} \eta_n, \quad (5.2)$$



де  $\eta_{AD}$ ,  $\eta_{ск}$  та  $\eta_n$  – коефіцієнт корисної дії відповідно асинхронного двигуна та системи керування з врахуванням того, що двигун не довикористовується, а також частих пусків і насоса.

Для системи ПЧ-АД:

$$\eta_{np} = \eta_{AD} \eta_{пч} \eta_n, \quad (5.3)$$

де  $\eta_{AD}$ ,  $\eta_{пч}$  – коефіцієнт корисної дії відповідно електричного двигуна, перетворювача частоти і насоса.

Визначаємо ККД для даних систем:

$$\eta_{\delta} = 0,89 \cdot 0,75 \cdot 0,6 = 0,40;$$

$$\eta_{np} = 0,89 \cdot 0,9 \cdot 0,6 = 0,48.$$

Сумарна потужність базового та проектного варіанта приймаємо однаковими 18,5 кВт. Отже втрати потужності у обох випадках:

$$P'_{\delta} = 18,5 \cdot ((1 - 0,4) / 0,4) = 27,75 \text{ кВт},$$

$$P'_{np} = 18,5 \cdot ((1 - 0,48) / 0,48) = 20 \text{ кВт}.$$

Втрати енергії, кВт·год:

$$\Delta P = P' \cdot K_z \cdot F_{\delta}, \quad (5.4)$$

де  $K_z = 0,8$  – коефіцієнт завантаження по потужності;

$F_{\delta} = 2000 \text{ год}$  – дійсний річний фонд часу роботи електропривода, для однозмінної роботи.

Отже втрати електроенергії по базовому і проектному електроприводу:

$$\Delta P_{\delta} = 27,75 \cdot 0,8 \cdot 2000 = 44\,400 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta P_n = 20 \cdot 0,8 \cdot 2000 = 31\,990 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Вартість втрат електроенергії:

$$B_{втр} = \Delta P \cdot v, \quad (5.5)$$

де  $v$  – роздрібний тариф на електроенергію, відпущену споживачу, 5,85 грн. за кВт.

Вартість втрат електроенергії

$$B_{втр \delta} = 44\,400 \cdot 5,85 = 258\,408 \text{ грн};$$

$$B_{втр np} = 31\,990 \cdot 5,85 = 187\,142 \text{ грн}.$$

Вартість втрат електроенергії зводиться в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Вартість втрат електроенергії по порівнюваних варіантах

Показник	Варіант, грн.	
	Базовий	Проектний
Система	Ввімкн-вимкн	ПЧ-АД
ККД	0,40	0,48
$\Delta P$ , кВт·год.	44 400	31990
$V_{втр}$ , грн/рік	258 408	187 142

Визначаємо строк окупності капітальних вкладень порівнюючи із існуючою системою, враховуємо лише економію електроенергії, за рахунок підвищення коефіцієнта корисної дії системи електроприводу

$$T = \frac{K_{eП}}{V_{втрБ} - V_{втрП}}, \quad (6.6)$$

де  $K_{eП}$  – капітальні вкладення проектного електроприводу;

$V_{втрБ}$  та  $V_{втрП}$  – вартість втрат електроенергії базового та проектного електроприводу.

$$T = 60\,000 / (258\,408 - 187\,142) = 0,84 \text{ року.}$$

Після проведеного аналізу та розрахунків можна прийняти зупинити свій вибір на запропонованій системі електроприводу ПЧ-АД, так як технічні властивості та економічні показники даної системи є кращими базового варіанту електроприводу.

## ВИСНОВКИ

1 У кваліфікаційній роботі проаналізовано роботу підприємства та обґрунтовано тему кваліфікаційної роботи.

2 Проаналізовано способи регулювання продуктивності водонасосних установок, а саме зміною швидкості обертання насоса, зміною кількості насосів, дроселюванням. Найбільш економним способом регулювання, на нашу думку є регулювання швидкості обертання насоса. Для даного способу регулювання ми проаналізували способи регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів, а саме асинхронний двигун з фазним ротором з додатковими реостатами в колі ротора, двошвидкісний асинхронний двигун, тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун та перетворювач частоти асинхронний двигун. Найбільш перспективним є система електроприводу перетворювач частоти асинхронний двигун, хоча дана система електроприводу є доволі дорогою, проте вона дає найбільшу економію електроенергії. Тому ми обрали саме цю систему електроприводу.

3 Ми проаналізували існуючу систему регулювання продуктивності насосної установки, та запропонували модернізовану схему електроприводу. Ми вибрали перетворювач частоти Altivar 38, тип ATV-38HD25N4, потужністю 18,5 кВт, напруга живлення 400 В, частота струму 50Гц. Для дослідження даної системи автоматизованого регулювання ми побудували її структурно-математичну модель всіх основних елементів та цілої системи, а також дослідили перехідні процеси при зміні режимів. З аналізу графічних залежностей перехідних процесів ми побачили, що система працює належним чином, забезпечуючи автоматичну підтримку рівня води у вакуумному баку в залежності від інтенсивності прибування.

4 В роботі розглянули питання охорони праці та цивільного захисту.

5 У шостому розділі провели укрупнений економічний розрахунок запропонованого вдосконалення. З якого видно, що термін окупності становить близько 10 місяців.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Електромеханичні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. М.Г.Попов іч, О.Ю.Лозинський, В.Б.Клепиков та ін.; За ред. М.Г.Поповіча, О.Ю.Лозинського. Київ: Либідь, 2005 р. 680 с.
2. Видмиш А.А. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів: навчальний посібник. А. А. Видмиш, С. М. Бабій, В. В. Петрусь. Вінниця: ВНТУ, 2012 р. 96 с.
3. Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Войтюк Д.Г. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній (за ред. Жулая Є.Л.). Київ: Вища освіта, 2001 р. 288 с.
4. Видмиш А.А., Трошин О.А. Теорія електропривода. Лабораторний практикум/ Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ, 2003 р. 135 с.
5. Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи. Вінниця: ВНАУ, 2016 р. 320 с.
6. Колб А. А. Теорія електроприводу. Навчальний посібник. Донецьк: Національний гірничий університет, 2006 р. 511 с.
7. Браславський І.Я., Ішматов З.Ш. Реалізація енергоощадних технорлогій на основі регульованих асинхронних електроприводів. Київ: Електроінформ. 2003 р. 15 с.
8. Ю. М. Лаврієнко Електропривод. Підручник. Київ: Ліра-К 2009 р. 504с.
9. Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Войтюк Д.Г. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній(за ред. Жулая Є.Л.). Київ: Вища освіта, 2001 р. 288 с.
10. Ярошенко Л.В. Лабораторний практикум з електропривода та електрообладнання: Навчальний посібник. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010 р. 192 с.

11. Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993 р. 267 с.
12. Основи охорони праці. Купник М.П. і ін. Київ: Основа, 2000 р. 41с.
13. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: ДНАОП 0.00 – 1.21 – 98. Офіц.вид. – К.: Держбуд України, 2001 р. 24 с.
14. Винокурова Л. Е., Васильчук М. В. Основи охорони праці. Підручник для професійно-технічних закладів. Київ: Вікторія. 2001. 192 с.
15. Видмиш А.А., Трошин О.А. Теорія електропривода. Лабораторний практикум Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ. 2003 р. 135 с.