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:

«ОБГРУНТУВАННЯ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОМПОВОЇ СТАНЦІЇ»

Виконав: студент VI курсу
групи Ен–62 спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ривко Б. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник: Чабан А. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент: Коробка 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)
д.т.н., професор Калахан О. С.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“____” _____202__ року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу студенту
Ривку Богдану Ігоровичу

Тема роботи: *«Обгрунтування частотно-керованого електроприводу помпової станції»*

Керівник роботи *професор, д.т.н Чабан А. В.*
(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)
затверджені наказом по університету *№ 133 / к - с від 28.04.2023 р.*

1. Строк подання студентом роботи *18.01.2024 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 об’єкту*
2. *Особливості побудови моделей асинхронного двигуна та особливості частотного регулювання швидкості обертання*
3. *Побудова та дослідження моделі системи*
4. *Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.*
5. *Ефективність прийнятих рішень*

Висновки
Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти з розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	*Дробот І. М., ст.викладач*			
4	*Городецький І. М. к.т.н., доцент*			

7 Дата видачі завдання *28.04.2023 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Характеристика об'єкту*	*28.04.2023 – 19.05.2023*	
2	*Особливості побудови моделей асинхронного двигуна та особливості частотного регулювання швидкості обертання*	*22.05.2023 – 8.09.2023*	
3	*Побудова та дослідження моделі системи*	*11.09.2023 – 24.11.2023*	
4	*Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях*	*27.11.2023 – 8.12.2023*	
5	*Ефективність прийнятих рішень*	*11.12.2023 – 22.12.2023*	
6	*Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації*	*25.12.2023 – 5.01.2024*	
7	*Завершення роботи в цілому*	*8.01.2023 – 18.01.2024*	

Студент *Ривко Б. І.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи *Чабан А. В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 631.313.3

Р Е Ф Е Р А Т

Ривко Б. І. «Обгрунтування частотно-керованого електроприводу помпової станції». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 59 с. текстової частини, 3 таблиці, 25 рисунків, 16 джерел посилання.

Об’єкт дослідження: частотно-керований автоматизований електропривод водонасосної станції.

Мета роботи: обґрунтування використання частотно-керорваного електроприводу автоматизованого електроприводу водонасосної станції.

Завдання дослідження: проаналізувати способи регулювання продуктивності насосних станцій, обґрунтувати тему кваліфікаційної роботи, проаналізувати особливості частотного регулювання, особливості побудови моделей асинхронного двигуна, розроблення схеми автоматизованого електроприводу із частотним керуванням, побудувати модель системи автоматизованого частотно-керованого електроприводу насосної станції та дослідження її роботи при зміні рівня споживання води, розрахувати термін окупності.

У кваліфікаційній роботі: проаналізовано способи регулювання продуктивності насосних станцій, обгрунтовано тему кваліфікаційної роботи, проаналізовано особливості частотного регулювання та побудови моделей асинхронного двигуна, розроблено схему автоматизованого електроприводу із частотним керуванням, побудовано модель системи автоматизованого частотно-керованого електроприводу насосної станції та досліджено її роботу при зміні рівня споживання води, проаналізовано питання охорони праці, проведено розрахунок терміну окупності.

Ключові слова: регулювання продуктивності насосної станції, повітряно-водяний котел, частотне керування, схема заміщення асинхронного двигуна, структурно-математична модель, моделювання, графічні залежності.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ 7
1.1 Способи регулювання роботи насосних установок 7
1.2 Обґрунтування теми роботи 10
РОЗДІЛ 2 ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ТА ОСОБЛИВОСТІ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ 14
РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ 29
3.1 Структурна схема замкненої системи керування 29
3.2 Побудова моделі системи електроприводу 30
3.3 Дослідження динаміки системи 40
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 41
4.1 Аналіз стану охорони праці 41
4.2 Планування заходів з покращення охорони праці 44
4.3 Логіко-імітаційне моделювання процесів виникнення травм та аварій 46
4.4 Розробка заходів щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях 51
РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ 53
ВИСНОВКИ 56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 58

ВСТУП

Сучасні машинні пристрої складаються із великої чисельності окремих апаратів, механізмів, вузлів й деталей, машин, що виконують різноманітні функції, а разом виконують якусь роботу, зорієнтовані на забезпечення виробничого процесу.

Будь-які розвинені машинні пристрої складаються із трьох основних частин: двигун, передавальний механізму, робочий орган.

Перша і друга частина призначена для приведення в рух третьої, тобто робочого органу машини. Таким чином перші дві є приводом.

Найпростіший та найбільш давній привод – це мускульний, він у деяких місцях зберігається і у наш час. Це може бути кінний, ножний, ручний й таке інше.

Мускульний привод замінив механічний, а саме використання енергії води та вітру, він також доволі давній як і мускульний. Застосування водяного колеса відоме ще за 3000 років до нашої ери у Китаї. У наш час також широко використовують механічний привод: гідродвигуни, пневмодвигуни, двигуни внутрішнього згоряння, парові, газові й гідравлічні турбіни й таке інше.

Попри це все основний вид приводу, все таки, зараз є електропривод, його обсяг, що використовується найбільше з усіх приводів інших типів разом узятих.

Згідно визначення, електроприводом є електромеханічна система, яка складається із електродвигуна, перетворювача, передавального та керуючого пристроїв, призначений для приведення в рух виконавчого органу робочої машини, а також керування цим рухом.

Інколи, в цій системі бракує перетворювального та передавального пристроїв.

Сучасні електроприводи мають високий рівень автоматизації їх роботи, що дає можливість роботи електроприводу у найбільш оптимальних режимах.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ

1.1 Способи регулювання роботи насосних установок

У процесі роботи насосних установок досить часто потрібно змінювати режим роботи насосів. Це регулювання здійснюється зміною гідравлічної схеми насосної установки, зміною кількості робочих насосів, зміною швидкості робочих коліс насосів, дроселюванням напірних ліній, шляхом скидання частини води з напірних комунікацій.

Для реалізації регулювання режимів та характеристик насосів, насоси можуть з'єднуватись послідовно, паралельно або змішаним способом. При комбінуванні різних типів поєднання декількох насосних агрегатів при зміні кількості працюючих насосів можна змінити сумарну напірну характеристику установки. Проектуванні насосної станції при такому регулюванні, необхідно врахувати період роботи установки, значення та характер зміни подач, мінімальна кількість ввімкнень та вимкнень насосних агрегатів при цьому. При роботі насосних агрегатів необхідно, визначити межі їх роботи із високим ККД при зміні подачі, правильно розділити навантаження між ними. Таке регулювання має ступеневий характер зміни продуктивності, через це використовується при тривалому характері зміни продуктивності. До недоліків даного способу керування насосною станцією є потреба у приміщенні великої площі де має бути розташоване все обладнання насосної станції. При такому керуванні збільшується кількість прямих пусків двигунів насосів. Часто регулювання продуктивності здійснюється шляхом ввімкнення вимкнення насосу, що призводить до великої кількості прямих пусків асинхронного двигуна.

Для плавного регулювання характеристики насосної установки широко використовується дроселювання засувкою, яка встановлюється після насосу. Даний метод є дуже дешевий на початковому етапі, що є основною його перевагою, він не потребує встановлення додаткового обладнання. При дроселюванні вводиться додатковий опір в напірний трубопровід системи. При цьому характеристика Q-H мережі стає стрімкою змінюючи положення робочої точки переміщаючись по напірній характеристиці насоса до необхідної продуктивності Q, рис. 1.1, де Q-Нтр – характеристика гідравлічної мережі без при повністю відкритій засувці, Q-Н′тр – характеристика гідравлічної мережі при закритій засувці на половину. При цьому насосний агрегат збільшує значення напору в заданій точці характеристики, таким чином напір перевищує необхідне значення. При цьому збільшуються втрати енергії за рахунок збільшення місцевого гідравлічного опору у засувці. Через низьку енергоефективність даного способу регулювання та регулювання лише в сторону зменшення продуктивності, метод дроселювання доцільно використовувати лише з невеликими насосними агрегатами, при плавній характеристиці та короткочасному регулюванні.

Для забезпечення високої ефективності роботи насосного агрегата необхідно підтримувати максимальне значення його ККД. Цього можна досягти при використанні регулювання швидкості обертання насосу. Використання регульованого електроприводу насосів дає можливість оптимізувати його роботу в різних режимах, зокрема є можливість реалізації плавного пуску, безступінчастого регулювання швидкості, роботи із заданою швидкістю, високих енергетичних показників електроприводу (ККД, коефіцієнт потужності). Таким чином можна підвищити якість та ефективність роботи насосних станцій. При порівнянні регульованого електроприводу постійного струму, та регульованого електроприводу змінного струму, на базі частотного-регульовання, слід віддавати перевагу змінному струму, оскільки експлуатаційні показники у них є вищими, асинхронний двигун надійніший. У

сучасних частотно-регульованому електроприводі, використовують мікропроцесорне керування із стандартизованим інтерфейсом, надається інформація про енергетичні показники такі, як: струм, напруга, частота та ін.; виробничі: час пуску та зупинки, тривалість роботи, аварійні стани та ін.; технологічні: температура, тиск, витрата та ін.

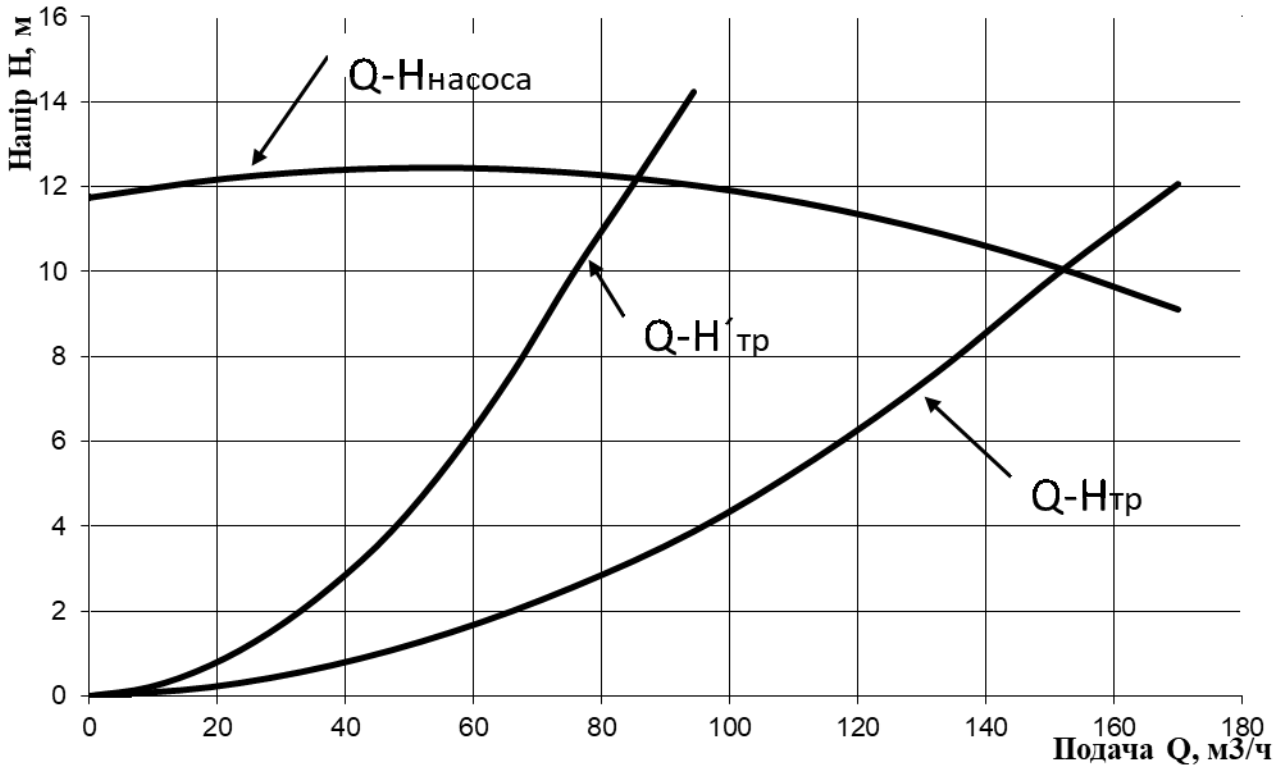

Рисунок 0.1 – Q-H характеристика при регулюванні дроселюванням

Використання регулювання швидкості обертання робочого колеса насосу реалізує підтримання мінімального значення напору на виході помпи в усьому діапазоні зміни продуктивності. Це відбувається завдяки тому, що при зміні частоти обертання робочого колеса насосу здійснюється переміщенням робочої точки насосу по характеристиці гідравлічної мережі, а не помпи рис. 1.2. При такому регулюванні відсутній надлишковий напір. Через відсутність надлишкового тиску, знижуються втрати електроенергії до мінімуму.

Найбільш ефективним способом регулювання продуктивності насоса є використання регулювання швидкості обертання робочого колеса, регульованим електроприводом. Використання даного методу, у порівнянні із

регулюванням параметрів гідравлічної мережі чи насоса, розширює можливості регулювання продуктивності насосного агрегату, суттєво зменшує споживання електричної енергії двигуном. Початкові капіталовкладення у дану систему є суттєво вищими, через високу вартість перетворювача частоти, проте, термін окупності може становити декілька місяців, через суттєву економію електроенергії.

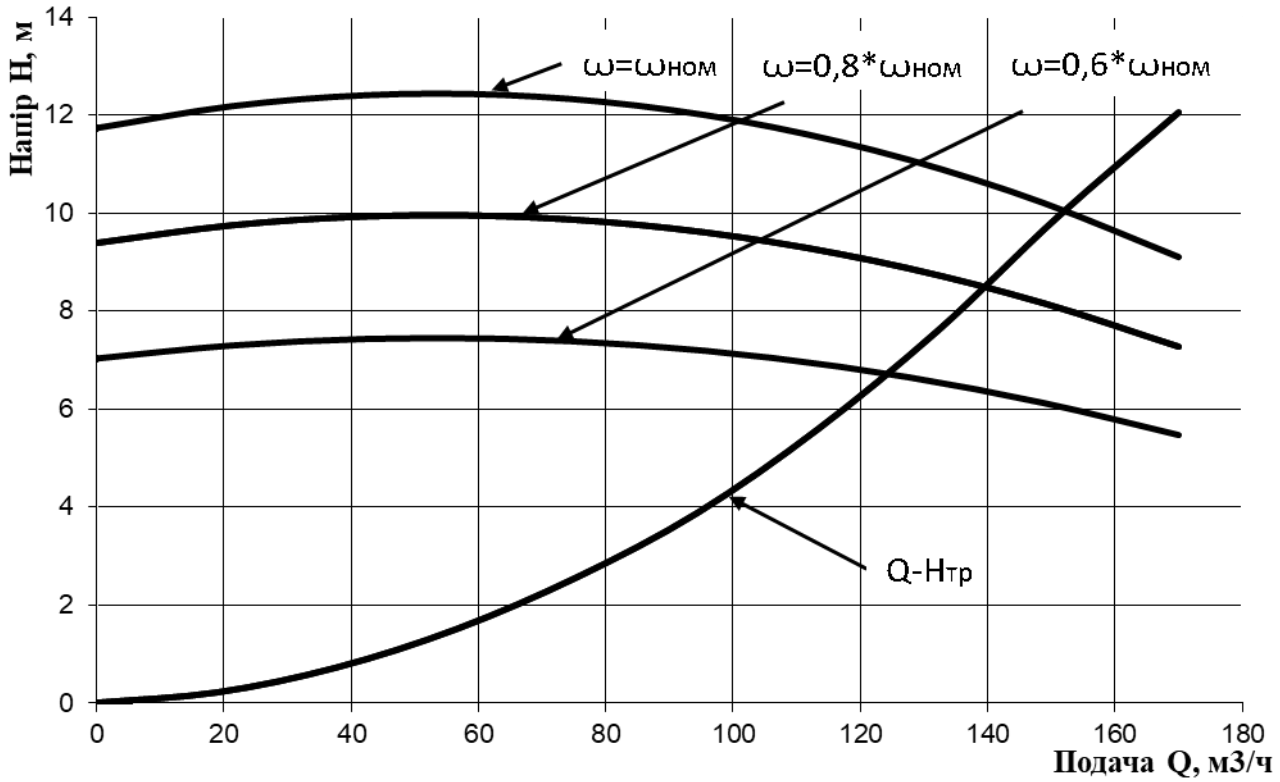

Рисунок 1.2 – Q-H характеристика при регулюванні частоти обертання

1.2 Обгрунтування теми роботи

Так склалось, що електрична енергія на даний час є однією із найбільш універсальних форм енергії, за її допомогою можна отримувати різні види енергії. А тому завданням електрозабезпечення є раціональне використання та розподіл та електроенергії, для зменшення не продуктивного її використання, а тому економії ресурсів, як фінансових так і природних.

У водо-насосних системах здійснюють регулювання продуктивності шляхом дроселювання, шляхом перекриття гідравлічного вентиля, за такого регулювання інколи електричному двигуну, що приводить в рух насос, приходиться працювати навіть при повністю закритому вентилі, при цьому корисна робота не виконується, а споживання електроенергії продовжується. Широко також використовується регулювання продуктивності шляхом ввімкнення-вимкнення двигуна, переважно це асинхронний двигун, який від частих прямих пусків може швидше поламатись. Окрім перерахованих способів використовують водонапірні башти та пневматичні установки.

В даній кваліфікаційній роботі запропоновано використати регулювання продуктивності частотно-керованим електроприводом. Такий електропривод є дорожчим від традиційного, проте ми отримаємо раціональне використання електроенергії, ціна якої постійно продовжує зростати, дуже зручний і гнучкий у налаштуванні. Дана система не потребує встановлення водонапірної башти, або створення інших дуже великих резервуарів.

У наш час широко використовують частотно-керований електропривод, оскільки силова електроніка та мікропроцесорна техніка значно розширила свій функціонал та чисельність. Так зокрема, системи водопостачання будують без великих резервуарів із запасом води, регулювання продуктивності відбувається в функції споживання. Основна потреба таких систем водопостачання є безперебійне електропостачання. Але оскільки багато споживачів встановлюють системи безперебійного живлення, використовують резервні джерела електроенергії, то така система доцільна.

Рівень автоматизації сучасних системи водопостачання доволі високий, проте є такі які потребують модернізації. У кваліфікаційній роботі розглядаємо безбаштову насосна установку із відцентровим насосом. Вона складається із насосу з електродвигуном, повітряно-водяного котла, трубопроводів та станції керування. Технологічну схему установки показано на рисунку 1.3.

Робота без баштової водонасосної установки відбувається наступним чином: вода подається помпою до споживачів, а надлишок її наповнює повітряно-водяний котел, при цьому виникає тиск повітря у баку, яке перебуває у котлі. При досягненні тиску у котлі встановленого значення, за допомогою реле тиску відмикається насос, відповідно припиняється подача води. При цьому подача води споживачам здійснюється під дією стиснутого повітря, що перебуває у котлі. У гідравлічній мережі є зворотній клапан, і вода назад у джерело води не повернеться. При збільшенні водоспоживання тиск в середині котла знижується. При досягненні тиском встановленого мінімального значення, відбувається повторне вмикання насосу за допомого реле тиску. Співвідношення мінімального та максимального тисків становить 0,8...0,85. Наявність повітряної подушки котла забезпечує пом'якшення гідравлічних ударів, що можуть виникнути при роботі насоса.

Особливістю повітряно-водяних котлів безбаштових насосних установок є безпосередній контакт води та повітря, через це його частина розчиняється та виходить із водою, при цьому зменшується об'єм повітряної подушки. В наслідок цього може відбутись порушення нормального функціонування установки. Для підтримання належної кількості повітря в без баштових установках типу ВУ є автоматичний струминний регулятор, із його допомогою відбувається поповнення повітряної подушки повітрям.

При проходженні води від насосу із великою швидкістю через сопло струменевого регулятора, створюється розрідження у камері змішування. При цьому у камері відкриється клапан і з навколишнього середовища заходить повітря, яке змішується із водою у змішувальній камері та надходить у бак.

У без баштовій насосній установці ємкість для запасу води має мінімальний об'єм. Зменшення об'єму ємкості котла призводить до збільшення частоти вмикання агрегату але зменшення його вартості.

Після проведеного аналізу роботи установки слід відзначити ряд недоліків:

- прямий пуск асинхронного двигуна із короткозамкненим ротором;
- робота двигуна у повторно-короткочасному режимі (часті пуски);
- використання двигуна завищеної потужності, оскільки через часті пуски двигун із розрахованими номінальними параметрами швидше виходять з ладу;
- робота недовантажених двигунів із низькими значеннями cos φ і ККД;
- низьке значення коефіцієнта потужності призводить до необхідності використання додаткових компенсуючих пристроїв.

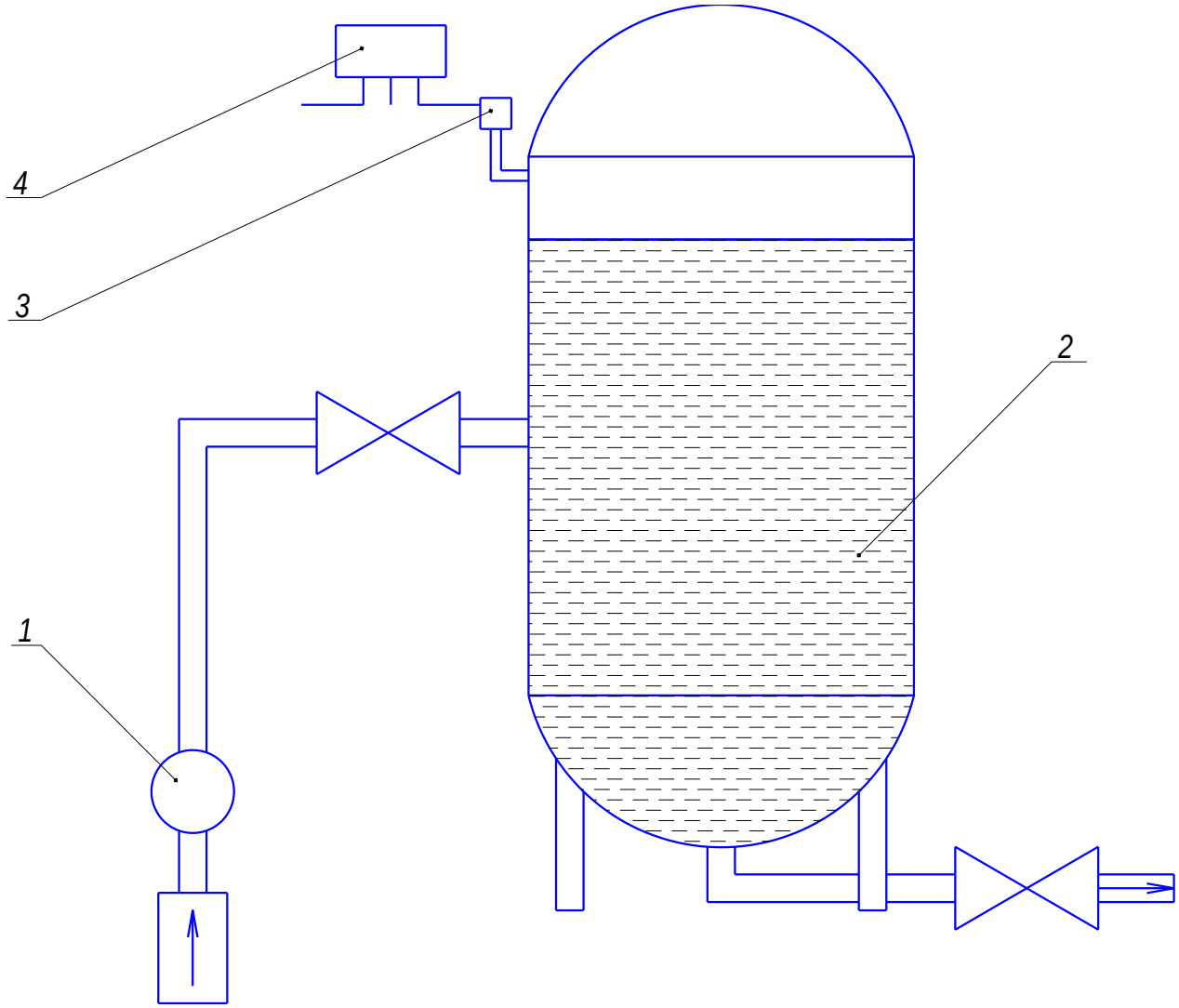

Рисунок 1.3 – Технологічна схема водопідйомної установки: 1 – насосний агрегат; 2 – повітряно-водяний котел; 3 – давач тиску; 4 – станція керування.

Через перераховані виникає зниження продуктивності роботи насосної станції, збільшуються витрати на ремонт та обслуговування

електроустаткування, збільшуються втрати електроенергії, зменшується надійність роботи електроприводу і насосних агрегатів.

Через це ми бачимо необхідність у перевірці чи може без баштова водонапірна установка реалізувати надійне водопостачання, використовуючи регулювання швидкості обертання насоса при частотному керування трифазним асинхронним двигуном.

РОЗДІЛ 2

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ТА ОСОБЛИВОСТІ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ

Оскільки ми визначились із типом водопідіймальної установки, способом регулювання продуктивності та системою електроприводу, то нам необхідно перевірити, як ця система буде працювати. Ми пропонуємо провести дане дослідження моделювання.

При частотному регулюванні електроприводом може використовуватися двигун загального призначення. За такого використання трохи знижуються їх техніко-економічні показники.

Особливість частотно-регульованих асинхронних електродвигунів двигуни, це робота із регулюванням магнітного потоку чи напруги, що забезпечує сталу роботу електродвигуна. Через це такий двигун може мати трохи меншу перевантажувальну здатність.

Коли здійснюється пуск двигуна при частотному-регулюванні із початковим ковзанням більшим від значення критичного ковзання, то при проектуванні частотно-регульованого двигуна немає потреби витримувати значення пускового моменту і струму, та мінімального моменту. Через це обмотку ротора виконують із меншим активним опором, а відповідно із більшим коефіцієнтом корисної дії. Через це частотно-регульований двигун проектують не враховуючи пускові характеристики, що реалізуються системою керування.

Знову ж таки до двигуна загального призначення ставлять високі вимоги щодо вибору значень номінального ковзання при їх паралельній роботі. Через те, що при частотному регулюванні кожен двигун отримує живлення індивідуально від перетворювача частоти, тоді системою керування

узгоджується навантаження між паралельно працюючими двигунами. У такому випадку чітких вимог до значення розрахункового ковзання двигунів немає.

Частотно-регульовані двигуни мають незалежну систему вентиляції, оскільки вони можуть працювати при знижених швидкостях обертання.

Для агропромислового комплексу розроблено частотно-регульовані двигуни із межею регулювання напруги 30 - 380 В та частоти 5-60 Гц.

Енергетичні показники двигунів, які працюють при живленні від мережі вищі ніж тих які живляться від перетворювачів частоти. ККД частотно-керованих двигунів знижується в середньому на 2-3 %, а коефіцієнт потужності cosφ — на 5 %. Максимальний момент асинхронного двигуна знижується на 8 — 15%, а корисна потужність – на 10 — 25 %. В зоні переривчастих струмів обертання двигуна стає дискретним, що знижує діапазон регулювання.

При зміні частоти струму живлення швидкість обертання двигуна змінюється в зоні малих ковзань, а відповідно малої втрати енергії в роторному колі. При частотному регулюванні швидкості трифазних асинхронних двигунів отримуємо високий коефіцієнт корисної дії. Частотне керування дає широкий діапазон та високу плавність регулювання, а на штучних механічних характеристиках забезпечується високий модуль жорсткості.

Регулюючи частоту струму на двигуні змінюють його параметри. При зменшенні частоти і сталій напрузі збільшиться струм намагнічування, через що зросте магнітний потік. При збільшенні частоти струму зменшиться струм і магнітний потік двигуна. При сталому значенні статичного моменту на валі двигуна зросте струм ротора і його тепловий баланс порушиться при цьому зросте температура. При регулюванні частоти струму необхідно регулювати напругу.

Частотно-регульований привод забезпечує регулювання швидкості обертання вниз і вверх від номінального значення. Значення верхньої межі регулювання швидкості визначається механічною міцністю ротора. Регулювання швидкості в сторону збільшення відносно номінальної не повинно

перевищувати швидкість більше ніж у два рази. Нижня межа регулювання швидкості стабільністю роботи перетворювача при низьких частотах.

Регулювання частоти струму в електроприводі із різними навантажувальними механічними характеристиками робочих машин, регулювання напруги перетворювачем частоти здійснюють виходячи з умов збереження перевантажувальної здатності двигуна:

$$\lambda = \frac{\mathrm{M_к}}{\mathrm{M_с}} = \mathrm{const} \tag{2.1}$$

Значення максимального моменту двигуна:

$$M_k = \frac{3U_{1ф}^2}{2\omega_0\left(R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2}\right)} \tag{2.2}$$

Механічні характеристики робочих машин описуються емпіричною формулою:

$$M_c = M_0 + (M_{с.н.} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_н}\right)^x \tag{2.3}$$

де х – значення показника степені, що описує зміну статичного моменту при зміні швидкості; $M_{с.н.}$- момент навантаження при номінальній швидкості $\omega_н$, Нм; M_c - значення моменту навантаження при швидкості ω Нм; M_0- значення момент неробочого (холостого) ходу, який не залежить від швидкості, Нм.

Значення перевантажувальної здатності двигуна при різних частотах струму:

$$\frac{U_{ф.н.}^2}{f_н^2 M_{с.н.}} = \frac{U_{ф.н.}^2}{f^2 M_с} = \lambda \tag{2.4}$$

Значення у відносних одиницях:

$$U_ф = f_н\sqrt{\mathrm{M_с}}. \tag{2.5}$$

де $U_ф, f_н, \mathrm{M_с}$— відповідно значення напруги, частоти струму і статичного моменту, у відносних одиницях.

Значення статичного моменту робочої машини у відносних одиницях, за умови, що $\mathrm{M_0}$= 0:

$$M_c = \left(\frac{\omega}{\omega_н}\right)^x = \left(\frac{f}{f_н}\right) = f^x \quad (2.6)$$

А тому:

$$U_ф = f_н\sqrt{f^x} \quad (2.7)$$

де x – значення показника степеня на механічній характеристиці робочої машини.

У робочій машині, із показником степеня $x = 0$, закон зміни напруги набуває вигляду:

$$U_ф = f_н \quad (2.8)$$

Якщо x = -1 напруга залежить від частоти струму на затискачах двигуна:

$$U_ф = \sqrt{f_н} \quad (2.9)$$

За вентиляторного навантаження (x = 2):

$$U_ф = f_н^2 \quad (2.10)$$

Графічні залежності механічних характеристик двигуна за частотного регулювання швидкості обертання робочої машини із різними залежностями механічних характеристик наведено на рис. 2.1 (при $R_1 = 0$).

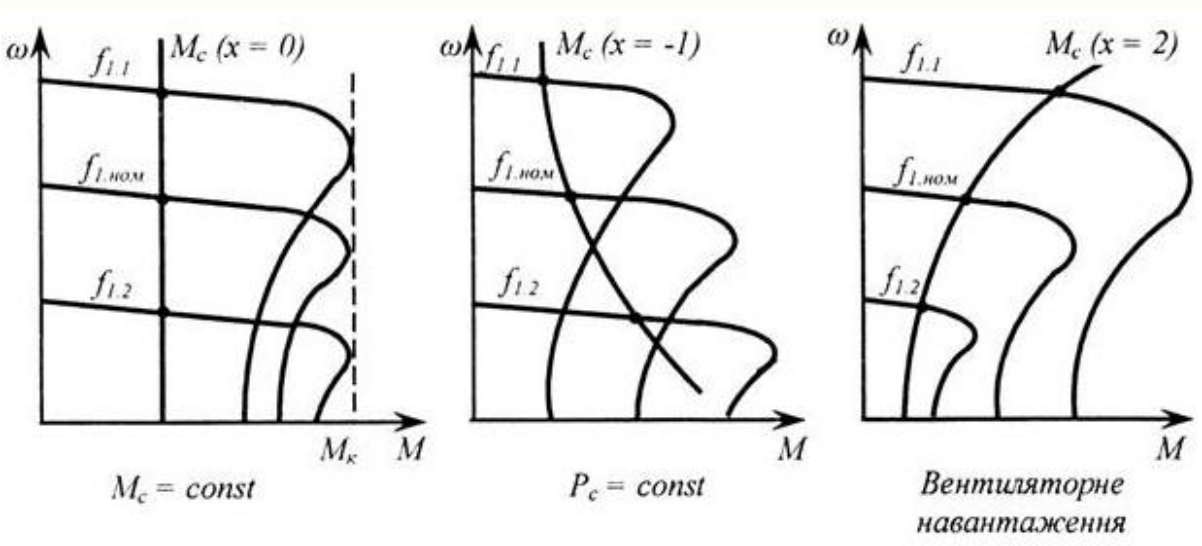

Рисунок 2.1 – Графічні залежності механічних характеристик трифазного асинхронного двигуна за частотного регулювання швидкості

Статичні моделі асинхронного двигуна, побудовані на основі однофазних заступних схем

Моделі електричних машин змінного струму будуються на ряді допущень, які визначаються поняттям «ідеалізована машина»:

- значення реактивних опорів статора і ротора не змінюються при зміні магнітного потоку двигуна (машина ненасичена);
- момент на валі двигуна дорівнює електромагнітному моменту, механічні втрати у двигуні відсутні;
- втрати у сталі відсутні, а, отже, гістерезис і вихрові струми;
- процеси у трьох фазах відбуваються одночасно, оскільки повітряний проміжок навколо ротора рівномірний, обмотки статора і ротора симетричні;
- магнітне поле в сталі статора та ротора та повітряному проміжку розподіляється за синусоїдним законом;
- магнітні потоки, струми та електрорушійні сили у двигуні змінюються за синусоїдним законом у часі.

Усереднене значення моменту асинхронного двигуна визначається за виразом:

$$M_{\text{сер}} = \frac{1}{\sqrt{2}} m_2 p w_2 k_{\text{об2}} \Phi_m I_2 cos\varphi_2 = k_m \Phi_m I_2 cos\varphi_2.$$

Коли відсутні дані для визначення значення коефіцієнта k_m - (коефіцієнт $k_{\text{об2}}$, кількість витків w_2 фази ротора, та інші) ускладнюється практичне застосування даної формули.

По іншому електромагнітний моменту $M_{\text{сер}}$ визначається через електромагнітну потужність, що передається із статора на ротор:

$$M_{\text{сер}} = \frac{P_{\text{ем}}}{\omega_0} = \frac{m_2 E_2 I_2 cos\varphi_2}{\omega_0},$$

де $cos\varphi_2 = r_2/z_2$ ротора.

E_2, I_2 - ЕРС і струм ротора;

ω_0 - синхронна швидкість поля статора;

m_2 - фазність ротора;

Щоб визначити ці складові потужності застосовують заступну схему фази двигуна, відповідно отримують простішу залежність:

$$P_{\text{ем}} = 3I`^2_2 r`_2/s,$$

де $r`_2 = r_2\, k_e k_i$, $I`_2 = I_2\, k_i$ – зведені до обмотки статора активний опір та струм фази ротора;

k_e, k_i - коефіцієнти трансформації за напругою та струмом відповідно.

Розглядають зазвичай три заступні схеми трифазного асинхронного двигуна: Г-подібна, Т-подібна і Г-подібна уточнена. Дані схеми забезпечують різну наближеність або різну точність до реальних процесів у двигуні, через те, що вони є також наближеними моделями оригіналу.

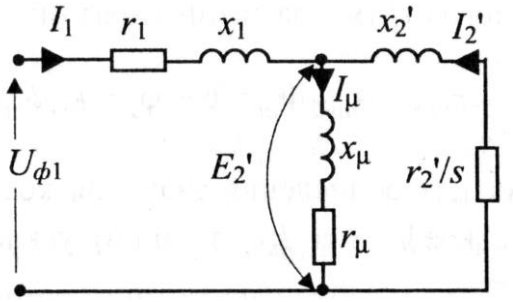

Рисунок 2.2 – Т-подібна схема заміщення фази трифазного асинхронного двигуна

Контур намагнічування r_μ, x_μ, у Т-подібній заступній схемі рис. 2.2, під'єднаний послідовно після статорного кола. Значення струму намагнічування i_μ, що створює основний магнітний потік Φ_m згідно схеми, залежить від параметрів первинного кола r_1 та x_1 і навантаження.

При наявності значенн характеристики асинхронного електродвигуна провести розрахунок параметрів. До номінальних характеристик двигуна належать: номінальна потужність; номінальна напруга; номінальна швидкість; опір ротора; опір статора; коефіцієнт потужності неробочого ходу; струм неробочого ходу.

Значення кутової швидкості обертання магнітного поля статора

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30}.$$

Значення номінальної кутової швидкості

$$\omega_n = \frac{\pi n}{30}.$$

Значення номінального ковзання:

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0},$$

Значення номінального моменту двигуна

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n},$$

Значення повного опору неробочого ходу

$$z_0 = \frac{U_\Phi}{I_{co}},$$

Значення індуктивного та активного опору неробочого ходу:

$$x_0 = x_\mu + x_1 = z_0 \sqrt{1 - cos^2\varphi},$$

$$r_0 = r_\mu + r_1 = z_0 \, cos\varphi,$$

Значення індуктивного та активного опору контуру намагнічування:

$$x_\mu = x_0 - x_1,$$

$$r_\mu = r_0 - r_1,$$

Значення індуктивності головного потоку (контуру намагнічування):

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_{0e}}.$$

Значення зведених до статора опорів нерухомого ротора:

$$r`_2 = r_2 \, k_e^2,$$

$$x`_2 = x_2 \, k_e^2.$$

Значення індуктивності полів розсіювання:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_{0e}},$$

$$L`_{2\sigma} = \frac{x`_2}{\omega_{0e}},$$

Значення повних еквівалентних індуктивностей фаз статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma},$$

$$L_2 = L_m + L`_{2\sigma},$$

Значення повних опорів

$$z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2},$$

$$z`_2 = \sqrt{r`_2^2 + x`_2^2},$$

$$z_\mu = \sqrt{r_\mu^2 + x_\mu^2},$$

Згідно отриманих даних будують статичну механічну характеристику *M(s)*, послідовно розрахувавши:

$$z`_2 = \sqrt{(\frac{r`_2}{s})^2 + x`_2^2}$$

$$E_1 = U_{\phi 1} - I_1 z_1$$

$$I`_2 = \frac{E_1}{z`_2}$$

$$I_1 = \frac{U_{\phi 1}}{z_1 + \frac{z`_2 z_\mu}{z`_2 + z_\mu}}$$

$$M = \frac{3I`_2^2 r`_2}{\omega_0 s} \qquad (2.11)$$

Аналогічно можна отримати залежність *M(s)* із виразів:

$$M = \frac{3E_1 I`_2 cos\varphi_2}{\omega_0} \qquad (2.12)$$

$$cos\varphi_2 = \frac{r_2}{z_2}$$

Для побудови механічної характеристики асинхронного двигуна часто використовують формулу Клосса

$$M = \frac{M_{кр}(2+q)}{\frac{s_{кр}}{s}+\frac{s}{s_{кр}}+q} \tag{2.13}$$

$$M_{кр} = \frac{3U_ф^2}{2\omega_0(r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x`_2)^2})}$$

$$s_{кр} = \frac{r`_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x`_2)^2}}$$

$$q = \frac{2r_1 s_{кр}}{r`_2}$$

Отримані вирази побудовані згідно Г-подібної заступної схеми (рис. 2.3) і не враховують залежності струму намагнічування I_μ, а, тому і магнітного потоку Φ_m від струму статора, оскільки що контур намагнічування винесено на затискачі первинного контуру:

$$I`_2 = \frac{U_{ф1}}{\sqrt{(r_1+\frac{r`_2}{s})^2+(x_1+x`_2)^2}} \tag{2.14}$$

$$M = \frac{3I`^2_2\frac{r`_2}{s}}{\omega_0} = \frac{3U^2_{ф1}r`_2}{\omega_0 s((r_1+\frac{r`_2}{s})^2+(x_1+x`_2)^2)} \tag{2.15}$$

що дає вираз (2.13).

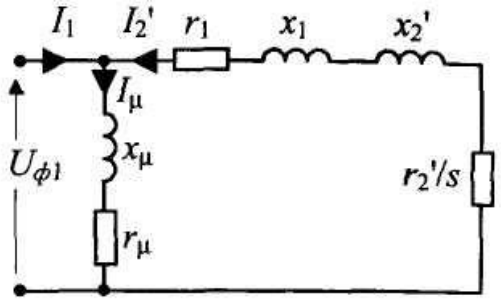

Рисунок 2.3 – Г-подібна схема заміщення фази асинхронного двигуна

На рис. 2.4 показано характеристику *M(s)* асинхронного двигуна по різних заступних схемах. Характеристику 1 побудовано за розрахунком виразів (2.1) і (2.2), а характеристику 2 - виразами (2.3) і (2.5).

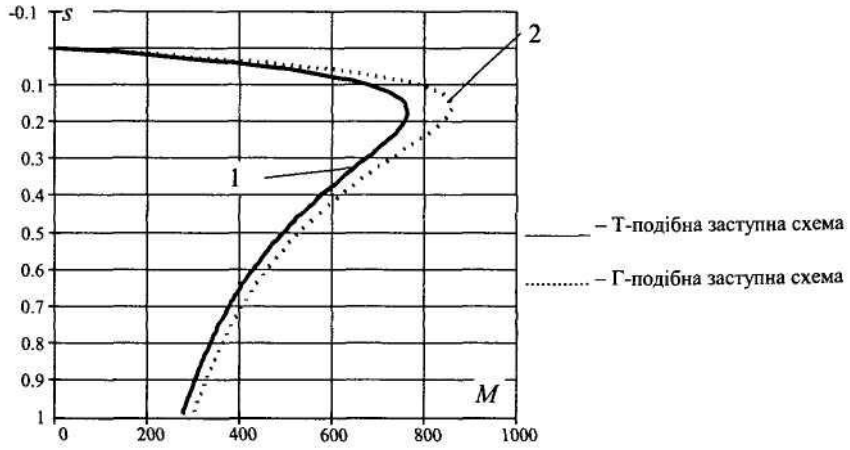

Рисунок 2.4 – Механічні характеристики побудовані по моделях асинхронного двигуна, побудованих за Т-подібною (1) та Г-подібною (2) схемами заміщення

Г-подібну схему можна замінити Г-подібною уточненою схемою (рис. 2.5). У такій схемі використовують коректуючий коефіцієнта $\sigma_1=z_l/z_m$, що забезпечує достовірніше моделювання ніж Г-подібна та наближає її до Т-подібної.

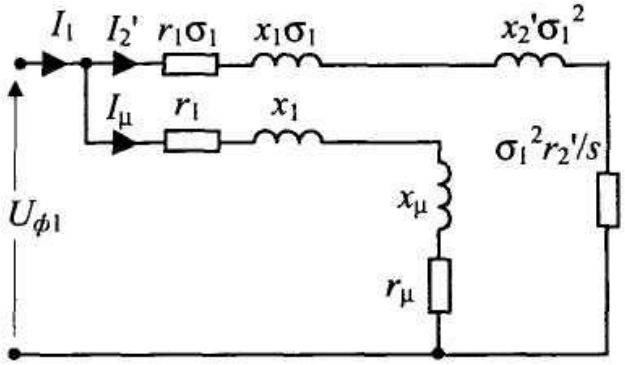

Рисунок 2.5 - Уточнена Г-подібна схема заміщення фази асинхронного двигуна

Динамічні моделі асинхронного двигуна, побудовані на основі однофазних заступних схем

При під'єднання кола активно-індуктивного навантаження *R, L* до джерела із синусоїдної напругою $U_m \sin \omega t$ у колі виникає перехідний струм, що буде мати вимушену та вільну складові. Значення амплітуди вимушеної складової струму

$$i_{\text{вим}} = \frac{U_m}{z}$$

$$z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

а вільної складової струму

$$i_{\text{вс}} = A\, e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\text{де } \tau = \frac{L}{R},\ A = -\frac{U_m}{z} \text{ для } t = 0.$$

Згідно цього, однофазна заступна схема R-L кола змінного струму розглядається як еквівалентне коло постійного струму, у якому $U_{=}$ = $U_{ф1}$, z=R, а T=τ=L/R – значення електромагнітної сталої часу. Згідно цього, застосувавши закон Кірхгофа для кіл постійного струму, можна створити динамічну модель асинхронного і синхронного двигуна.

Математична та структурна моделі асинхронного двигуна, побудовані за Г-подібною заступною схемою

Момент обчислюється за виразом

$$M_{\text{ем}} = \frac{P_{\text{ем}}}{\omega_0}$$

$P_{\text{ем}} = \frac{3i`^2_2 r`_2}{s}$ – значення електромагнітної потужності, що передається у роторне коло двигуна;

$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p_n}$ – значення синхронної частоти поля статора для f_1 частоти струму статора;

$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ – ковзання.

$$M = \frac{3i`^2_2 r`_2}{\omega_0 s} = \frac{3i`^2_2 r`_2}{\omega_0 - \omega}$$

Значення зведеного струму ротора i_2 визначимо із диференціального рівняння, що складене для кола постійного струму, еквівалентного колу змінного струму за рис. 2.3:

$$U_{ф1} = i`_2(z_1 + z`_2) + (L_{1\sigma} + L`_{2\sigma})\frac{di`_2}{dt}$$

де $(L_{1\sigma} + L`_{2\sigma}) = \frac{x_1 + x`_2}{\omega} = \frac{x_k}{\omega}$, $\omega_1 = 2\pi f_1$, $z`_2 = \sqrt{(\frac{r`_2}{s})^2 + x_2^2}$, $z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2}$.

Математична модель асинхронного двигуна складається із таких рівняннь:

$$\frac{di`_2}{dt} = \frac{\omega_1}{x_k}(U_{ф1} - i`_2(z_1 + z`_2)),$$

$$M = \frac{3i`_2^2 r`_2}{\omega_0 - \omega}, \qquad (2.16)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_c}{J_\Sigma}.$$

Структурно-математична модель побудована за рівняннями (2.16) показанана рис.2.6.

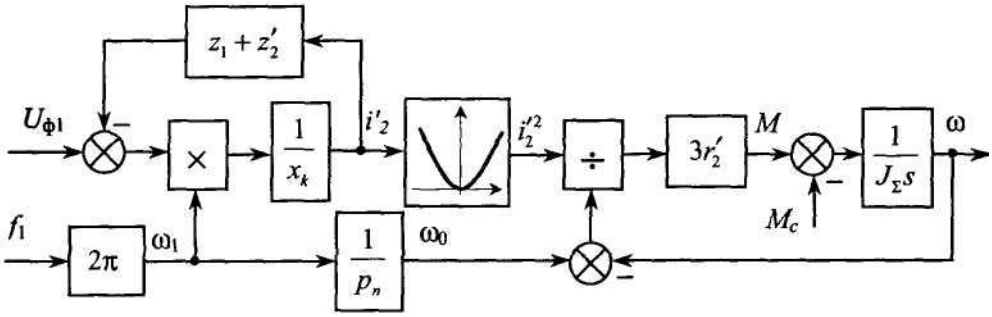

Рисунок 2.6 – Структурно-математична модель асинхронного двигуна, згідно Г-подібної заступної схеми фази двигуна

На такій моделі можна моделювати режими, пуску на природній характеристиці двигуна із короткозамкненим ротором або фазним.

Щоб побудувати математичну модель двигуна, що працює в системі керування із використанням зворотного зв'язку за струмом статора, то до рівнянь (2.16) додамо наступні рівняння:

$$\frac{di_\mu}{dt} = \frac{\omega_1}{x_\mu}(U_{ф1} - i_\mu z_\mu)$$

$$i_1 = i`_2 + i_\mu \qquad (2.17)$$

де $z_\mu = \sqrt{r_\mu^2 + x_\mu^2}$.

$$\frac{di_\mu}{dt} = \frac{\omega_1}{x_\mu}\left(U_{\phi 1} - i_\mu z_\mu\right)$$

$$i_1 = i`_2 + i_\mu$$

де $z_\mu = \sqrt{r_\mu^2 + x_\mu^2}$.

На рисунку 2.7 показано структурно-математичну модель асинхронного двигуна побудованої за виразами (2.16) і (2.17).

Математична та структурна моделі асинхронного двигуна, побудовані за Т-подібною заступною схемою

Щоб створити динамічну модель за Т-подібною заступною схемою, для забезпечення вищої точності динамічних та статичних характеристик, необхідно зробити певні перетворення: замінити паралельний контур z_μ-$z`_2$ еквівалентним послідовним згідно правилам перетворення провідності синусоїдного кола змінного струму.

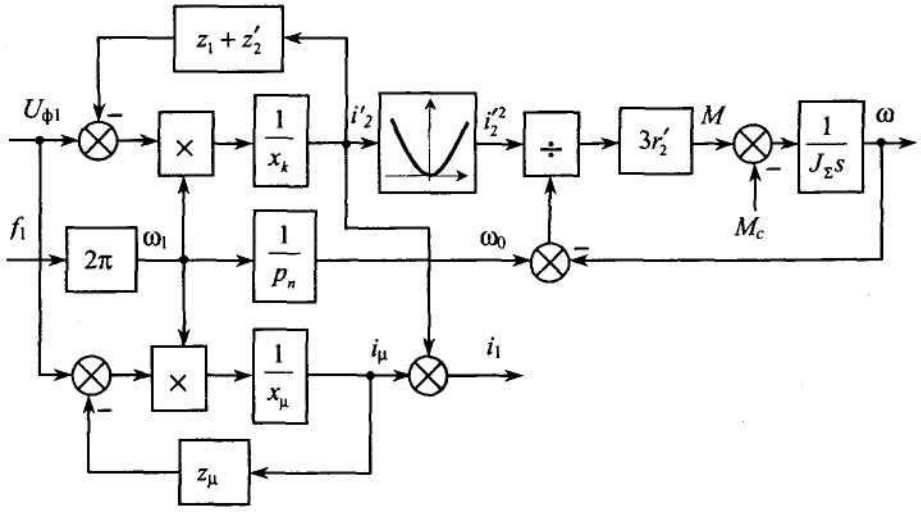

Рисунок 2.7 – Структурно-математична модель асинхронного двигуна із виділеним струмом статора, яка побудована на основі Г-подібної заступної схеми фази двигуна

Отже комплексна провідність:

$$Y = \frac{1}{z} = \frac{1}{r+jx} = \frac{r-jx}{r^2+x^2} = \frac{r}{z^2} - j\frac{x}{z^2} = a - jb,$$

звідки, $a = \frac{r}{z^2}; b = \frac{x}{z^2}$ і навпаки, $r = a\ z^2 = \frac{a}{y^2};\ \ x = b\ \ z^2 = \frac{b}{y^2}$.

Параметри заступної схеми асинхронного двигуна при заміні паралельного контуру $z_\mu - z`_2$ послідовним з $r_e - x_e$ еквівалентної Т-подібної заступної схеми.

$$a = \frac{r_\mu z`^2_2 + r`_2 z^2_\mu}{z^2_\mu z`^2_2},$$

$$b = \frac{x_\mu z`^2_2 + x`_2 z^2_\mu}{z^2_\mu z`^2_2}?$$

$$y^2 = a^2 + b^2,$$

$$r_e = \frac{a}{y^2},$$

$$x_e = \frac{b}{y^2},$$

$$z_e = \sqrt{r_e^2 + x_e^2},$$

На рисунку 2.8 показано еквівалентну заступну схему. Створимо математичну модель із рівнянь електричної рівноваги для динамічних режимів (з урахуванням у виразах r_2'/s):

$$U_{\phi 1} = i_1(z_1 + z_e) + \frac{x_1 + x_0}{\omega_1}\frac{di_1}{dt}$$

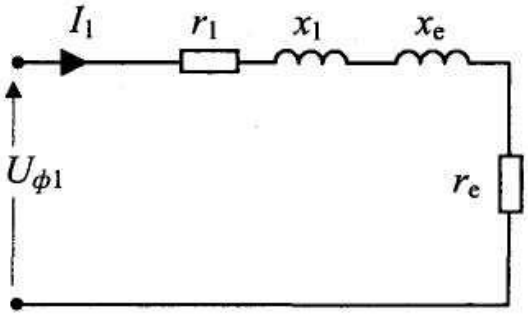

Рисунок 3.8 – Еквівалентна схема заміщення Т-подібної заступної схеми фази асинхронного двигуна

Звідки

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{\omega_1}{x_1 + x_e}\left(U_{\phi 1} - i_1(z_1 + z_e)\right);\ e_1 = U_{\phi 1} - i_1 z_1;\ e_1 = i`_1 z`_2 + \frac{x`_2}{\omega_1}\frac{di`_2}{dt}.$$

Тоді:

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{\omega_1}{x_1+x_e}\Big(U_{\phi 1} - i_1(z_1 + z_e)\Big), \tag{2.18}$$

$$\frac{di`_2}{dt} = \frac{\omega_1}{x`_2}(e_1 - i`_2 z`_2) = \frac{\omega_1}{x`_2}(U_{\phi 1} - i_1 z_1 - i`_2 z`_2), \tag{2.19}$$

$$M = 3i`^2_2 r`_2/(\omega - \omega_0), \tag{2.20}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M-M_c}{J_\Sigma}. \tag{2.21}$$

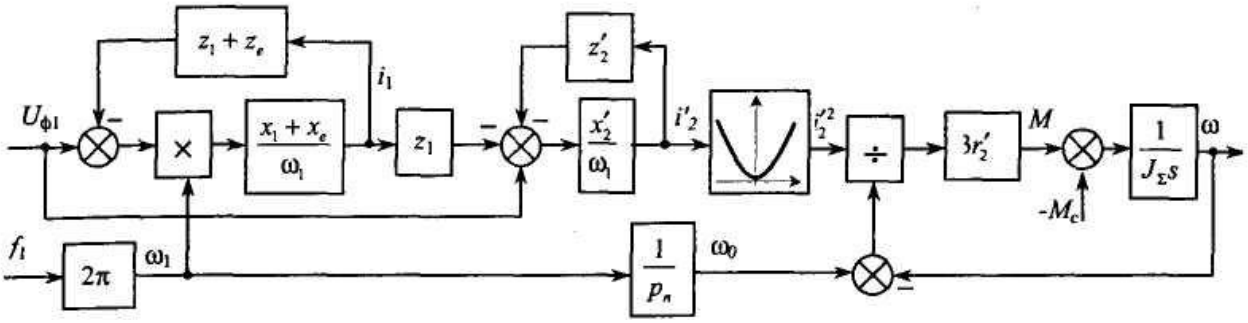

Рисунок 2.9 – Структурно-математична модель асинхронного двигуна, побудована на основі Т-подібної заступної схеми фази двигуна

Згідно виразів (2.18) – (2.21) математичної моделі побудовано структурно-математичну модель (рис. 2.9).

Таку модель застосовують для моделювання різних статичних та динамічних режимів асинхронного двигуна.

РОЗДІЛ 3

ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ

3.1 Структурна схема замкненої системи керування

Характеристики механізмів відцентрового типу створюють сприятливі умови роботи регульованого електропривода, як по відношенню до статичних навантажень, так і до потрібного діапазону регулювання швидкості. Якщо статичний напір $H_{ст}=const\neq0$, то для зміни подачі від нуля до номінального значення $Q_{ном}$ необхідний діапазон регулювання швидкості

$$D=\omega_{ном}/\omega_{min}=\sqrt{H_O/H_{ст}}\,, \qquad (3.1)$$

де H_o – напір, який розвиває механізм при $Q=0$ і $\omega=\omega_{ном}$.

При високому рівні статичного напору, наприклад $80\%H_o$, зниження швидкості на 10% вже забезпечить зменшення подачі до нуля. В середньому для регульованого електроприводу відцентрових насосів діапазон регулювання швидкості, як правило, є не більше 2:1. Ці особливості насосів і невисокі вимоги до жорсткості механічних характеристик дозволяють застосовувати для них прості в реалізації варіанти регульованого асинхронного електропривода. Найбільш поширеним серед них на сьогоднішній день є: перетворювач частоти-асинхронний двигун.

При частотному способі регулювання вдається отримати жорсткі характеристики в досить широкому діапазоні, і як наслідок невеликі втрати потужності. Відсутність необхідності в електричному гальмуванні і реверсі привода відцентрового насоса спрощує структуру перетворювача частоти.

Жорсткість механічних характеристик привода в такій системі в діапазоні регулювання швидкості 10:1 і при законі управління $U/f=const$ забезпечує достатню стабільність регульованої координати.

Оскільки споживання води не рівномірне, то в системі передбачений зворотній зв’язок за тиском в повітряно-водяному котлі. Запропонована система керування матиме вигляд зображений на рисунку 3.1.

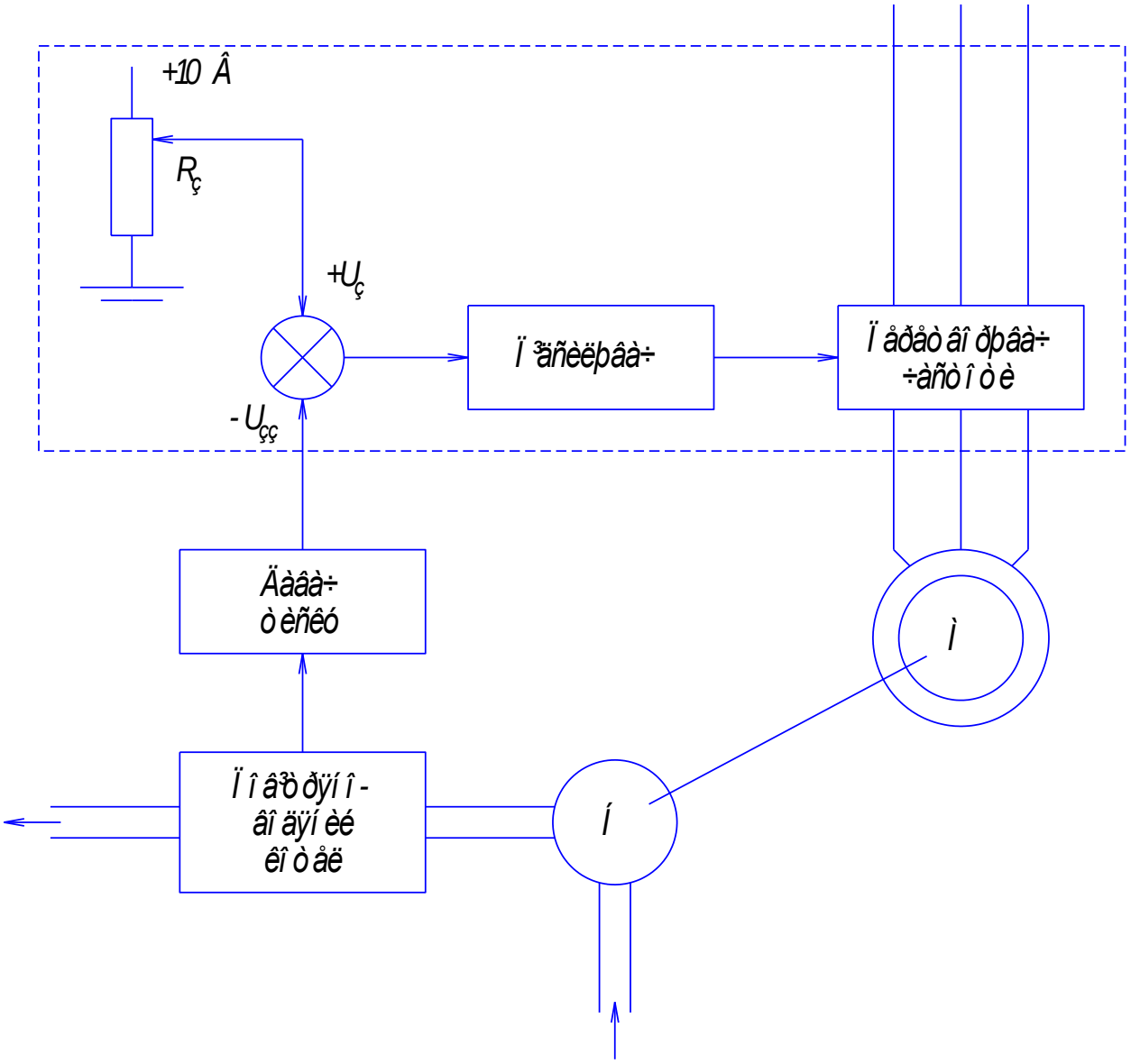

Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи керування електроприводу насоса

3.2 Побудова моделі системи електроприводу

Основними елементами системи є: пертворювач частоти, асинхронний двигун; регулятор тиску, повітряно-водяний котел, давач зворотнього зв’язку за тиском.

Розпочнемо побудову моделі системи із моделі асинхронного двигуна.

Система рівнянь відносно вихідних координат:

$$I`_p = \frac{(\omega_{0ел} - \omega_{дел})U_ф}{\omega_{0ел} R`_{2\Sigma}(pT_e + 1)}; \quad (3.1)$$

$$\omega_д = \frac{M_д - M_c}{pJ_\Sigma}; \quad (3.2)$$

$$M_д = \frac{3p_п I`_p U_ф}{\omega_{0ел}}; \quad (3.3)$$

$$\omega_д = \frac{\omega_{дел}}{p_п}, \quad (3.4)$$

де $T_e = \frac{L`_2}{R`_{2\Sigma}} = \frac{X_к}{\omega_{0ел} R`_{2\Sigma}} = \frac{1}{\omega_{0ел} s_к}$ - значення електромагнітної сталої двигуна.

$M_к = \frac{3U_ф^2}{2\omega_0 X_к} = \frac{3U_ф^2 s_к}{2\omega_0 R`_{2\Sigma}}$ – значення критичного моменту двигуна;

$s_к = \frac{R`_{2\Sigma}}{X_к}$ – значення критичного ковзання двигуна;

$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p_п}$ – значення швидкості ідеального холостого ходу двигуна;

$\omega_д$ – значення швидкості двигуна;

$X_к = X_c + X`_p$ – значення індуктивного опору кола короткого замикання;

$P_п$ – значення кількості пар полюсів;

$\beta = \frac{2M_к}{\omega_0 s_к}$ – значення коефіцієнта жорсткості робочого відрізку механічної характеристики $\omega_д = f(M)$ двигуна;

$R`_{2\Sigma}$ – сумарнен значення приведеного активного опору кола ротора.

$\omega_{рее} = \omega_{0ел} - \omega_{дел}$ - значення кутової електричної частоти обертання поля ротора;

$\omega_{0ел} = 2\pi f_1$ - значення кутової електричної частоти обертання напруги мережі;

$\omega_{дел} = p_п \omega_д$ - значення кутової електричної швидкості обертання ротора;

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

Φ_μ - значення результуючого потоку двигуна.

Згідно системи рівнянь побудуємо структурно-математичну модель трифазного асинхронного двигуна (рис. 3.2), що відповідає роботі двигуна на робочій ділянці механічної характеристики від $s=0$ до $s=s_к$.

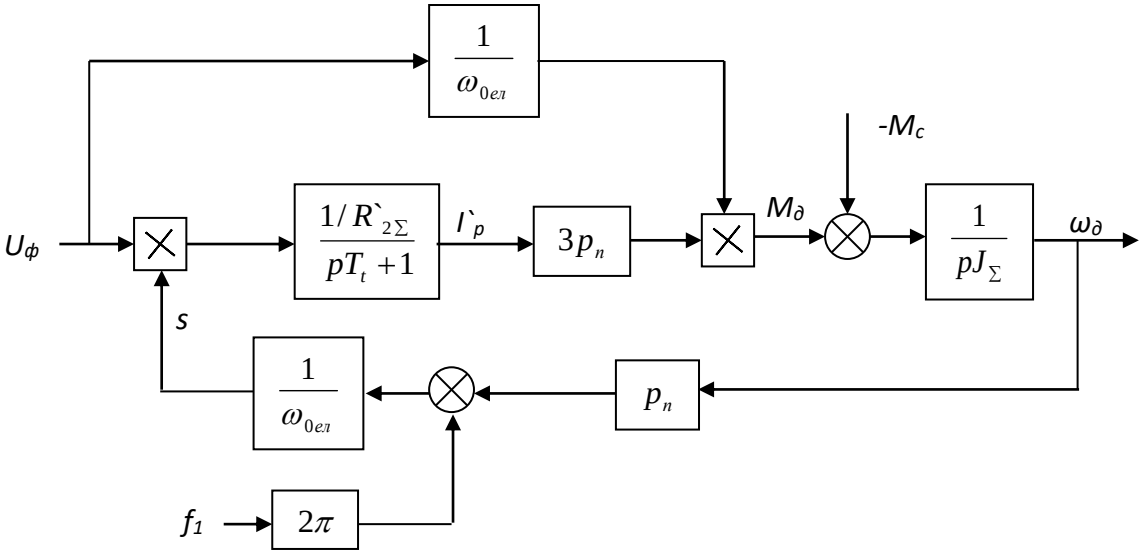

Рисунок 3.2 – Математична модель асинхронного двигуна.

Вхідними координатами структурно-математичної моделі є активний опір ротора $R`_{2\Sigma}$, напруга статора $U_ф$, момент статичного навантаження $M_c$, частота напруги статора $f_1$. Вихідні координати – кутова швидкість двигуна $\omega_д$, електромагнітний момент $M_д$, струм ротора $I`_p$.

Розрахуємо параметри моделі трифазного асинхронного двигуна.

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

$$p_n = 1;$$

$$s_н = \frac{n_0 - n_н}{n_0} = \frac{3000 - 2934}{3000} = 0{,}022;$$

$$s_к = s_н(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0{,}022(2{,}2 + \sqrt{2{,}2^2 - 1}) = 0{,}091;$$

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0ел} s_к} = \frac{1}{314*0{,}091} = 0{,}035 \text{ с};$$

$$к = \frac{0{,}95U_ф}{E_{рн}} = \frac{0{,}95*220}{288} = 0{,}73;$$

$$R`_2 = \frac{E_{рн}}{I_{рн}} * s_н * к_1 = \frac{288}{20{,}8} * 0{,}022 * 0{,}73 = 0{,}222 \text{ Ом};$$

$$\frac{1}{R`_2} = \frac{1}{0.222} = 4{,}5 \text{ См.}$$

Моделювання здійснимо у математичному пакеті MATLAB/Simulink.

Модель асинхронного двигуна у математичному пакеті MATLAB/Simulink з підставленими значеннями параметрів представлена на рис. 3.3.

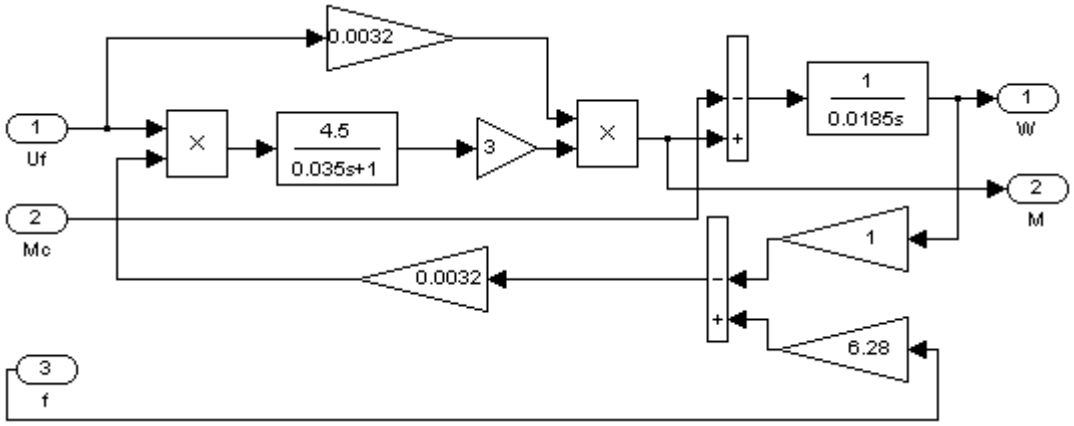

Рисунок 3.3 – Структурно-математична модель трифазного асинхронного двигуна АД у математичному пакеті MATLAB/Simulink

Відцентровий насос належить до механізмів із квадратичною залежністю моменту навантаження від швидкості обертання.

Напірна характеристика відцентрового насосу $H = f(Q)$ описується параболою

$$H = H_0\left(\frac{n}{n_{ном}}\right)^2 - C_4 Q^2 \ . \qquad (3.5)$$

Залежність значення потужності на валу від продуктивності апроксимується прямою лінією

$$P_{мех} = P_0\left(\frac{n}{n_{ном}}\right)^3 + A_4 Q\left(\frac{n}{n_{ном}}\right)^2 \ . \qquad (3.6)$$

Значення коефіцієнтів C_4 і A_4 розраховують за номінальними даним насосу:

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

Де H_0 - напір на валі турбомеханізму, при $Q=0$ (закритому засуві);

P_0 - потужність на валі турбомеханізму, при $Q=0$ (закритому засуві);

$n = n_{ном}$, $H_{ном}$, $Q_{ном}$, $P_{ном}$, $n_{ном}$ - значення номінального напору, подачі, потужності на валу і частоти обертання насосу.

Робочий режим насосу описується характеристикою насосу та характеристикою гідравлічної мережі

$$Q = \sqrt{\frac{H_0\left(\frac{n}{n_{ном}}\right)^2 - H_c}{R + C_4}} \ ; \tag{3.7}$$

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

або

$$P_{мех} = P_0\left(\frac{n}{n_{ном}}\right)^3 + A_4\left(\frac{n}{n_{ном}}\right)^2 Q \ . \tag{3.8}$$

Значення моменту

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

або

$$M = \frac{9560P_0}{n_{ном}}\left(\frac{n}{n_{ном}}\right)^2 + \frac{9560A_4}{n_{ном}}\frac{n}{n_{ном}}Q \ . \tag{4.33}$$

Помпа описана статичними рівняннями і її структурна схема відносно продуктивності показана на рисунку 3.4.

Вихідні дані помпи для розрахунку

Тип 4К-18

$H_o = 30$ *м*

$H_н = 25,7$ *м*

$Q_н = 0,017 \ \ м^3/с$

$P_о = 5,6 \ \ кВт$

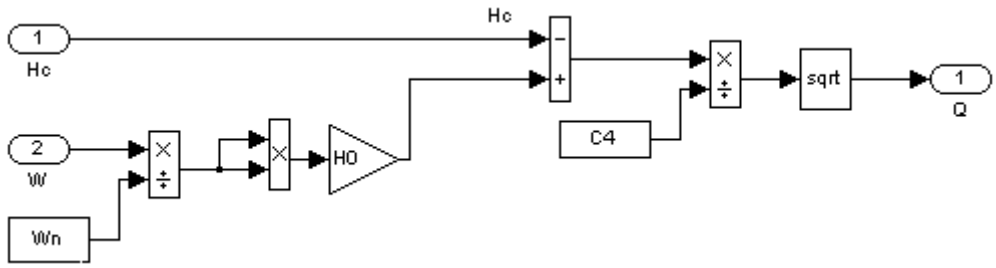

Рисунок 3.4 – Структурно-математична модель насосу

Значення параметрів структурно-математичної моделі насосу

$$C_4 = \frac{Ho - Hн}{Q^2} = \frac{30 - 25,7}{0,017^2} = 14879 .$$

Структурно-математичної моделі насосу із підставленими значеннями представлена на рис. 3.5.

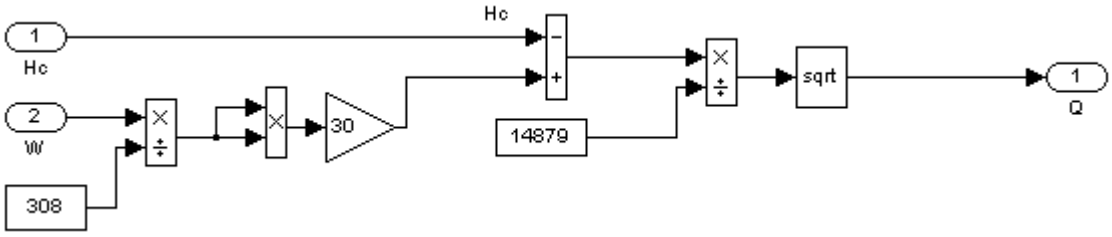

Рисунок 3.5 – Структурно-математична модель помпи із підставленими значеннями

На рис. 3.6 представлено модель I – регулятора тиску із підібраними параметрами.

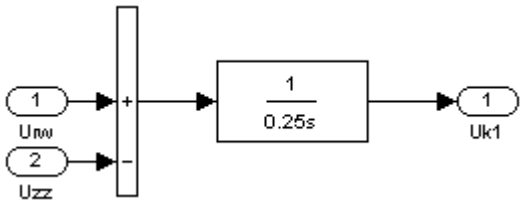

Рисунок 3.6 – Модель I – регулятора тиску.

На рисунку 3.7 представлено модель перетворювача частоти з законом керування $U/f^2=const$.

Повітряно-водяний котел моделює процес зміни споживання, спочатку збільшення, а потім зменшення. Модель представлена на рис. 3.8.

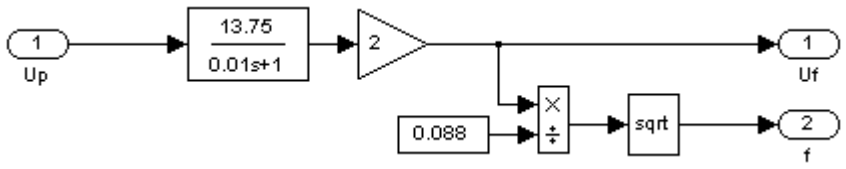

Рисунок 3.7 – Модель перетворювача частоти з законом керування $U/f^2=const$

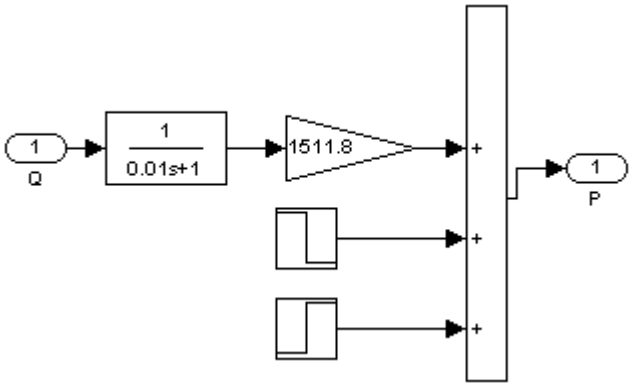

Рисунок 3.8 – Повітряно-водяний котел зі зміною споживання

Модель замкненої системи керування електроприводом насосної станції із частотним керуванням у функції тиску в повітряно-водяному котлі представлена на рисунку 3.9.

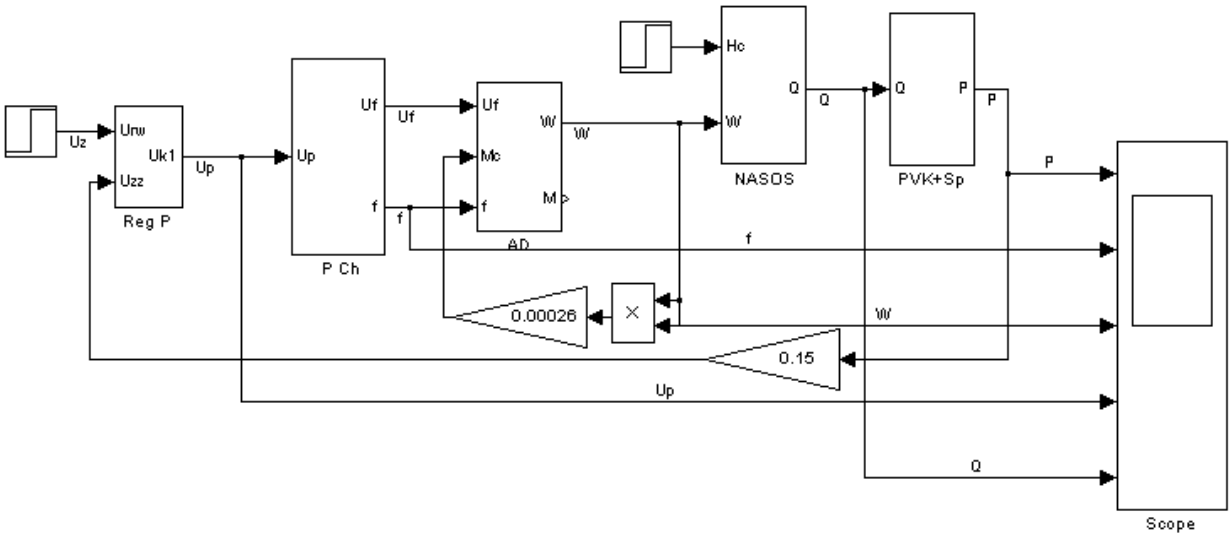

Рисунок 3.9 – Модель замкненої системи керування електроприводом насосної станції із частотним керуванням у функції тиску в повітряно-водяному котлі

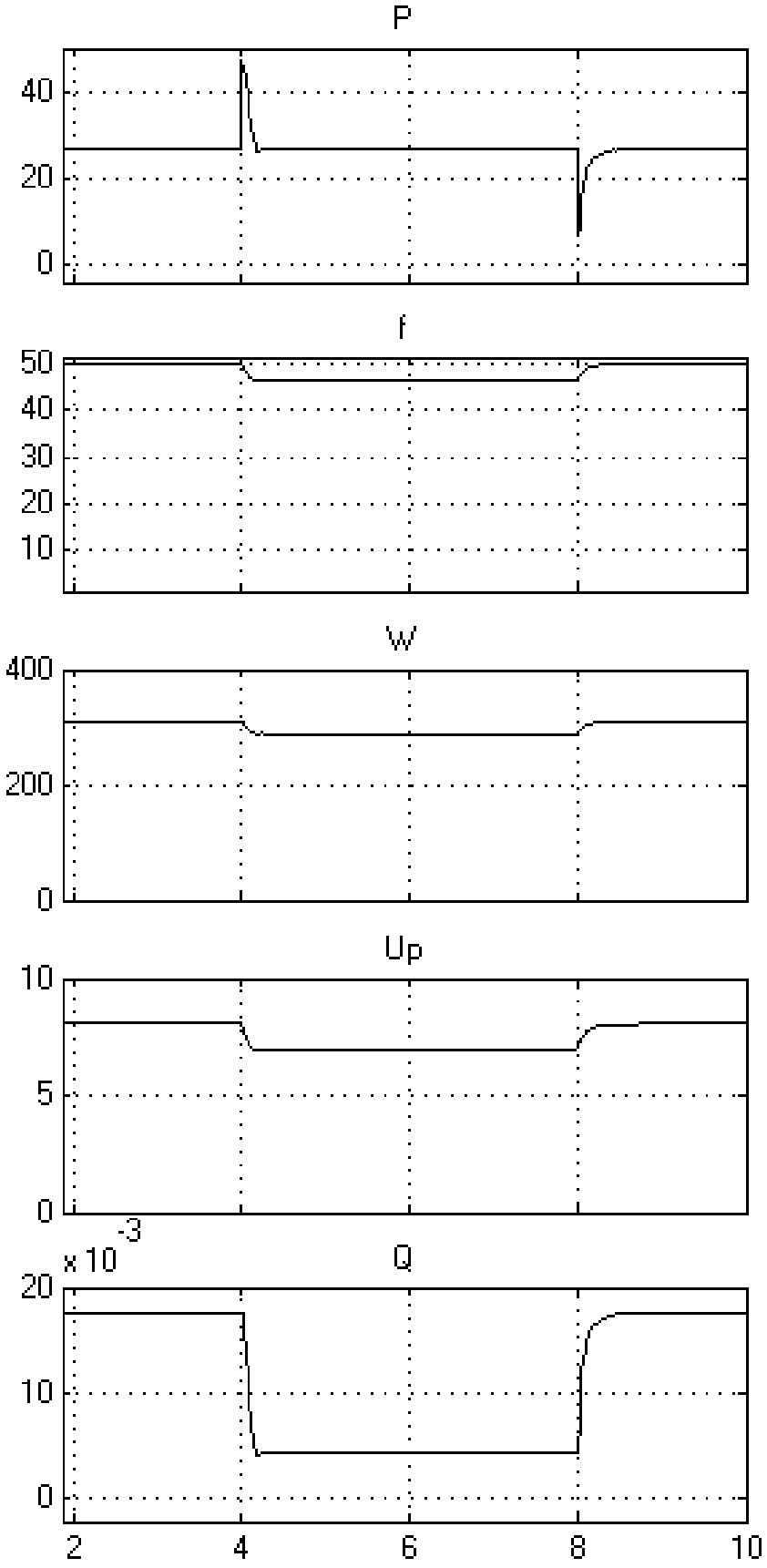

Рисунок 3.10 – Графіки перехідних процесів тиск, частота напруги живлення, кутова частота обертання двигуна, напруга регулювання, витрата

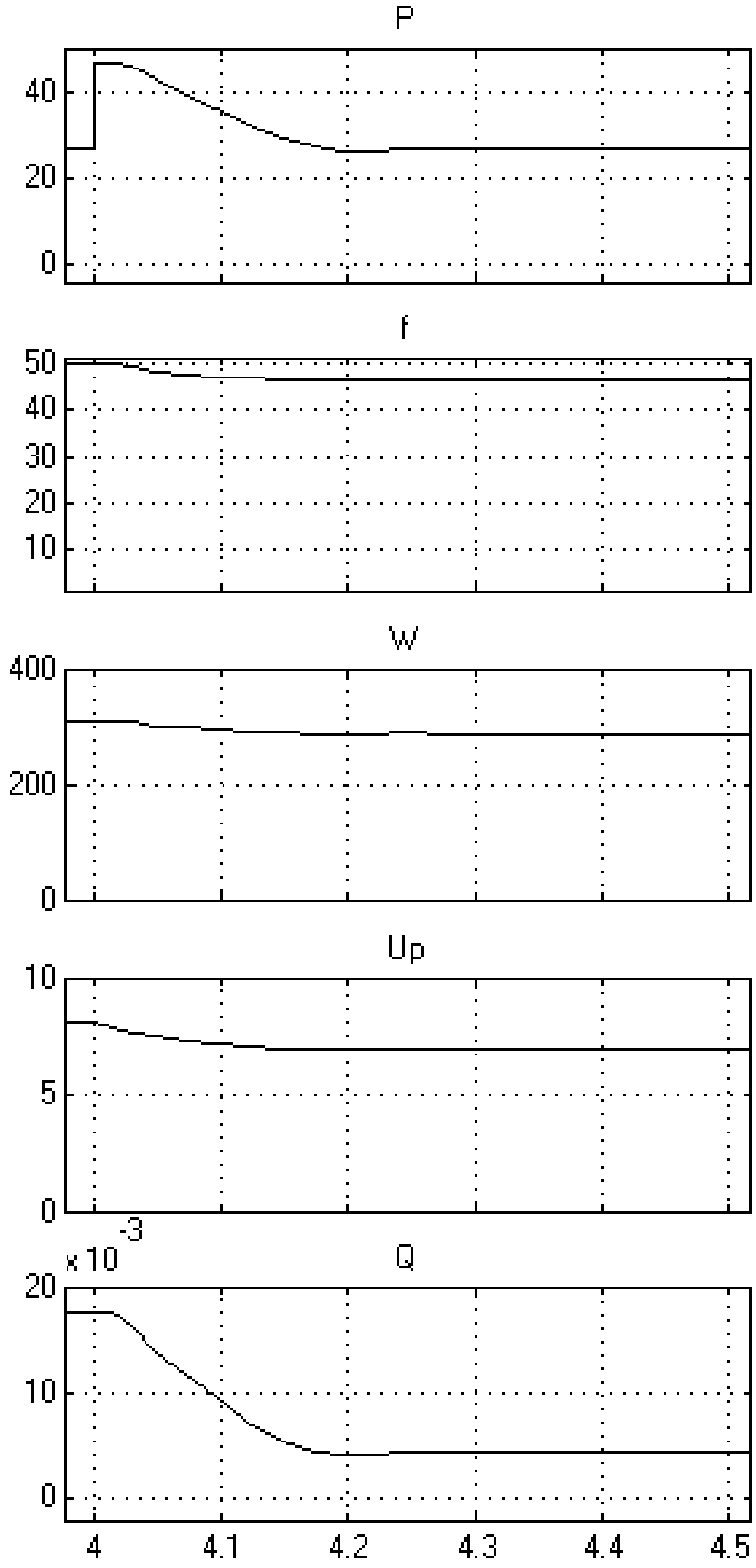

Рисунок 3.11 – Укрупнені графіки перехідних процесів при зниженні споживання тиск, частота напруги живлення, кутова частота обертання двигуна, напруга регулювання, витрата

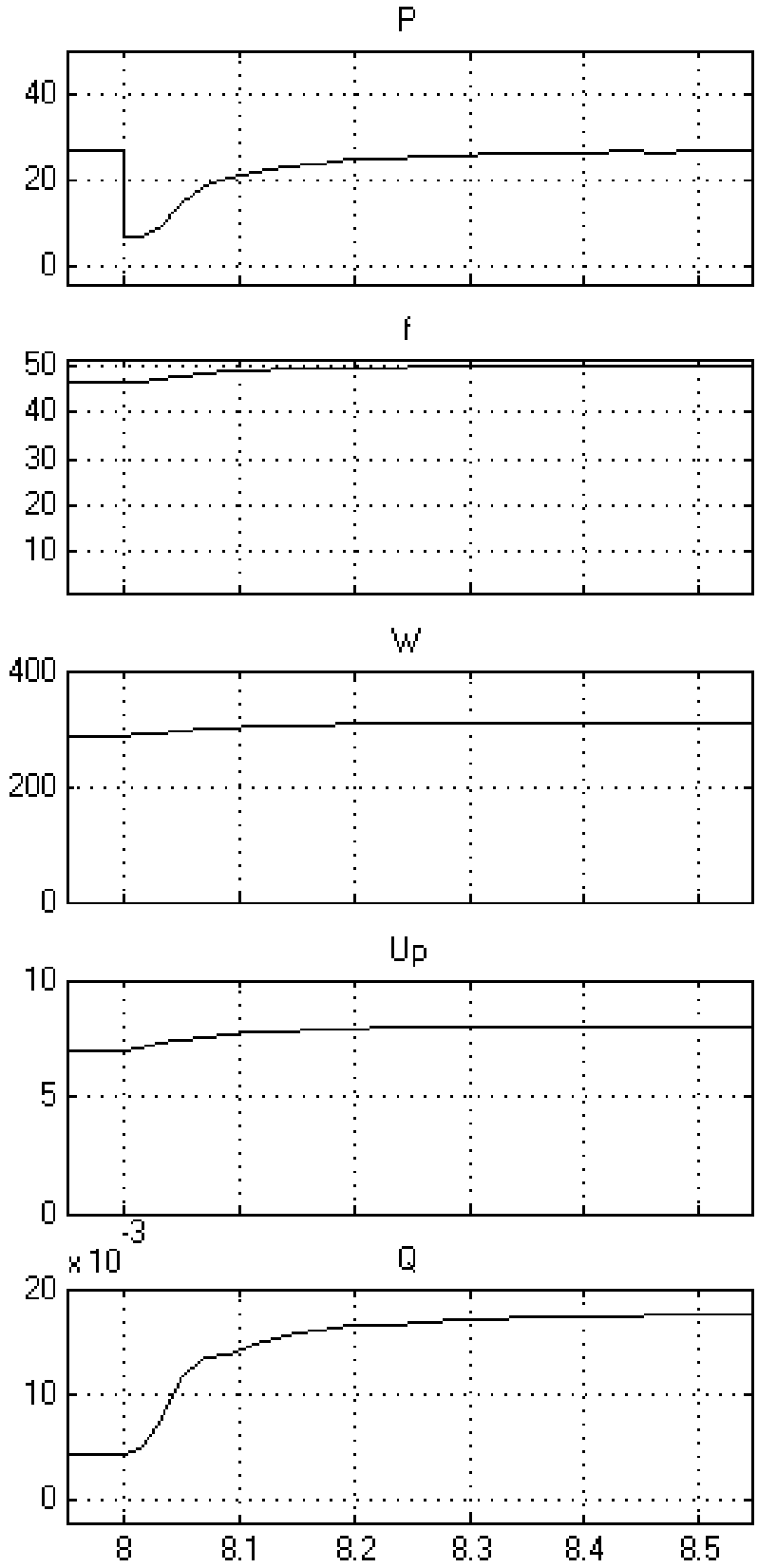

Рисунок 3.12 – Укрупнені графіки перехідних процесів при збільшенні споживання тиск, частота напруги живлення, кутова частота обертання двигуна, напруга регулювання, витрата

3.3 Дослідження динаміки системи

За допомогою даної моделі можна дослідити динаміку системи при зміні навантаження. Графіки перехідних процесів представлені на рис. 3.10. Укрупнене зображення зменшення та збільшення споживання на рис. 3.11, 3.12 відповідно.

Так при зменшенні споживання води різко збільшується тиск, при цьому система зменшує частоту напруги живлення двигуна і відповідно зменшує швидкість обертання помпи, зменшується подача і тиск вирівнюється. І навпаки, при збільшенні споживання води тиск зменшується і швидкість двигуна збільшується, отже збільшується і подача.

Отже з аналізу графічних залежностей перехідних процесів видно, що система працює належним чином, забезпечуючи автоматичну підтримку тиску у системі в залежності від споживання.

Час перехідних процесів становить менше 0,5с.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз стану охорони праці

Аналіз стану охорони праці на підприємстві виконується з метою виявлення причин і факторів незадовільного стану безпеки виробництва, які найбільше впливають на результати діяльності підприємства й на визначення заходів щодо поліпшення умов та охорони праці.

Оцінка рівня стану охорони праці в підрозділах здійснюється відділом охорони праці та спеціалізованими комісіями за результатами періодичного контролю за відповідний період на підставі статистики травматизму, аналізу усунення порушень, виявлених під час попереднього контролю, зазначених у приписах інженерів охорони праці, органів нагляду та ін.

Стан охорони праці необхідно оцінювати на основі показників, їх чисельної оцінки та при порівнянні із заданими чи базовими значеннями.

Система показників потрібна для того, щоб:

- планувати і прогнозувати стан охорони праці на перспективу у вигляді цільових завдань;
- об’єктивно оцінювати фактичний стан охорони праці й ефективність функціонування системи управління, а також ступінь вирішення цільових завдань (досягнення мети);
- порівнювати в оцінюваному періоді діяльність підприємств у галузі охорони праці, які мають різний характер виробництва;
- використовувати показники як вихідну інформацію для економічного регулювання;
- вибирати пріоритетні напрями діяльності (оптимальні варіанти), які забезпечували б ефективне функціонування системи за обмежених ресурсів.

Практика свідчить, що для оцінки стану охорони праці можуть застосовуватися як оцінні, так і аналітичні показники.

Серед найбільш поширених оцінних показників стану охорони праці слід виділити традиційні коефіцієнти частоти (Кч.т) та тяжкості травматизму (Кт.т). Крім них, для оцінки стану можуть бути використані й такі оцінні показники:

- чисельність потерпілих у результаті нещасних випадків із втратою працездатності більш ніж на один робочий день (абсолютне число за даними статистики);
- загальна кількість днів втрати працездатності по всіх нещасних випадках з урахуванням перехідних;
- коефіцієнт частоти смертельного травматизму ($К_{ч.с}$);
- відносні коефіцієнти частоти ($К_{ч.т.в}$) та тяжкості ($К_{т.т.в}$), що обчислюються як відношення $К_{ч.т}$ та $К_{т.т}$ до базових завдань $К_{ч.т}$.б і $К_{т.т.б}$, тобто

$$К_{ч.т.в}=К_{ч.т.}/ К_{ч.т.б} \quad (4.1)$$

$$К_{т.т.в}=К_{т.т}/К_{т.т.б} \quad (4.2)$$

Серед усіх оцінних показників відносні коефіцієнти частоти та тяжкості травматизму найбільше відповідають цільовій стратегії управління, оскільки базові значення показників можуть періодично коригуватися в міру наближення до них чи за їх перевищенням. Тоді робота підприємства (підрозділу) оцінюватиметься як задовільна.

Виділяють також аналітичні показники. До них можна віднести:

- загальний показник травматизму;
- чисельність потерпілих у результаті нещасних випадків із втратою працездатності менш ніж на один робочий день (за даними статистики);
- загальні фактичні витрати на відшкодування шкоди потерпілим (за бухгалтерськими даними) або сума страхових внесків з урахуванням прийняття Закону України «Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від

нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності»;

- загальні фактичні витрати, вкладені в цільові заходи охорони праці (за бухгалтерськими даними).

Аналіз може провадитися і за іншими, більш специфічними параметрами та напрямами, характерними для конкретних виробництв, наприклад за кількістю нещасних випадків на облікову одиницю виробленої продукції у натуральному чи грошовому виразі, на 10 млн відпрацьованих годин тощо. Аналогічний підхід може бути й до статистики професійно зумовлених захворювань.

На основі кількісних та інших показників роботи підприємства в галузі безпеки праці може здійснюватися й якісна оцінка стану охорони праці: задовільний стан, незадовільний стан чи вкрай незадовільний стан. З цією метою мають бути встановлені чіткі, об’єктивні межі даного розподілу.

Стан охорони праці вважається незадовільним за наявності в підрозділі в оцінюваному періоді хоча б одного з перелічених факторів, одного й більше травматичних випадків чи/і аварійних ситуацій, порушень, що виявляються повторно по закінченні терміну усунення; порушень, пов’язаних з явною чи потенційною небезпекою для здоров’я і життя людей, значними негативними технічними чи екологічними наслідками (так званих критичних порушень), а також виявлених у момент проведення періодичного (квартального) контролю. У разі відсутності в підрозділі зазначених факторів стан охорони праці оцінюється задовільно. Стан охорони праці вважається вкрай незадовільним за наявності групових чи смертельних випадків.

Оцінка стану охорони праці за результатами роботи за рік здійснюється щодо тих самих категорій, виходячи з переважаючої оцінки за результатами періодичного контролю. Якщо охорона праці була оцінена більше ніж в одному кварталі незадовільною за результатами року, вона не може бути оцінена позитивною, тобто задовільною. У разі, якщо хоча б в одному з кварталів

робота підрозділу оцінювалась як украй незадовільна за результатами року, вона повинна бути визнана також незадовільною.

4.2 Планування заходів з покращення охорони праці

Завдяки постійному розвитку науки і техніки виникає можливість, а в деяких випадках і необхідність подальшого вдосконалення умов праці. Систематичне їх поліпшення на діючих підприємствах повинно, здійснюватися адміністрацією підприємства шляхом щорічного виконання номенклатурних заходів, що забезпечують попередження нещасних випадків, оздоровлення і загальне поліпшення умов праці.

Розробка номенклатури заходів з охорони праці починається задовго до укладення колективного договору. Вона складається з конкретних заходів, що сприяють в подальшому поліпшенню умов праці в господарстві в порівнянні з досягнутими, і здійснюється на підставі пропозицій робітників і службовців господарства, аналізу причин відбулися нещасних випадків і захворювань, а також приписів технічних інспекторів державних інспекцій з охорони праці. При цьому слід керуватися також номенклатурою заходів з охорони праці для підприємств та установ системи, відповідно до якої ряд заходів хоча і сприяє загальному поліпшенню праці, тим не менш в номенклатуру не включається. До них належать такі заходи

Впровадження нових машин, технологічних процесів та ін. Заходи, спрямовані на підтримку стану охорони праці на досягнутому рівні (утримання та поточний ремонт захисних огороджень і пристосувань, вентиляції, опалення та ін.).

Проведення обов'язкових заходів щодо навчання (інструктажі, курсове навчання).

Придбання індивідуальних засобів захисту і забезпечення робочих лікувально-профілактичним харчуванням.

Колірна обробка, обладнання і будівель як один з елементів їх змісту.

Благоустрій території (влаштування та поліпшення доріг, пішохідних доріжок, озеленення та ін.

Поліпшення або ліквідація забруднення повітряного і водного басейнів прилеглих житлових районів.

Ці заходи виконуються за спеціальними планами організаційно-технічного вдосконалення виробництва.

Проект номенклатурних заходів складається, керівниками виробничих дільниць, головними спеціалістами галузей і старшими інженерами (інженерами) з техніки безпеки відповідно по ділянках, галузям (відділам) і господарству в цілому спільно з членами комісії з охорони праці при місцевому комітеті профспілки.

Захід має бути конкретним і мати чітке назву, наприклад, зробити естакаду для навішування стогометатель на трактор, зробити і встановити питні фонтанчики та ін. Термін виконання заходу необхідно встановлювати з урахуванням його важливості для забезпечення безпеки праці, необхідного обсягу роботи і календарної дати, до якої воно приурочується.

Проект номенклатурних заходів обговорюється на загальних зборах колективу або узгоджується з місцевим комітетом профспілки. Потім він оформляється спеціальною угодою адміністрації підприємства з профспілковою організацією, що додається до колективного договору або є самостійним документом в організаціях, де колективний договір не укладається.

На заходи, що увійшли в угоду з охорони праці, повинна бути технічна документація. Вони забезпечуються матеріальними ресурсами, а також грошовими коштами, загальна сума яких залежить від сформованих у господарстві умов (технічної оснащеності, кліматичних умов та ін.).

Виконання угоди з охорони праці контролюється вищестоящої господарської організацією та профспілковою організацією даного підприємства.

Контроль з боку вищестоящої господарської організації здійснюється за складеною адміністрацією підприємства річної звітності про освоєння коштів, обумовлених вищевказаним угодою. Звітність підписується керівником підприємства, головним бухгалтером, а також головою ФЗМК профспілки.

Контроль з боку профспілки полягає в періодичних перевірках ходу виконання угоди (конкретних його пунктів) комісією з охорони праці при місцевому комітеті профспілки підприємства з обов'язковим обговоренням їх результатів на розширених засіданнях місцевого комітету. При цьому можуть вноситися корективи в угоду як за характером окремих заходів, так і за термінами їх виконання.

За невиконання номенклатурних заходів з охорони праці або використання не за призначенням коштів, виділених на ці цілі, адміністрація підприємства відповідно до чинного законодавства притягується до дисциплінарної або адміністративної відповідальності.

Своєчасне планування і здійснення заходів з охорони праці - один з важливих чинників створення здорових і безпечних умов праці, підвищення його продуктивності і, отже, успішного виконання господарських завдань.

4.3 Логіко-імітаційне моделювання процесів виникнення травм та аварій

В безпеці життєдіяльності для вивчення процесів формування небезпечних ситуацій використовуються логіко-імітаційні моделі, які інакше називаються „деревом помилок” або „деревом несправностей і помилок оператора” за їх загальний вигляд, що нагадує галузисту крону дерева.

Сучасна наука з безпеки життєдіяльності широко використовує логіко-імітаційні моделі для вивчення процесів виникнення та формування природних, соціальних, техногенних та інших видів небезпечних ситуацій.

Основні принципи побудови моделі такі. Спочатку визначають, так звану, головну подію. Головна подія – це і є та небезпечна ситуація, модель якої ми будемо будувати (аварія, травма, катастрофа тощо). Головна подія графічно позначається подвійним прямокутником і записується зверху аркуша. Головна подія завжди тільки одна в моделі. Далі починають логічно міркувати, які події привели до головної, тобто визначають причини цієї події. Їх записують під головною. Графічно їх позначають по-різному: ромб - нерозкрита подія (подія, яка вимагає проведення відповідних додаткових досліджень); прямокутник - проміжна подія (подія, причини якої ми можемо визначити); овал-подія-умова, що використовується з оператором „ЗАБОРОНА”; хатка (п’ятикутник, в якому один з боків є основою)- подія,яка може відбутися або не відбутися; трикутник (рівносторонній трикутник) – символ перенесення. Наступний етап побудови моделі-визначення виду логічного зв’язку, що пов’язує головну подію з подіями-причинами. Оскільки дані моделі є логічними, то всі події в них зв’язані логічними зв’язками. Графічно ці зв’язки позначаються за допомогою символів-операторів або логічних операторів. Найчастіше використовуються оператори „І” та „АБО”.

Далі визначають причини подій, що були причинами головної події. Визначають вид цих подій та логічні оператори, які пов’язують ці події з попередніми. Таким чином, ми визначаємо логічну послідовність подій, що призвела до небезпечної ситуації. Нарешті, визначають, так звані, базові або кінцеві події. Графічно вони зображуються у вигляді кола. Будь-яка модель закінчується саме такими подіями. Це події, з яких починається процес формування небезпеки.

Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Необхідно звернути увагу на те, що при побудові логіко-імітаційної моделі першою ми визначаємо головну подію, а останніми – базові події. Але в житті все відбувається навпаки. Спочатку відбуваються базові події, які дають поштовх для розвитку „ ланцюжку ” наступних подій, що призводять, в кінці кінців, до головної події, тобто, до небезпечної ситуації.

Таким чином, логіко-імітаційні моделі дають можливість виявити послідовність подій, що призводять до виникнення небезпечної ситуації. Знаючи цю послідовність, ми можемо на будь-якій стадії перервати її та запобігти виникненню небезпеки. Саме тому логіко-імітаційні моделі мають велике практичне значення для вивчення механізмів зародження та формування небезпечних ситуацій.

Таблиця 4.1 – Ймовірності подій виникнення небезпеки в пташнику

Шифр	Назва події	Ймовірність
P_1	Відсутність захисного заземлення	0,01
P_2	Пошкодження захисного заземлення	0,03
P_3	Неправильна експлуатація електрообладнання	0,03
P_4	Спрацювання електротехнічних засобів захисту	0,075
P_5	Відсутність профілактичних заходів	0,15
P_6	Відсутність захисного щита	0,16
P_7	Недотримання правил техніки безпеки	0,14
P_8	Незнання правил техніки безпеки	0,1
P_9	Відсутність спецодягу	0,21
P_{10}	Халатність працівників	0,15

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_1 і P_2 за допомогою оператора "І" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3можна визначити так:

$$P_3=P_1P_2$$

2. За допомогою оператора "І" три події з ймовірностями P_1 P_2 і P_3формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P_4 обчислюють так:

$$P_4 =P_1P_2P_3 \cdot л$$

3. Оператор "І" об'єднує п події з ймовірностями P_1 P_2, P_3, ..., P_n тоді ймовірність вихідної події Р буде

$$P = P_1P_2...P_n.$$

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

$$P_3=P_1+P_2-P_1P_2.$$

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

$$P_4= P_1+ P_2 + P_3–P_1P_2 -P_2P_3- P_2P_3 + P_1P_2P_3.$$

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.

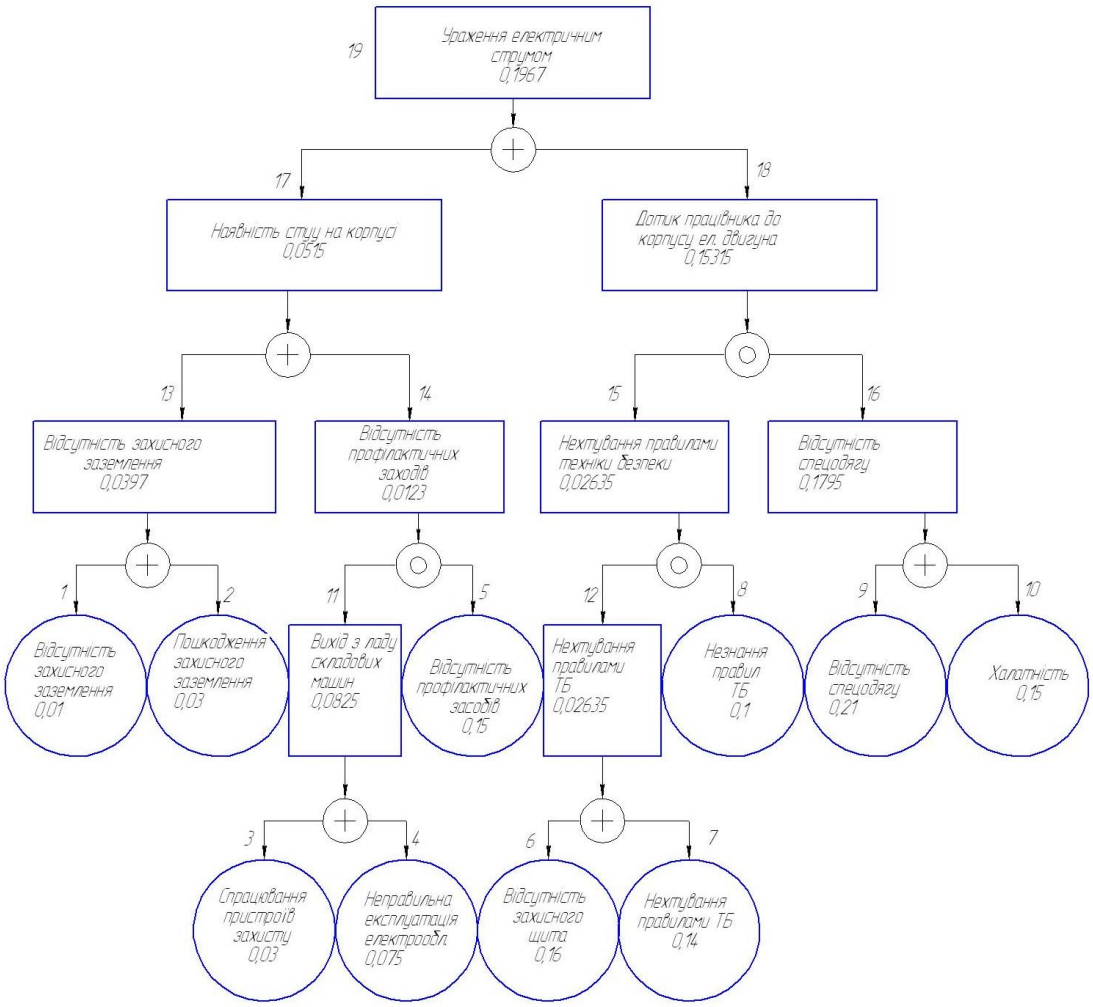

Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм під час роботи вентиляційної установки

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

Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу, отримаємо ймовірність події 13:

$$P_{13} = 0{,}01 + 0{,}03 - 0{,}01 \cdot 0{,}03 = 0{,}0397.$$

Аналогічно визначаємо ймовірність інших подій:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4P_5 = 0{,}03 + 0{,}075 - 0{,}03 \cdot 0{,}75 = 0{,}0825.$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6P_7 = 0{,}16 + 0{,}15 - 0{,}16 \cdot 0{,}15 = 0{,}2635.$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9P_{10} = 0{,}14 + 0{,}1 - 0{,}14 \cdot 0{,}1 = 0{,}1795.$$

$$P_{14} = P_{11}\, P_5 = 0{,}0825 \cdot 0{,}15 = 0{,}0123.$$

$$P_{15} = P_{12}\, P_8 = 0{,}2635 \cdot 0{,}1 = 0{,}02635.$$

$$P_{17}= P_{13}+P_{14} – P_{13}P_{14}= 0,0397 + 0,0123 – 0,0397\cdot0,0123 = 0,0515.$$

$$P_{18} = P_{15} – P_{16}= 0,1795 – 0,02635 = 0,15315.$$

$$P_{19} = P_{17}+P_{18} – P_{17}P_{18} = 0,0515 + 0,15315 – 0,0515\cdot 0,15315 = 0,1967.$$

Таким чином під час роботи вентиляційної установки при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 0,19 травми. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль та виготовити необхідну кількість 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.

4.4 Розробка заходів щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях

При обслуговуванні птиці слід виконувати правила техніки безпеки і охорони праці, хоча технологічний процес виробництва яєць і м'яса птиці не створює особливої або підвищеної небезпеки для здоров'я працівників.

Організація роботи з техніки безпеки на птахофабриках покладається на інженера з техніки безпеки, а в цехах, на ділянках призначаються відповідальні з числа начальників цехів, бригадирів або старших фахівців (громадські інспектори з охорони праці та техніки безпеки). На деяких птахофабриках створені кабінети з охорони праці, де демонструються плакати, фотографії, інструкції, зразки приладів і т.п. тут наочно показується, як контролювати параметри мікроклімату, правильно користуватися установками і приладами і т.д. в цьому кабінеті проводиться повний інструктаж працівників.

Щити управління інкубаторів та електроприладів повинні бути закриті запобіжними кожухами, привід вентилятора та інші рухомі і обертові частини огорожі. На підлозі біля щита управління укладається діелектричний килимок. Електродвигуни, електрощити, прилади управління і сигналізації заземлюють або занулюють. Відкривати щит управління і електроприлади для проведення

огляду, ремонту, або притирання пилу дозволяється тільки закріпленому електрику.

До роботи в цеху батарейного вирощування курчат допускають осіб, які вивчили технологію вирощування курчат і пристрої обладнання. Перед початком роботи обслуговуючий персонал одягає спецодяг, підготовляє робоче місце, оглядає і перевіряє справність обладнання та інвентарю. Підлоги на дільницях повинні бути без вибоїн і тріщин, небезпечних при пересуванні на майданчиках. Працюючи на пересувному майданчику, дотримуються обережності при підйомі та спуску, пересуваються уздовж батарей рівномірно без ривків.

Електродвигуни, електропускову апаратуру, електричні обігрівальні елементи заземлюють, а частини, що перебувають під напругою, закривають запобіжними кожухами. Приводи механізмів по видаленню і роздачі кормів огороджують.

Не можна перевищувати встановлених норм переміщення тяжкості, навантажувати на візок штабель вище 1м від платформи, захаращувати проходи приміщень ящиками і візками.

Слід переконатися у справності огороджень перед пуском механізму гноєвидалення, запобіжних пристроїв і відсутність людей в каналі. Під час роботи його на механізованої батареї забороняється робити підчищення посліду або регулювати обладнання.

При підготовці механізованої батареї до роботи відключають її від електромережі і перевіряють зовнішнім оглядом справність всіх механізмів, огороджень і запобіжних пристроїв. При зміні партії птиці відключають обладнання та вивішують табличку «Не включати». Підготовляють справну тару або контейнери, надягають захисні окуляри і рукавиці, дотримуючись обережності при виїмці та посадці птиці. Прибулий автотранспорт з птахом встановлюють до розвантажувального майданчику впритул.

РОЗДІЛ 5

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Нам необхідно провести наближений порівняльний економічний розрахунок існуючої системи (базової), де керування зійснюється шляхом ввімкненням-вимкненням двигуна та запропонованого варіанту перетворювач частоти-асинхронний двигун (проектований).

У таблиці 5.1 відображено капітальні вкладення у проектований електропривод становить 28 000 грн, на даному етапі не враховуємо видатки на монтаж і транспортні операцій.

Таблиця 5.1 – Значення капітальних вкладеннь у проектований електропривод ($к_е$)

Варіант	Назва обладнання	Кіль-кість, шт	Вартість, грн.	Сумарна вартість, грн
Проектний	Перетворювач частоти	1	28 000	28 000
Разом				28 000

Значення втрат потужності визначаємо:

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

де η – ККД системи електропривода.

Нам необхідно визначити ККД системи як добуток ККД окремих агрегатів. Базовий варіант:

$$\eta_б = \eta_{АД} \eta_{ск} \eta_н, \quad (5.2)$$

де $\eta_{АД}$, $\eta_{ск}$ та $\eta_н$ – ККД відповідно АД та системи керування, врахувуючи те, що двигун не довикористовується, а також часті пуски двигуна із насосом.

Для проектованої системи ПЧ-АД:

$$\eta_{пр} = \eta_{АД} \eta_{пч} \eta_н, \quad (5.3)$$

де $\eta_{АД}$, $\eta_{тпч}$ – ККД відповідно АД, перетворювача частоти і насоса.

Отже ККД становить:

$$\eta_{б}= 0,89\cdot0,80\cdot0,6=0,427;$$

$$\eta_{пр}= 0,89\cdot0,9\cdot0,6=0,481.$$

Сумарні потужності базового та проектного варіанту однакові 7,5 кВт. Втрати потужності у обох випадках згідно (5.1):

$$P`_{б}=7,5\cdot((1-0,427)/0,427)=10,056\ кВт,$$

$$P`_{пр}=7,55\cdot((1-0,481)/0,481)=8,105\ кВт.$$

Визначаємо втрату енергії:

$$\Delta P=P`\cdot K_{з}\cdot F_{д}, \qquad (5.4)$$

де $K_{з}$ =0,8 – значення коефіцієнту завантаження по потужності;

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

Розраховуємо згідно (5.4) втрату енергії для двох випадків:

$$\Delta P=10,056\cdot0,8\cdot2000=16090\ кВт\cdot год;$$

$$\Delta P=8,105\cdot0,8\cdot2000=12970\ кВт\cdot год.$$

Значення вартості втрати електроенергії:

$$B_{втр}=\Delta P\cdot в, \qquad (5.5)$$

де $в$ = 5,85 грн. за кВт – значення роздрібного тарифу за електроенергію, відпущену юридичному споживачу.

Значення вартості втрат електроенергії для двох випадків:

$$B_{втр\ б}=16090\cdot5,85=94\ 127\ грн;$$

$$B_{втр\ пр}=12970\cdot5,85=75\ 875\ грн.$$

Зведемо в таблицю 5.2 вартість втрат електроенергії.

Проведемо розрахунок строку окупності капітальних вкладень порівнюючи із існуючим типом електроприводу за рахунок економії електроенергії через підвищення ККД системи електроприводу

$$T = \frac{K_{еП}}{B_{втрБ} - B_{втрП}}, \qquad (5.8)$$

Таблиця 5.2 – Вартість втрат електроенергії по порівнюваних варіантах

Показник	Варіант, грн.	
	Базовий	Проектний
Система	Ввімкн-вимкн	ПЧ-АД
ККД	*0,427*	*0,481*
ΔP, кВт·год.	*16090*	*12970*
$B_{втр}$, грн/рік	*94 127*	*75 875*

де $K_{eП}$ – значення капітальних вкладень проектованого електроприводу;

$B_{втрБ}$ та $B_{втрП}$ – значення вартості втрат електроенергії електроприводів базового та проектованого.

$$T = \frac{28\,000}{94\,127 - 75\,875} = 1{,}53 \text{ року.}$$

Ми провели наближений економічний розрахунок, який показав доцільність впровадження даного електроприводу, оскільки час окупності становить 1,53 року.

Доцільно зупинити свій вибір на запропонованій системі електроприводу ПЧ-АД, так як економічні показники і технічні властивості даної системи є кращими базового варіанту.

ВИСНОВКИ

1 В роботі було коротко проаналізовано основні способи регулювання продуктивності насосних станцій. Для певних споживачів, наприклад малих фермерських господарств, рекомендують використовувати саме пневматичні установки, що здешевлює капітальні вкладення в будівництво системи водопостачання. Хоча на сьогоднішній день дуже часто використовують саме водонапірні башти, це пов’язано перш за все з виникненням фермерських господарств на базі колишніх колгоспів. За кордоном широко розповсюдженні саме пневматичні установки з керованою продуктивністю насосних станцій. Для використання пневматичних установок необхідно мати надійне електропостачання господарства. Багато господарств використовують резервні електростанції, що забезпечують надійне електропостачання.

2 Регулювання продуктивності і тиску подачі можна здійснювати наступним чином: а) зміною числа працюючих насосів; б) зміною частоти обертання привідного двигуна; в) регулюванням засувкою. Після проведеного аналізу ми прийшли до висновку, що регулювання продуктивності найбільш економічний спосіб регулювання зміною швидкості обертання.

3 Найбільш поширений спосіб плавного регулювання швидкості робочого колеса насосу є частотне керування асинхронним електродвигунгом. Ця система забезпечує плавне економічне регулювання. Перетворювачі частоти випускають провідні фірми такі як АВВ, Шнайдер Електрік, Лензе та ін. Ці перетворювачі є комплектними з можливістю різноманітних налаштування та забезпечення різних режимів роботи та законів керування.

4 Ми запропонували для забезпечення стабільності підтримання тиску в водогінній мережі в системі передбачити зворотній зв’язок за тиском. В залежності від споживання води регулюється частота на виході перетворювача і відповідно швидкість обертання двигуна та насоса.

5 В роботі проаналізували питання особливості регулювання чатоти та побудови математичних моделей асинхронного двигуна.

6 Для дослідження запропонованої системи ми дослідили її динаміку на моделі за допомогою математичного пакета MATLAB/Simulink. Для запропонованої системи керування ми розробили моделі окремих елементів та системи в цілому. Після проведеного моделювання ми побачили, що запропонована схема електроприводу забезпечує необхідні показники динаміки, оскільки час перехідного процесу в системі при різкій зміні споживання води становить менше 0,5 с, хоча фактично таких перепадів споживання фактично не буває, зміна частіше відбувається набагато плавніше.

7 У роботі ми розглянули питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

8 З проведеного економічного розрахунку ми визначили термін окупності, запропонованого вдосконалення, за рахунок економії електроенергії, який становить 1,53 років. В цьому розрахунку не було враховано підвищення надійності електроприводу.

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: Нацональний 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. 504 с.

9. Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Войтюк Д.Г. Електропривод сільськогосподарськихмашин, 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. В. Ц. Жилдецький Основи охорони праці. Підручник. Львів: Афіша. 2005.

16. Видмиш А.А., Трошин О.А. Теорія електропривода. Лабораторний практикум Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ. 2003. – 135 с.