

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ, ІНФОРМАЦІЙНОЇ
ТА ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ПРОДУКТИВНІСТЮ ПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО НАФТОВОГО НАСОСА**
Бакалаврська кваліфікаційна робота

Здобувач:
Максим ТКАЧЕНКО
гр. АЕК 2022-1

Керівник:
Микола Хворост
проф. д.т.н

Харків – 2026

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
імені О. М. Бекетова

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури

Кафедра електричного транспорту

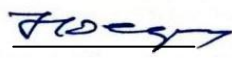
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Автоматизовані електротехнічні комплекси нафтогазової галузі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТ

 Микола ХВОРОСТ
_____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Ткаченко Максим Сергійович

прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: «Розробка автоматичної системи керування продуктивністю перекачувального нафтового насоса»

керівник бакалаврської

кваліфікаційної роботи Хворост Микола Васильович, проф., д.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом університету від 22.05.2026 №440-03

2. Строк подання студентом бакалаврської кваліфікаційної роботи 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської роботи Матеріали переддипломної практики, статистичні дані щодо надійності та відмов транспортних засобів, літературні джерела з експлуатації, обслуговування та ремонту обладнання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1. Стан питання (огляд, аналіз, оцінка)

Огляд технології транспортування нафти. Загальні принципи роботи електроприводу насоса перекачування. Електричний привід технологічних механізмів насосних станцій та нафтобаз.

4.2. Розробка технічного завдання (вибір параметрів, розробка конструкції, структурної та електричної принципової схем, створення алгоритмів роботи тощо, розрахунок вузлів, метод розрахунку, алгоритм управління, програмне забезпечення)

Розробка автоматичної системи регулювання. Розробка функціональної та структурної схеми управління Отримання математичної моделі об'єкта. Аналіз динамічних властивостей об'єкта управління

4.3 Розрахункова частина (розрахунок вузлів, метод розрахунку, алгоритм управління, програмне забезпечення)

Емпіричний метод налаштування регулятора. Метод ручного налаштування командою Tune програми MATLAB. Вибір апаратної бази об'єкта керування.

4.4. Охорона праці.

Значення забезпечення безпеки праці . Нормативна основа . Характеристика об'єкту . Мікроклімат та умови його забезпечення . Розрахунок штучного освітлення . Пожежна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових слайдів)

1. Титульний.
2. Перелік графічного матеріалу.
3. Мета, задачі, актуальність роботи.
4. Технологічна схема обладнання.
5. Насосна станція.
6. Електричний двигун насосу.
7. Аналіз динамічних властивостей об'єкта управління.
8. Результати моделювання.
9. Імітаційна модель електричної частини силового каналу системи «перетворювач частоти – асинхронний електродвигун».
10. Порівняння налагодження регуляторів.
11. Обладнання електроприводу насосу.
12. Висновки.

6. Консультанти розділів бакалаврської кваліфікаційної роботи

Розділ	Ім'я Прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання бачив	завдання прийнявши
Основна частина	Микола ХВОРОСТ		
Антиплагіат	Вікторія ЛЕВЧЕНКО, інж.		
Нормоконтроль	В'ячеслав ШАВКУН, доц.		

7. Дата видачі завдання 16.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан питання	23.05 – 29.05.2026	
2	Розробка технічного завдання	30.05 – 05.06.2026	
3	Розрахункова частина	06.06 – 12.06.2026	
4	Охорона праці	06.06 – 12.06.2026	
5	Оформлення паперового та електронного варіантів роботи	06.06 – 12.06.2026	
6	Підготовка доповіді та презентації	12.06 – 20.06.2026	

Здобувач


(підпис)

Максим ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи


(підпис)

Микола ХВОРОСТ
(прізвище та ініціали)

Анотація

Випускна кваліфікаційна робота включає 69 сторінок та містить 39 малюнків, 16 таблиць, 10 джерел.

Ключові терміни: електропривод, що регулюється, асинхронний двигун, перетворювач частоти, оптимізація контуру, структурна схема, імітаційна модель.

Перелік прийнятих скорочень

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічними процесами

САУ – система автоматичного керування

САР – система автоматичного регулювання

ЗСАР – замкнута система автоматичного регулювання

РСАР – розімкнена система автоматичного регулювання

ТАУ – теорія автоматичного керування

регулятор - диференціюючий регулятор

ПД регулятор – пропорційно-диференціювальний регулятор

ПІД регулятор – пропорційно-інтегрально-диференціювальний регулятор

ПЛК – промисловий логічний контролер

ПЛ – живильник стрічковий

ПП – частотний перетворювач

ЧРП - частотно-регульований привід

ЧМІ (НМІ) – людино-машинний інтерфейс

ПУЕ – правила пристроїв електроустановок

ZN №1 - Циглер-Нікольс

CHN – Чина - Хронес – Ресвік

ДКСЛ – датчик контролю витрати нафти

Зміст

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	9
1.1 Огляд технології трансотрування нафти	9
1.2 Загальні принципи роботи електроприводу насоса перекачування	11
1.3 Електричний привід технологічних механізмів насосних станцій та нафтобаз	19
2 АВТОМАТИЧНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСА ПЕРЕКАЧУВАННЯ НАФТИ.....	23
2.1 Розробка автоматичної системи регулювання	23
2.2 Розробка функціональної та структурної схеми управління.....	24
2.3 Отримання математичної моделі об'єкта.....	26
2.4 Аналіз динамічних властивостей об'єкта управління	35
2.4.1 Правило	35
3 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕННЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ОБЪЕКТА	42
3.1 Емпіричний метод налаштування регулятора.....	43
3.2 Метод ручного налаштування командою Tune програми MATLAB	48
3.3 Вибір апаратної бази об'єкта керування	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	57
4.2 Організаційні заходи.....	57
4.3 Технічні заходи.....	58
4.4 Заходи захисту від впливу шуму та вібрацій	58
4.5 Виробничі отрути	60
4.6 Протипожежні та вибухові запобіжні заходи.	63
4.6.2 Розрахунок магістрального протипожежного трубопроводу.....	65

ВИСНОВКИ	67
-----------------------	-----------

ПЕРЕЛІК ЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	68
------------------------------------	-----------

ВСТУП

Автоматизована система контролю продуктивності нафтового насоса, що перекачує, є комп'ютеризованим рішенням, призначеним для моніторингу та управління роботою стрічкового насоса. Значимість розробки та впровадження такої системи важко переоцінити, оскільки вона має цілу низку переваг, здатних суттєво покращити ефективність, продуктивність та безпеку транспортної інфраструктури. Однією з ключових переваг даної системи є її висока точність та стабільність в управлінні процесами. Технологія дозволяє з максимальною точністю вимірювати і регулювати швидкість потоку матеріалу, що транспортується, що гарантує подачу необхідного обсягу сировини в потрібний час. Це не тільки мінімізує відходи та покращує якість кінцевої продукції, а й допомагає уникнути перевантажень, а також знижує ризики, пов'язані з безпекою експлуатації.

Традиційні нерегульовані методи роботи насосів для перекачування нафти часто супроводжуються значними трудовитратами, неефективністю та високою схильністю до помилок. Це особливо актуально при зміні навантаження на насос, що потребує адаптації до роботи. У зв'язку з цим розробка автоматизованої системи регулювання продуктивності насосів стає дуже важливим завданням.

Створення такої системи потребує міждисциплінарного підходу, що поєднує знання у галузі систем управління, машинобудування та інформаційних технологій. Використання автоматизованої системи регулювання дозволить суттєво мінімізувати час простою обладнання, підвищити загальну ефективність процесів та покращити безпеку у промислових галузях, де застосовуються насоси.

Важливість створення автоматичної системи регулювання продуктивності насосів наголошує на її першорядному значенні для різних секторів промисловості. Ця робота спрямована на розробку більш ефективних та надійних рішень для транспортування матеріалів. Результати дослідження можуть значно вплинути на підвищення продуктивності, покращення безпеки

та зростання прибутковості компаній, які використовують обладнання для перекачування.

Дослідження є комплексною розробкою та впровадженням автоматизованої системи управління насосом. Основна мета запропонованої системи - підвищення точності та узгодженості роботи обладнання за рахунок автоматизації управління такими параметрами, як швидкість роботи приводу, швидкість подачі та властивості матеріалу, що перекачується.

У рамках цієї кваліфікаційної роботи будуть детально розглянуті технічні аспекти проектування та впровадження системи. Це включає вибір відповідних сенсорів, розробку алгоритмів управління, а також проведення тестування та перевірки функціональності системи для забезпечення надійної та ефективної роботи.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд технології трансотрування нафти

Транспортування корисних копалин пов'язане з багатьма ризиками, такими як пошкодження або розлив. Для мінімізації цих ризиків застосовуються заходи безпеки, включаючи надійне кріплення вантажу, використання спеціалізованих контейнерів, залучення професійних перевізників та дотримання нормативних вимог.

На етапі перекачування матеріал передаються транспортними засобами і направляється на подальшу переробку або застосування. Таким чином, процес транспортування вимагає чіткої організації, ретельного планування та суворого контролю для забезпечення не лише ефективності, а й безпеки.

Однак при впровадженні транспортних технологій також неминуче виникають потенційні ризики як для персоналу, так і для обладнання, особливо у разі помилок у проектуванні, встановленні чи експлуатації систем. З цієї причини дуже важливо дотримуватись стандартів безпеки та впроваджувати передові методи роботи на всіх етапах.

Проектування та встановлення насосів повинні враховувати специфіку їх застосування та актуальні стандарти та вимоги безпеки. Ключові моменти:

- вибір відповідного типу та розмірів трубопроводу та насоса для конкретного завдання;
- Забезпечення достатнього робочого простору для співробітників та обладнання;
- встановлення захисних огорож та бар'єрів для запобігання падінням або зіткненням;
- організація правильного заземлення та захисту електричних компонентів системи;
- Оснащення пультів аварійними кнопками, попереджувальними знаками та іншими засобами екстреного реагування.

При експлуатації трубопроводу пріоритетом має бути забезпечення безпеки працівників та обладнання. Це досягається за рахунок:

- якісного навчання та інструктажу персоналу;
- контролю за дотриманням правил блокування та відключення обладнання під час обслуговування;
- регулярного огляду ключових компонентів, таких як стрічки, шківи, підшипники;
- моніторингу навантаження, швидкості руху та інших параметрів для запобігання збоям;
- оперативного інформування про можливі несправності чи інциденти з подальшим їх усуненням.

Для підтримки працездатності насосів та інфраструктури систем важливо також якісне технічне обслуговування. Основні рекомендації у цьому напрямі включають:

- регулярне очищення обладнання від матеріалів і сміття, що накопичилося;
- змащення рухомих елементів, таких як підшипники та ланцюги;
- Своєчасну заміну зношених деталей;
- Періодичну перевірку працездатності пристроїв безпеки (наприклад, аварійних кнопок);
- захист електричних компонентів від вологи та інших несприятливих факторів.

У результаті можна наголосити, що забезпечення безпечної та ефективної роботи систем потребує дотримання стандартів безпеки на кожному етапі — від проектування до технічного обслуговування. Важливими є грамотне навчання співробітників, суворий контроль за дотриманням правил та застосування методів попередження ризиків для досягнення оптимальних результатів у виробничому процесі.

1.2 Загальні принципи роботи електроприводу насоса перекачування

У нафтовій промисловості в основному застосовуються поршневі, відцентрові, плунжерні та ротаційні насоси. При цьому плунжерні та ротаційні насоси поступово виходять з експлуатації через їх низький коефіцієнт корисної дії (ККД) або строгих обмежень на чистоту рідин, що перекачуються.

Нижче представлені основні відмінності між відцентровими та поршковими насосами:

Відцентрові насоси:

- Забезпечують безперервний потік (без пульсацій).
- Максимальний напір визначається діаметром робочого колеса та частотою обертання, не перевищуючи величини, заданої цими параметрами.
- Компактні розміри за високої продуктивності.
- Вимагають попереднього заливання перед запуском.
- Прекрасно підходять для прямого з'єднання з електродвигунами та паровими турбінами.
- ККД відносно невеликий при продуктивності менше ніж 30 м³/год.
- Не вимагають великої кількості обслуговуючого персоналу.
- Виконують роботу менш ефективно із зростанням в'язкості рідини (продуктивність, натиск та здатність всмоктування помітно зменшуються).

Поршкові насоси:

- Створюють пульсуючий потік.
- Максимальний тиск залежить від потужності приводу.
- відрізняються значними розмірами за високої продуктивності.
- Не потребують попередньої заливки перед запуском.
- Вимагають складних передач для підключення до електродвигунів та парових турбін.
- Мають відносно високий ККД при малій продуктивності.
- Для їх обслуговування потрібно більше кваліфікованого персоналу.
- Менш схильні до впливу в'язкості рідини на ефективність роботи.

З урахуванням перелічених особливостей, відцентрові насоси частіше застосовуються при транспортуванні нафти завдяки їх високій продуктивності, простоті експлуатації та ширшому спектру застосування.

Насос, зображений малюнку 1.2, представлений як відцентровий. Технологічна схема його роботи наведена у додатку Б.

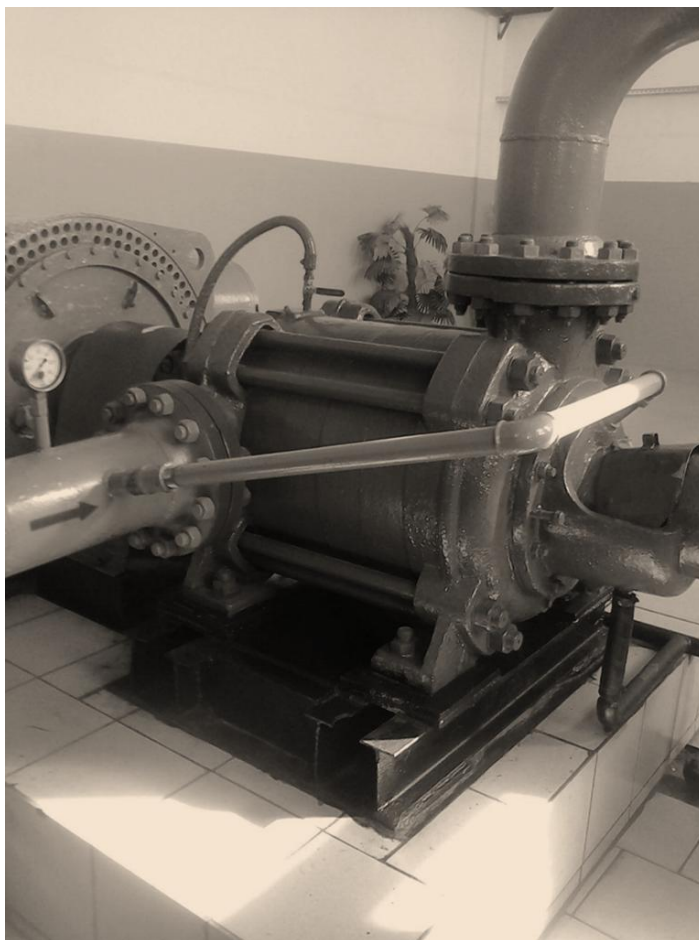


Рисунок 1 Відцентровий насос

Особлива увага у конструкціях нафтових насосних агрегатів приділяється кінцевим ущільненням валу ротора насоса. Вони призначені для мінімізації витоків рідини, що перекачується насосом, через місця виходу валу, що обертається з корпусу. У сучасних конструкціях ці елементи вважаються одним із ключових вузлів, оскільки їхня якість безпосередньо впливає на надійність і в ряді випадків на економічність роботи всього пристрою.

На малюнку 1.3 запропоновано спрощену принципову схему магістральної насосної станції (МН). Цей варіант схеми передбачає використання одного, двох чи трьох послідовно з'єднаних насосів. При цьому

один із апаратів завжди знаходиться в резерві в повній готовності до роботи. Конструкції корпусів насосів розраховані на експлуатацію при повному натиску станції, що відповідає потрібному тиску, що створюється кожним насосом окремо.

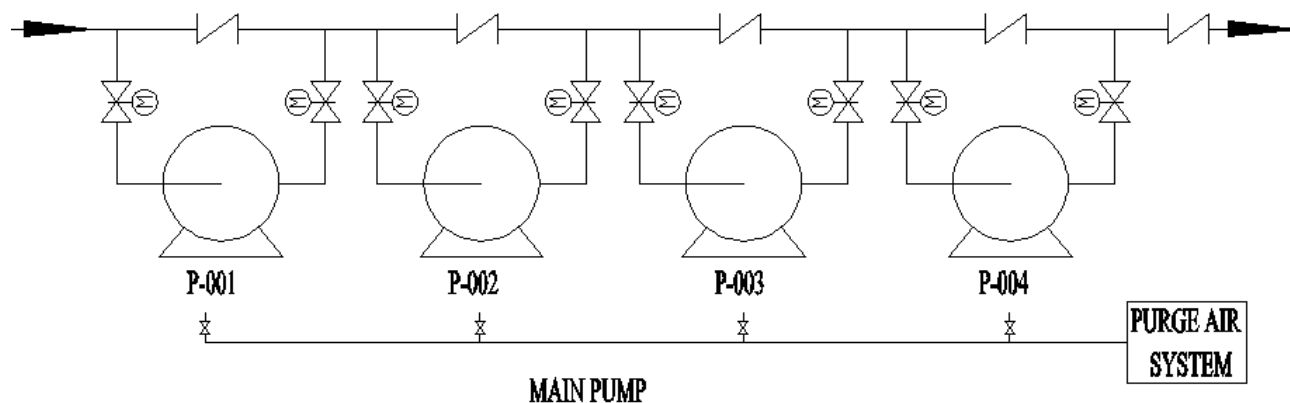


Рисунок 2 - Принципова схема послідовного з'єднання магістральних насосів на НПС

Для забезпечення стабільної роботи відцентрового магістрального насоса без виникнення кавітації необхідно, щоб нафту подавали на його вхід під певним тиском. Цей тиск створюється підпорним насосом, або за рахунок залишкового напору попередньої станції. Підпірні насоси, як правило, являють собою ті ж магістральні агрегати, але мають меншу потужність. При цьому їх надійність має бути еквівалентною надійності магістральних насосів.

Кавітація є процес, який пояснюється законом Бернуллі: зі зростанням швидкості рідини в закритому каналі гідростатичний тиск зменшується. У певний момент, якщо тиск досягає рівня парціального тиску рідини за поточної температури, починається утворення бульбашок пари (закипання). Ці бульбашки потім потрапляють у зони підвищеного тиску, де вони миттєво схлопуються, перетворюючись назад на рідину. Процес супроводжується звуковим ефектом і різким збільшенням тиску в місцях схлопування бульбашок - іноді до 300 атм, причому таке явище повторюється десятки тисяч разів на секунду.

Кавітація носить руйнівний характер як стаціонарних, так рухливих компонентів насоса. Її наслідки виражаються в помітній вібрації та шумі обладнання, зниженні витрати рідини, напору, потужності та ККД насоса. Крім того, явище призводить до пошкодження стінок каналів робочого колеса і підвода, що всмоктує, а іноді - і відводять елементів.

Основним приводом нафтових насосів є електродвигун, який ізольований від насоса вибухозахищеною перегородкою. Вибір електродвигуна здійснюється з урахуванням кількох факторів:

- Наявність на майданчику станції достатнього енергоресурсу для стабільного живлення обладнання;
- можливості спрощення трансмісійної конструкції між двигуном та насосом, переважно забезпечуючи пряме з'єднання валів без редуктора.

Електропривод насоса перекачування є ключовим елементом конструкції, що забезпечує переміщення матеріалів трубопроводом. У типовій комплектації електропривод включає (див.Рисунок 3) електродвигун та насоса, з'єднаний з валом, що відповідає за рух нафти.

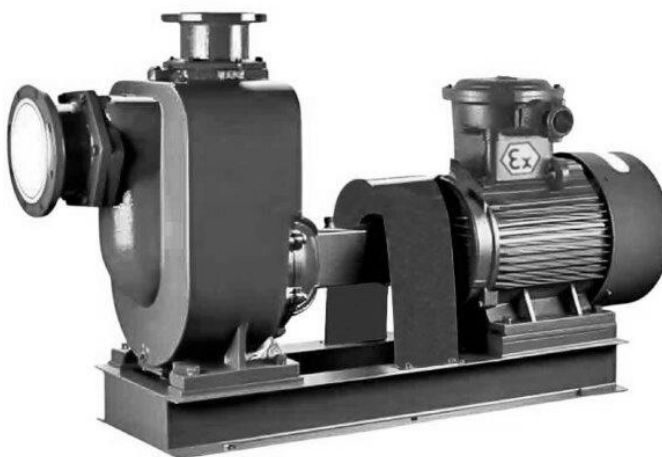


Рисунок 3 - Електропривод з перекачування нафти

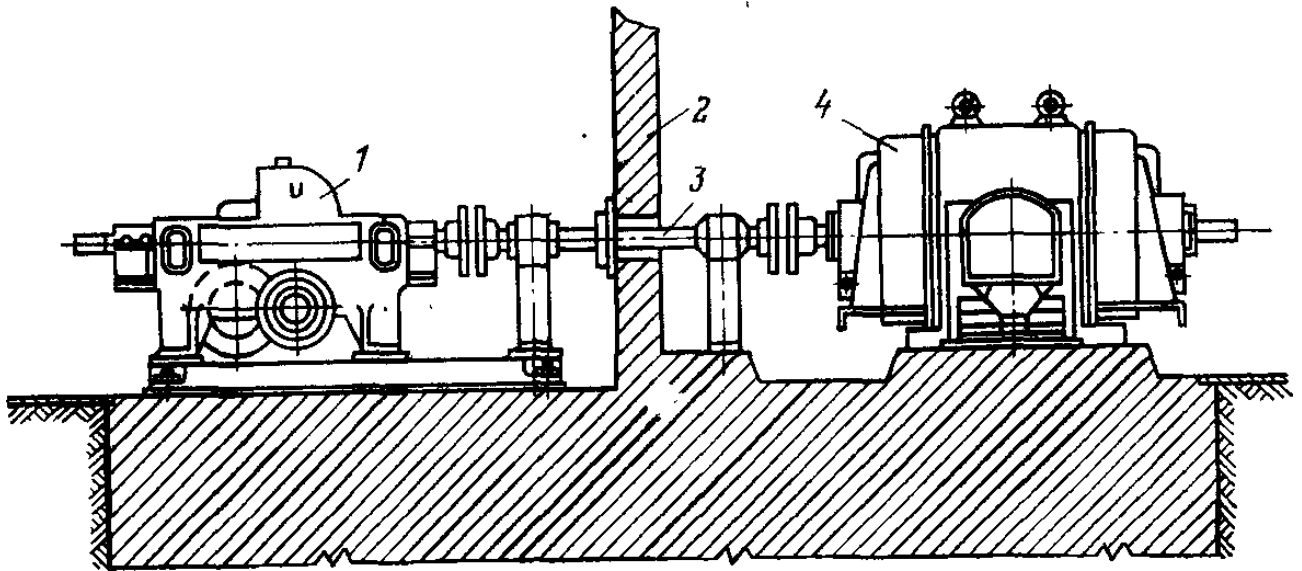


Рисунок 4 – Привід нафтового насоса м електродвигуном загального призначення: 1 – нафтовий насос; 2 — стіна між вибухонебезпечним машинним залом та приміщенням електродвигунів; 3 - вал насоса, пропущений через отвір із сальниковим ущільненням; 4 - електродвигун

Електродвигун можна назвати "серцем" системи, оскільки він перетворює електричну енергію на механічну, необхідну для роботи насоса. Залежно від вимог процесу, у насосах, що перекачують, зазвичай використовуються або двигуни змінного струму, або постійного.

Для монтажу електроприводу використовують окрему раму, що дозволяє встановлювати його незалежно від основної конструкції насоса. Таке компонування забезпечує гнучкість у налаштуванні, зручність технічного обслуговування та спрощує ремонт. Комплект приводу включає асинхронний електродвигун насос, змонтовані на загальній платформі. Для передачі крутного моменту застосовуються муфти, що компенсують. Вони передають обертання від валу двигуна до вхідного валу насоса.

Схематичне зображення конструкції системи представлено на Рисунок 5.

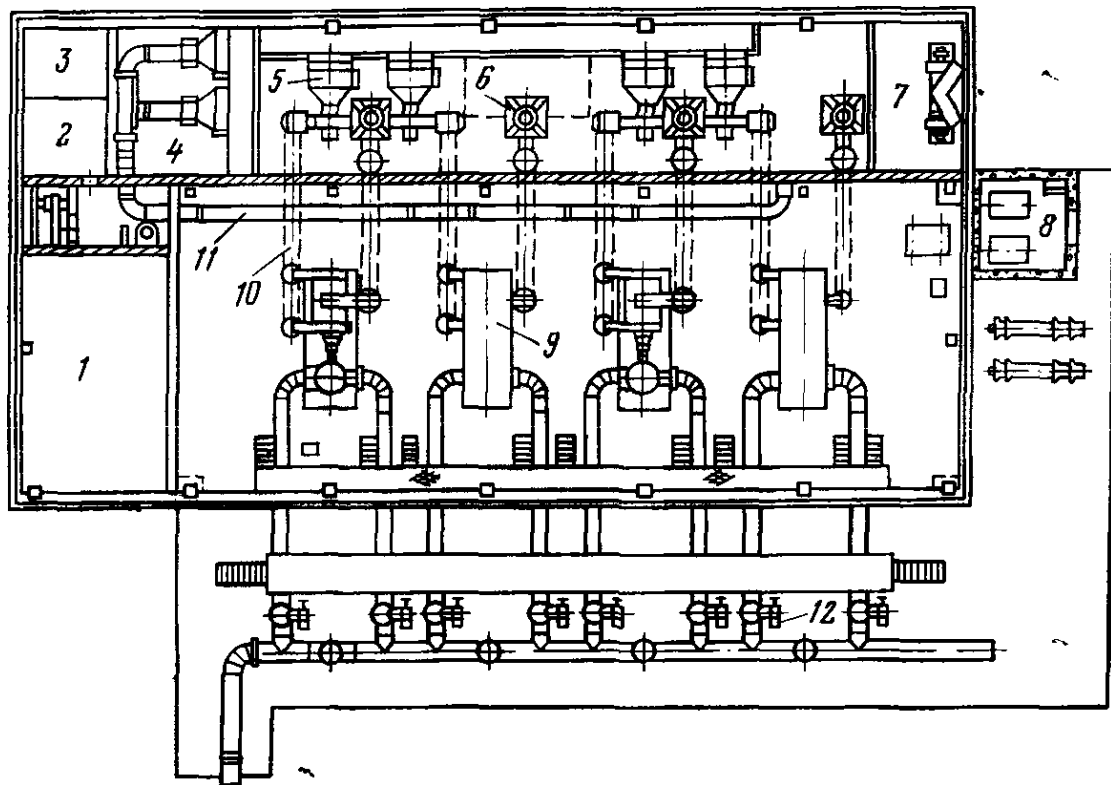


Рисунок 5 - Компонування насосної станції магістрального нафтопроводу з установкою насосів та вибухозахищених електродвигунів у залі

У схемі передбачено: сигналізацію про включення робочого насоса лампою ЛН та резервного — лампою ЛРН, контроль наявності напруги за допомогою реле РРК та РН; фіксація зриву напору, заклинювання засувки та перегріву підшипників насоса блоками сигнальних реле БН, БЗЗ та БПП (останній через контакти датчиків перегріву підшипників із схеми КВП). Захист електродвигуна від струмів короткого замикання здійснюється розчіпувачем максимального струму автоматичного вимикача АВ, а від навантаження - тепловим реле РТ магнітного пускача П.

Приміщення нафтонасосних станцій є вибухонебезпечними та належать до класу Д-П1. Для приводу насосів, що встановлюються в них, застосовують асинхронні та синхронні електродвигуни вибухозахищені та загального призначення (невибухозахищені). Вибухозахищені електродвигуни встановлюють у загальному машинному залі з насосами, електродвигуни загального призначення (невибухозахищені) — у приміщенні, відокремленому від машинного залу насосів глухою газонепроникною стіною. Отвір у стіні, що служить для пропуску валу, що з'єднує насос з електродвигуном, виконується із

сальником, що не допускає переходу вибухонебезпечних сумішей з машинного залу насосів у приміщення електродвигунів (Рисунок 4).

На Рисунок 5 зображено компоновання головної насосної магістрального нафтопроводу у традиційному виконанні. У насосній встановлені чотири нафтові насоси, для приводу яких застосовані вибухозахищені асинхронні електродвигуни 9 серії АТД2 10 кВ (встановлені в машинному залі разом з насосами), що продуваються під надлишковим тиском із розімкненим циклом вентиляції. У прибудові до машинного залу встановлені вентилятори 5, що подають по вентиляційних труб 10 повітря для охолодження електродвигунів, і вентилятори 4, що подають по вентиляційному коробі 11 свіже повітря для загальнообмінної вентиляції машинного залу. Нагріте в машинах відпрацьоване повітря йде через труби 6, а забруднене повітря видаляється з машинного залу вентиляторами 7.

Привід встановлених в ізолюванні від машинного залу прибудові вентиляторів 5, що подають повітря для охолодження електродвигунів, вентиляторів 4 загальнообмінної вентиляції здійснюється електродвигунами загального призначення (4А, АО2). Привід витяжних вентиляторів 7, що видаляють із приміщення забруднене повітря, здійснюється вибухозахищеними електродвигунами (В, ВАО). Засувки 12, встановлені зовні на всмоктувальних та нагнітальних трубопроводах насосів, забезпечені вибухозахищеним електроприводом. Насоси відкачування нафтових витоків розташовані в приміщенні 8. У приміщенні 3 встановлений трансформатор 10/(0,4-0,22) кВ, а в приміщенні 2 - розподільний щит 380/220 для живлення електродвигунів допоміжних механізмів на напрузі 380 В0 освітлення. електроприводами насосної встановлено у приміщенні оператора 1.

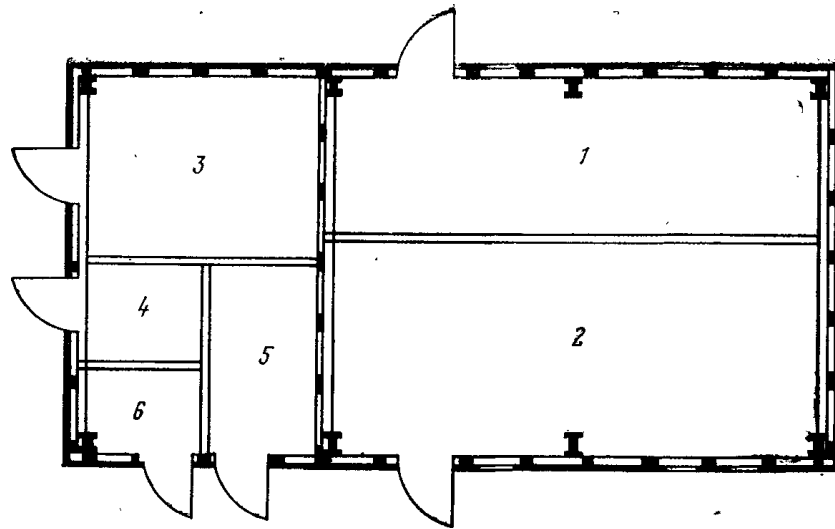


Рисунок 6 - Компонування насосної

Компонування насосної, в якій для приводу насосів застосовані електродвигуни тієї ж серії АТД2, але загального призначення (беззахиснені). Електродвигуни в цьому випадку розміщуються в приміщенні 1, відокремленому газонепроникною стіною приміщення 2, в якому знаходяться нафтові насоси. У приміщенні 4 встановлюється трансформатор 10/(0,4-0,22) кВ, а в приміщеннях 3 та 5 розподільний пристрій 10 кВ. Щит 380/220 розташований у приміщенні 6. Всі приміщення мають вихід назовні.

Система управління електроприводом для насоса зазвичай включає датчики, які вимірюють швидкість руху, рівень навантаження і її положення. Ці пристрої передають сигнали зворотного зв'язку на привід, забезпечуючи можливість контролю та регулювання.

Одна з ключових переваг використання електроприводу полягає в його високій ефективності та економічності в порівнянні з гідравлічними або пневматичними приводами. Він здатний функціонувати на високих швидкостях, забезпечуючи точне управління рухом нафти, і потоками матеріалу. При цьому енергоефективність підвищується, а втрати енергії та викиди скорочуються.

Додатково, електропривод відрізняється простотою встановлення та обслуговування. Він легко інтегрується із сучасними системами управління, а також технологіями автоматизації. Функції дистанційного керування та

програмованість дозволяють адаптувати швидкість роботи насоса та потоку матеріалів залежно від вимог конкретного технологічного процесу.

Таким чином, електропривод насоса є надійним і високоефективним рішенням для транспортування і дозування рідких матеріалів. Він пропонує безліч переваг - від підвищення продуктивності до покращення енергоефективності та гнучкості експлуатації.

Мета роботи: розробка системи керування, що дозволяє регулювати швидкість обертання електродвигуна насоса, ґрунтуючись на точних вимірах параметрів потоку матеріалу. Для цього потрібно реалізувати комплексний технологічний підхід, який включає:

- Розробку системи регулювання роботи пристрою;
- Підбір необхідного обладнання;
- Створення функціональної схеми автоматизації процесу;
- Розрахунок математичної моделі системи автоматичного регулювання (САР) для каналу управління швидкістю;
- проведення налаштування регулятора за допомогою емпіричних методів та порівняння з ручним налаштуванням ПІД-регулятора Tune.

Ці завдання спрямовані на підвищення ефективності роботи пристрою та вдосконалення контролю за процесом транспортування матеріалів.

1.3 Електричний привід технологічних механізмів насосних станцій та нафтобаз

Електричний привід є важливою складовою технологічних механізмів, що використовуються на насосних станціях та нафтобазах. Основні агрегати, що працюють на таких об'єктах, - це відцентрові насоси, призначені для перекачування нафти, рідких нафтопродуктів, води та каналізаційних стоків. Для транспортування в'язких та щільних нафтопродуктів застосовуються поршневі насоси.

Для розрахунку необхідної потужності електродвигуна P_n для приводу відцентрового насоса застосовується така формула:

$$P_H = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot \kappa \cdot g \cdot 10^{-3}}{\eta_H \cdot \eta_H}, \quad (1.1)$$

де:

- Q – подача насоса ($\text{м}^3/\text{с}$);
- H - натиск (м);
- ρ - Щільність рідини ($\text{кг}/\text{м}^3$);
- g - прискорення вільного падіння;
- κ - коефіцієнт запасу (значення варіюється від 1,05 до 1,15 залежно від потужності насоса);
- η_H - Коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса, який зазвичай задається заводом-виробником 0,45 - 0,85%;

- η_H - ККД передачі між електродвигуном та насосом (наприклад, при муфтовому з'єднанні 0,98, при ремінній передачі - 0,95.

У випадках розходження частоти обертання двигуна n_2 з номінальною частотою обертання насоса n_1 використовується перевірочний розрахунок потужності двигуна P_2 , який виконується за формулою:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3, \quad (1.2)$$

де P_1 потужність двигуна при номінальній частоті обертання насоса n_1 .

Насосні станції працюють відповідно до гідромеханічної схеми. Ця схема визначає методи запуску насосів (наприклад, на відкриту або закриту засувку), порядок включення робочих насосів та алгоритм активації резервних агрегатів. На основі гідромеханічної схеми проектується електрична схема автоматичного керування.

На Рисунок 7 представлена схема ручного та автоматичного керування відцентровими насосами. Управління передбачає такі захисні механізми: автоматичне відключення у разі короткого замикання, перевантаження, втрати напруги в ланцюзі управління, а також за сигналами технологічного захисту (наприклад, втрата напору, заклинювання засувки або перегрівання

підшипників). У разі аварійних ситуацій автоматично запускається резервний насос.

У цій схемі керування насосами здійснюється лише за виконання певних умов. Так, пуск можливий лише при закритій напірній засувці, а зупинка після завершення її автоматичного закриття. Увімкнення засувки у разі аварійного вимкнення двигуна також виконується автоматично.

Для управління передбачено два ключі:

1. КІ, що дозволяє вибирати тип керування (ручний або автоматичний).
2. КР, який служить для вибору режиму роботи (робочий чи резервний).

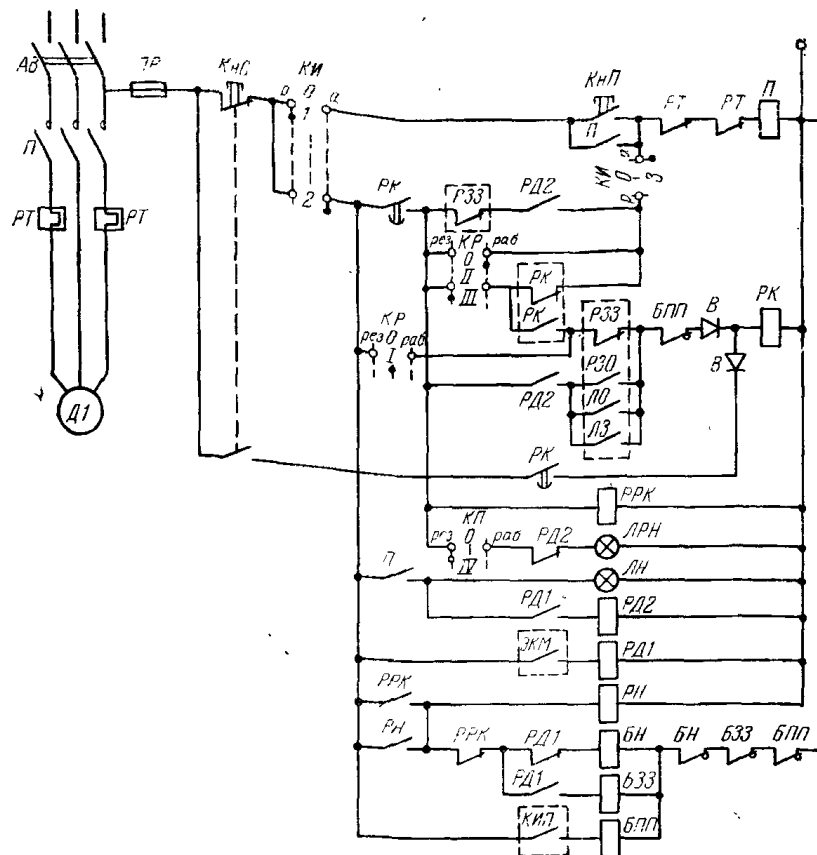


Рисунок 7 Принципова схема керування насосом

Коли ключ КІ переводиться в положення "ручне", користувач вручну запускає насоси натисканням кнопки "Пуск" (КНП) і зупиняє роботу натисканням кнопки "Стоп" (КНС). Якщо вибрано режим автоматичного керування КІ = А, алгоритм запуску та зупинки визначається контактами реле, датчиками тиску та іншими елементами схеми.

Загальна логіка автоматизації така: при встановленні нормального тиску в трубопроводі реле контролю тиску забезпечують підтримку роботи насоса у відповідному режимі. Наприклад, при нормальному тиску замикаються контакти електроконтактного манометра та реле тиску, що сигналізує про коректну роботу агрегату.

Точна робота цих систем автоматизації гарантує надійність та безпеку експлуатації насосних станцій, мінімізуючи ризик аварійних ситуацій.

2 АВТОМАТИЧНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСА ПЕРЕКАЧУВАННЯ НАФТИ

2.1 Розробка автоматичної системи регулювання

Для забезпечення безпечної та ефективної роботи пристрою необхідно організувати регулювання продуктивності насоса. Одним із підходів до досягнення цієї мети є впровадження автоматизованої системи, яка зможе моніторити та коригувати продуктивність насоса в режимі реального часу.

Продуктивність насосів розраховується за такою формулою:

$$Q = k B h \nu \delta \varphi, \quad (2.1)$$

де:

- Q – продуктивність, т/год;
- k - безрозмірний коефіцієнт ($k \approx 3,6$);
- B - діаметр трубопроводу, м;
- h - щільність шару матеріалу, м;
- ν - швидкість руху нафти, м/с;
- δ - щільність маси матеріалу, т/м³;
- φ - коефіцієнт наповнення нафти ($\varphi = 0,75-0,80$).

Регулювати продуктивність пластинчастих та стрічкових живильників можливо за допомогою плавної зміни швидкості переміщення нафти та її щільності. Наприклад, регулювання може здійснюватися через привід насоса, який змінює швидкість переміщення нафти за допомогою реостата, встановленого ланцюга обмотки збудження. У такому разі витрати масла демонструватимуть лінійні характеристики, як показано на Рисунок 8.

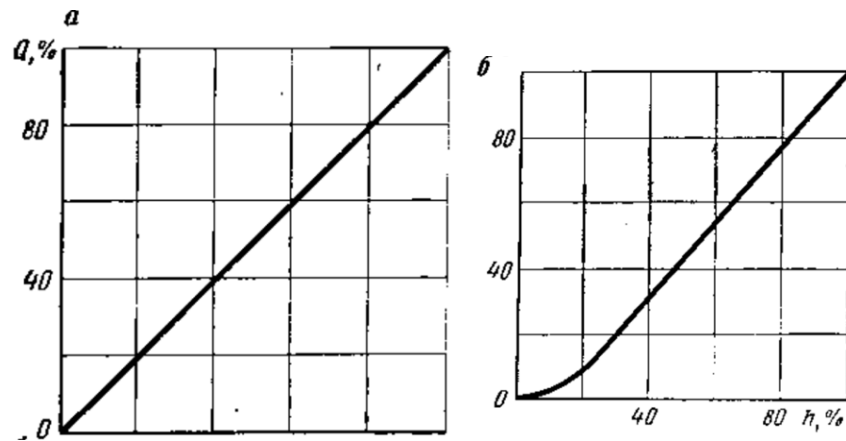


Рисунок 8 – Розрахункова та робоча характеристики насоса $Q=Q(h)$ а – теоретична характеристика; б – робоча характеристика

2.2 Розробка функціональної та структурної схеми управління

Промислова автоматизація передбачає управління різними об'єктами, які може бути як матеріальними, і штучними. Основна мета такого управління полягає у забезпеченні заданого рівня продуктивності при мінімізації втрат, помилок та ризику виникнення небажаних наслідків.

Створення функціональної схеми автоматичного управління включає побудову візуального представлення основних системних компонентів та їх взаємодії. Ключові етапи розробки такої схеми:

1. Визначити об'єкт або процес управління: для регулювання швидкості насоса в даному контексті об'єктом управління є система насосного обладнання.

2. Задати вхідні та вихідні параметри керування. Наприклад, статична уставка витрати, дані про щільність матеріалу або сигнали від датчиків зворотного зв'язку можуть бути вхідними параметрами, а сигнали керування — вихідними.

3. Вибрати датчики для моніторингу ключових змінних систем, таких як датчики витрати, рівня матеріалу або тензодатчики для відстеження потоку нафти.

4. Визначити виконавчі механізми регулювання швидкості руху нафти. Це може бути рухові контролери насоса.

5. Розробити стратегію управління, з поставлених цілей. Як приклад можна розглянути пропорційно-інтегрально-диференціальне (ПІД) управління або використання адаптивних алгоритмів.

6. Спроекувати логічну структуру блоків управління: включення та обробка даних із датчиків, управління виконавчими механізмами, а також алгоритм обробки інформації.

Необхідно також передбачити заходи безпеки для захисту обладнання та запобігання аварійним ситуаціям. Рекомендується увімкнути аварійні кнопки зупинки, кінцеві вимикачі та алгоритми моніторингу несправностей системи.

Після проектування функціональної схеми бажано провести її тестування та за необхідності внести коригування для досягнення заданого рівня продуктивності. Уточнення та модифікації можуть знадобитися для оптимального виконання системи керування.

Переходячи до розробки структурної схеми управління, слід сформулювати ієрархічне уявлення структури системи з позначенням її завдань, функцій та взаємозв'язків між підрозділами чи компонентами. Важливим елементом структурної схеми управління є включення зворотних контурів зв'язку забезпечення замкнутого регулювання. Тут проводиться порівняння встановлених цільових значень з фактичними характеристиками системи, а сигнал помилки використовується коригування параметрів управління.

На Рисунок 9 представлена структурна схема насоса як об'єкта керування.

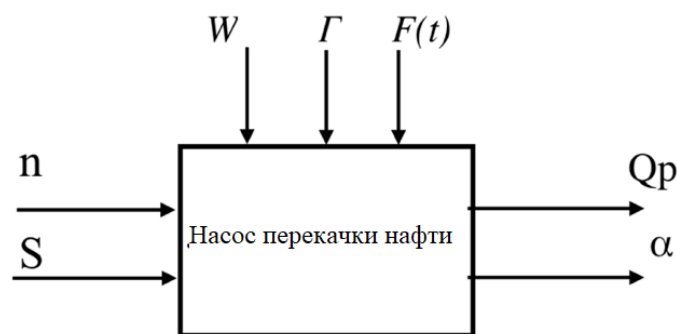


Рисунок 9 – Структурна схема насоса

Таблиця 2.1 - Умовні позначення на схемі:

Вплив	Позначення	Опис
Вхідні керуючі впливи	n, про/хв	Частота обертання електричного двигуна
	S, мм	Положення заслінки випускного отвору бункера
Вхідні впливи, що обурюють	W, %	Вологість вихідного матеріалу
	P, %	Наявність домішок, які порушують матеріал
	F(t)	Перешкоди (наприклад, зношування обладнання)
Вихідні параметри	Qp, т/год	Продуктивність стрічкового насосу
	α , %	Зміст контрольного класу крупності у руді

2.3 Отримання математичної моделі об'єкта

Обчислимо продуктивність насоса виходячи з даних. У характеристиці продуктивність зазначена в м³/год для переходу на т/год використовуємо формулу

$$\begin{aligned} Qp(\text{т/ч}) &= Q(\text{м}^3/\text{ч}) \times \delta \\ Qp(\text{тч/}) &= 55 \times 2 = 110 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Щільність агломерату 5 дорівнює 2 (т/м³).

Виходячи з даних наукової літератури застосуємо метод під назвою «Q-параметризація» [1]. Допустимо, вхідний параметр – витрата речовини $p(t)$, вихідний – вага $m(t)$, тоді передатна функція насоса має вигляд

$$W_{\text{тр}}(s) = M(s)/P(s) \quad (2.3)$$

Потік речовини від бункера $p_1(t)$, а потік, що спрямовується на насос $p(t)$. Використовуючи рівність матеріального балансу, обчислимо масу похідного матеріалу:

$$dm/dt = p - p_1 \quad (2.4)$$

Швидкість нафти незмінна, отже

$$\{ p_1(t) = p(t - \tau), \tau = v \cdot L \quad (2.5)$$

де τ – час запізнення [с];

L - довжина транспортної нафти, 2 [км].

Рівняння матеріального балансу після перетворення має вигляд:

$$dm(t)/dt = p(t) - p(t-\tau) \quad (2.6)$$

Застосуємо перетворення Лапласа:

$$\begin{cases} L\left\{\frac{dm(t)}{dt}\right\} = sM(s), \\ L\{p(t)\} = P(s), \\ L\{p(t-\tau)\} = P(s)e^{-\tau s}, \\ sM(s) = P(s) - P(s)e^{-\tau s} \end{cases} \quad (2.7)$$

Отже:

$$M(s)/P(s) = W_{\text{пл}}(s) = (1 - e^{-s\tau})/s \quad (2.8)$$

Перетворюємо $e^{-s\tau}$ використовуючи апроксимацію ряду Паде:

$$e^{-s\tau} \approx (1 - s\tau/2)/(1 + s\tau/2) \quad (2.9)$$

Отримаємо номінальну передатну функцію насоса:

$$W_{0\text{пл}}(s) = \tau/(s\tau/2 + 1) = 10,5s + 1 \quad (2.10)$$

Для того щоб привести стрічку в рух необхідний електропривод, конструкцію якого входить електродвигун, передавальний пристрій і перетворювач частоти.

Характер руху електроприводу визначає рівняння моментів:

$$M = M_{\text{ст}} + M_{\text{д}} \quad (2.11)$$

де M - крутний момент двигуна;

$M_{\text{ст}}$ - статичний момент опору механізму;

$M_{\text{д}}$ - динамічний момент.

Таблиця 2.2 - Вихідні дані для розрахунку

Q_p	f	L	$\eta_{\text{п}}$
т/год	-	м	%
110	0,7	2	0,8

При роботі електродвигуна в режимі $\square = \square \square \square$ т, вибір проводиться виходячи з виконання умови:

$$P_{\text{ном}} \geq P_p \quad (2.12)$$

де $P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність [Вт];

P_p - розрахункова потужність [Вт].

Розрахункова потужність для горизонтального насосу

$$P_p = Q_p \cdot fL / \eta_p, \quad (2.13)$$

де f – коефіцієнт тертя;

η_p - ККД передачі черв'ячного мотор-редуктора.

Підставимо значення параметрів за даними таблиці 2.2 та обчислимо розрахункову потужність насоса:

$$P_p = 110 \times 0.7 \times 20.008 = 1540 \text{ Вт}, \quad (2.14)$$

Вибираємо за каталогом електродвигун (таблиця 2.3) закритий, серії 4А, типорозмір 90L4, тому що для насоса потрібна номінальна потужність 2,2 кВт.

Таблиця 2.3 - Каталожні дані асинхронного двигуна

Тип двигуна	$P_{\text{ном,к}}$ Вт	N, про/хв	Енергетичні та механічні параметри				
			ККД, %	$\cos\varphi, \%$	$s_{\text{ном}}, \%$	$s_{\text{до}}, \%$	$m_{\text{до}}$
4А90L4УЗ	2,2	1500	80	0,83	5,1	33	2,4

Асинхронний двигун є одним з найбільш поширених типів електродвигунів, що використовуються в широкому спектрі промислових процесів. Принцип його функціонування заснований на явищі електромагнітної індукції, при якому магнітне поле, що обертається, виникає внаслідок взаємодії обмоток статора з ротором.

На відміну від двигунів синхронного типу, асинхронні машини не потребують зовнішньої синхронізації із частотою джерела живлення. Ефективність такого двигуна, виражена через коефіцієнт корисної дії (ККД), відображає ступінь ефективності перетворення електричної енергії на механічну. Підвищений ККД сприяє зниженню енергоспоживання та зменшенню експлуатаційних витрат підприємства.

Коефіцієнт потужності є одним із ключових показників роботи двигуна. Він характеризує рівень ефективності використання споживаної електроенергії. Зниження цього показника може призвести до підвищених витрат енергії, що негативно позначається на загальній ефективності системи.

Запуск та керування двигуном є важливими аспектами його експлуатації. Пусковий момент, що визначається як обертальний момент, створюваний на

початковому етапі роботи двигуна, залежить від конструктивних особливостей пристрою, опору ротора та величини напруги, що подається під час запуску.

Для запуску асинхронних двигунів розроблено різні технологічні методики, включаючи прямий запуск, запуск за схемою "зірка-трикутник", використання автотрансформаторів або електронних пристроїв плавного пуску. Ці підходи дозволяють мінімізувати пускові струми та знизити механічну дію на двигун у момент його запуску.

Управління швидкістю асинхронного двигуна здійснюється за допомогою низки методів, серед яких найпоширенішими є системи частотно-регульованого приводу (ЧРП). Такі пристрої забезпечують можливість точного настроювання швидкості обертання за рахунок зміни частоти та рівня напруги, що надходить на двигун.

Асинхронні двигуни характеризуються універсальністю, надійністю та економічною доцільністю, що обумовлює їх широке застосування в таких галузях, як насосні установки, вентиляційні системи, компресорне обладнання, стрічкові конвеєри та інші ключові процеси промислового виробництва.

Глибоке розуміння технічних характеристик асинхронних двигунів відіграє важливу роль при їх виборі, забезпеченні ефективного функціонування та досягненні високого ступеня експлуатаційної надійності у різних промислових умовах.

При позначенні параметрів асинхронних двигунів у документації та найменуваннях прийнято використовувати стандартизовані скорочення, які вказують на відповідні технічні характеристики та їх ключові значення.

Таблиця 2.4 – Скорочення параметрів асинхронного двигуна

Найменування	Опис
P	Потужність
ST	Пусковий момент
RV	Напруга ротора
RR	Опір ротора
THD	Коефіцієнт нелінійних спотворень

Асинхронні двигуни в каталогах зазвичай класифікуються за типорозмірами та їх технічними характеристиками. Типорозміри в даному контексті вказують на фізичні розміри і потужність двигуна, являючи собою буквено-цифрову комбінацію, де літери позначають габарити, а числа - параметри потужності. Важливо, що позначення типорозмірів можуть відрізнятися залежно від виробника чи регіону.

Типорозмір асинхронного двигуна є стандартом, що визначає його зовнішні розміри, включаючи корпус та отвори кріплення. Ці розміри стандартизовані, а типорозміри відображаються як буквенно-цифрова комбінація (наприклад, АБ, А, В, Р, 63, 71 і т.д.), що залежить від потужності, діаметра та висоти корпусу.

Каталоги асинхронних двигунів зазвичай надають інформацію про такі ключові параметри, як типорозмір, потужність, робоча частота, напруга, швидкість обертання валу, а також ККД, момент, що крутить, і струм. Залежно від конструкції та спеціальних характеристик асинхронні двигуни поділяються на різні категорії.

Режим експлуатації двигуна має критичне значення. Перевантаження може призвести до передчасного зношування та поломок, тоді як недовантаження нерідко знижує паливну ефективність і збільшує рівень викидів. Тому регулярна перевірка навантаження двигуна — важлива процедура підтримки його безперебійної роботи і довговічності.

Робота двигуна за оптимального навантаження дозволяє поліпшити паливну економічність, що, своєю чергою, сприяє зниженню експлуатаційних витрат. Надлишок навантаження може призвести до виходу двигуна за межі безпечного робочого діапазону, провокуючи аварійні ситуації чи поломки. З іншого боку, недостатнє навантаження тягне за собою перевитрату палива та додаткові витрати.

Регулярний контроль навантаження здатний запобігти перегріву двигуна, продовжити термін його служби, збільшити ефективність роботи, мінімізувати викиди та покращити безпеку експлуатації. Дуже важливо також враховувати

перевантажувальну здатність двигуна при його запуску та роботі під навантаженням, щоб забезпечити відповідність рекомендованим експлуатаційним стандартам.

Перевірка перевантажувальної здатності зводиться до перевірки виконання умов:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{max}} \cdot \lambda_{\text{м.доп}}, \quad (2.15)$$

де P_{max} - максимальна потужність двигуна по навантаженню, кВт;

$\lambda_{\text{м.доп}}$ - допустима перевантажувальна здатність.

З урахуванням вимог правил пристроїв електроустановок (ПВЕ)

$$\lambda_{\text{м.доп}} \approx 0,64 \cdot M_{\text{max}} \cdot M_{\text{ном}}, \quad (2.16)$$

де M_{max} – максимальний момент двигуна;

$M_{\text{ном}}$ – номінальний момент двигуна.

За каталогом двигуна кратність моментів складає 2,4.

$$\lambda_{\text{м.доп}} = 0,64 \times 2,4 = 1,536. \quad (2.17)$$

Максимальна потужність електродвигуна за навантаженням визначається за формулою (2.18), підставимо значення моментів з розрахунків 2.20 і 2.21:

$$P_{\text{max}} = M_{\text{max}} \times n / 9575. \quad (2.18)$$

$$M_{\text{max}} = M_{\text{ном}} \times 1,536 = 2,2 \times 9575 / 1500 (1 - 0,051) \times 1,536 = 22,7$$

$$P_{\text{max}} = 22,7 \times 1423,59575 = 3,3.$$

Максимальна потужність за навантаженням становить $P_{\text{max}} = 3,3$ [кВт], перевіримо виконання умови перевантажувальної здатності 2.17: $2,2 \geq 2,14$.

Висновок: Асинхронний електродвигун 4A90L4Y3 успішно пройшов перевірку на здатність перевантаження.

Для подальшого аналізу статичних та динамічних режимів роботи електричного приводу побудуємо його природну механічну характеристику, також відому як крива залежності моменту, що крутить, від швидкості обертання двигуна.

Слід враховувати, що природну механічну характеристику асинхронного двигуна впливають різні чинники, такі як особливості конструкції двигуна, опір і інерція ротора, і навіть вид підключеного навантаження. Крім цього,

електричні параметри, зокрема напруга живлення та частота мережі, також відіграють істотну роль у формуванні цієї характеристики.

Розуміння природних механічних характеристик асинхронного двигуна відіграє ключову роль у його правильному виборі, управлінні та експлуатації. Це знання сприяє оцінці продуктивності двигуна при різних навантаженнях, а також розробці надійних та ефективних систем керування.

Графік залежності частоти обертання ротора від моменту на валу, що позначається як $n = f(M)$, будується з урахуванням співвідношення між ковзанням і числом обертів двигуна за хвилину.

Формула ковзання

$$s = (n_1 - n) / n_1, \quad (2.19)$$

де s – ковзання;

n_1 і n – синхронна та номінальна частота обертання об/хв.

Таким чином, використовуючи дані таблиці 2.4, отримаємо механічну характеристику асинхронного двигуна.

Для побудови графіка рекомендовано знайти дані щонайменше по десяти точках. Дані по частоті обертання та моменту крім основних режимів обчислимо змінюючи значення ковзання.

Таблиця 2.5 - Розрахункові дані

s	0	0,051	0,2	0,22	0,3	0,33	0,4	0,54	0,8	1
$M, Н \cdot м$	0	14,7	20,12	20,9	22,59	22,7	22,28	20,2	14,4	13,5
$n, об/хв$	1500	1423,5	1200	1170	1050	1005	900	700	300	0

наРисунок 10показано чотири основні точки:

- холостий хід $s=0$, $n_1=1500$ об/хв, $M=0 Н \cdot м$;
- Номінальний режим $s=0,051$, $n=1423,5$ об/хв, $M_H=14,7 Н \cdot м$;
- Критичний режим $s_K=0,33$, $n=1005$ об/хв, $M=22,7 Н \cdot м$;;
- пусковий режим $s_P=1$, $n=0$ об/хв, $M_P=13,5 Н \cdot м$.

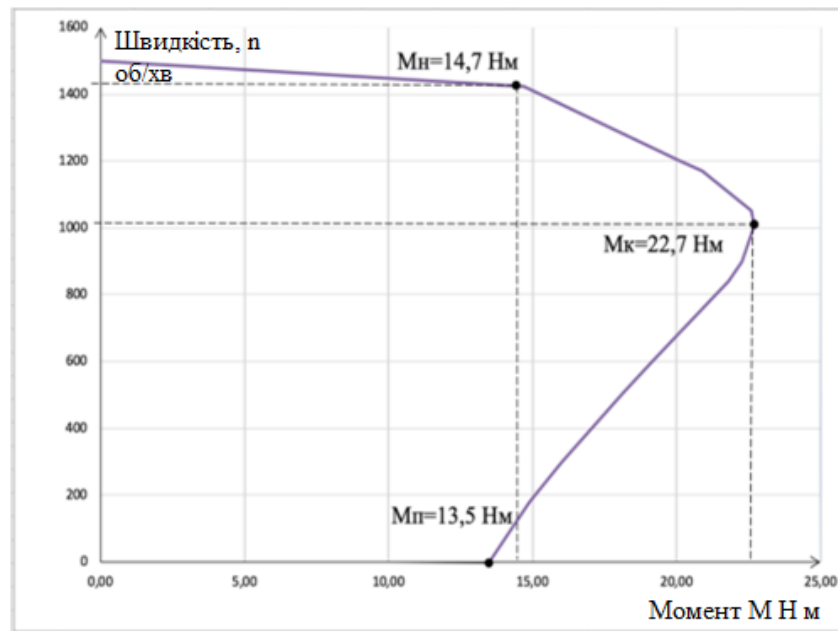


Рисунок 10 – Природна механічна характеристика двигуна

Продуктивність $p(t)$ насоса прямо пропорційна кутовій швидкості $\omega(t)$ приводного барабана.

$$p(t) = K_{\text{пер}} \times \omega(t), \quad (2.20)$$

Використовуючи перетворення Лапласа, отримаємо

$$\Omega(s) = L\{\omega(t)\}, \quad (2.21)$$

$$P(s) = K_{\text{пер}} \times \Omega(s). \quad (2.22)$$

Кутова швидкість має залежність від величини завдання, що обчислюється напругою управління ПЧ $U_{\text{кер}}$, згідно з [5] має інерційний характер:

$$P(s) = K_{\text{пер}} \cdot (K_{\text{п}} \cdot \beta) / (T_{\text{Е}} \cdot s + 1) H_{\text{кер}}(s), \quad (2.23)$$

де $K_{\text{пер}} = 0,32$ [кг] - коефіцієнт передачі;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт передачі;

$T_{\text{Е}}$ – механічна постійна часу двигуна;

$H_{\text{кер}}$ – керуюча напруга перетворювача частоти.

Параметри двигуна, відповідно до [6], обчислимо використовуючи паспортні дані електродвигуна з таблиці 2.2:

$$T_{\text{Е}} = 1 / (\omega_0 \cdot s_k) = 0,034 \text{ с}, \quad (2.24)$$

$$\beta = 2 \cdot M_k / (\omega_0 \cdot s_k) = 2,2 \text{ Н м/с}, \quad (2.25)$$

$$K_{\pi} = \omega_0 \cdot U_y = 15,7 \text{ c}^{-1} \text{B}^{-1}, \quad (2.26)$$

Отримаємо номінальну передатну функцію двигуна насоса:

$$W_{0.\text{пер}}(s) = 0,3234,540,034 s + 1. \quad (2.27)$$

У роботі використовується частотний спосіб регулювання швидкості асинхронного двигуна з використанням перетворювача частоти (Рисунок 11).

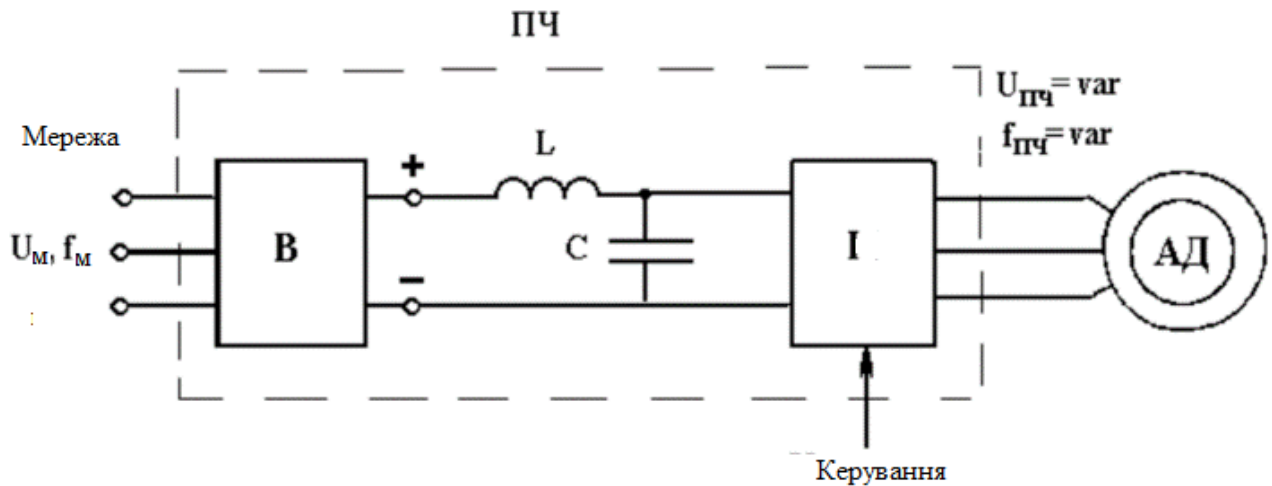


Рисунок 11 – Типова схема перетворювача частоти

Передатну функцію перетворювача частоти можна описати за його коефіцієнтом:

$$W_{\text{пч}}(p) = f_{\text{max}} \cdot U_3 \cdot f = K_{\text{пч}}. \quad (2.28)$$

$K_{\text{пч}}$ визначиться по відношенню до максимальної частоти струму статора і максимальної напруги, що подається з пристрою управління

$$K_{\text{пч}} = f_{\text{max}} \cdot U_3 \cdot f = 50 \cdot 10 = 5 [\text{Гц/ВТ}]. \quad (2.29)$$

Датчик швидкості визначається пропорційною ланкою і приймається рівною одиниці.

$$W_{\text{дш}}(p) = 1. \quad (2.30)$$

Таким чином, математичний опис САУ управління продуктивністю насоса може бути записана у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} W(p) = \frac{M(p)}{P(p)} = \frac{1 - e^{-p\tau}}{p}, \\ W_p(p) = K_{\text{пер}} \cdot \Omega(p) = K_{\text{пер}} \cdot \frac{K_{\text{п}} \cdot \beta}{T_E(p) + 1}, \\ W_{\text{пч}}(p) = \frac{f(p)}{U_{\text{зф}}(p)} = K_{\text{пч}}, \\ W_{\text{дш}}(p) = K_{\text{с}}. \end{array} \right. \quad (2.31)$$

2.4 Аналіз динамічних властивостей об'єкта управління

2.4.1 Правило

Математична модель об'єкта у системі є фундаментом для аналізу та оцінки характеристик її поведінки. Дослідження системи управління включає розгляд таких аспектів, як динаміка, стійкість та експлуатаційні параметри. Основне завдання аналізу полягає у розумінні того, як система реагує на входні дії, яким чином вона переходить у стійкий стан або реагує у перехідній фазі, а також наскільки ефективно вона виконує поставлені завдання.

Процес аналізу та синтезу управління описаний на ілюстрації (див.Рисунок 12).

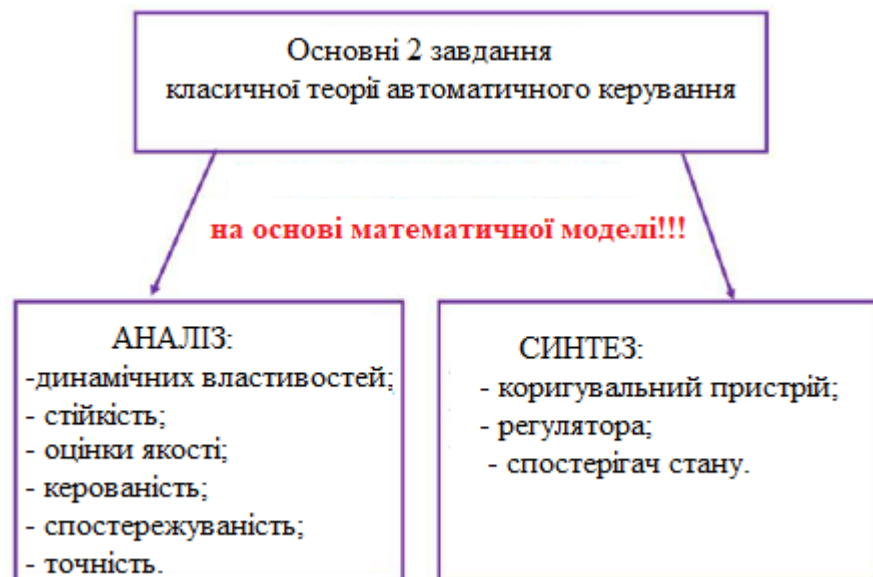


Рисунок 12 – Завдання управління

Структурна схема математичної моделі насоса каналом швидкості руху нафти (Рисунок 13).

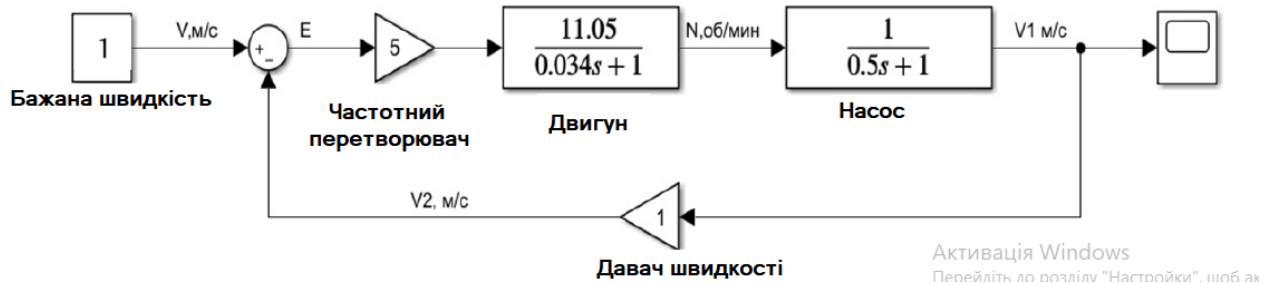


Рисунок 13 – Система керування швидкістю нафти насоса

Передатна функція розімкнутої системи насоса:

$$G(s) = \frac{55.25}{0.017 \cdot s^2 + 1}. \quad (2.32)$$

Отримаємо результати моделювання розімкнутої системи (Рисунок 14).

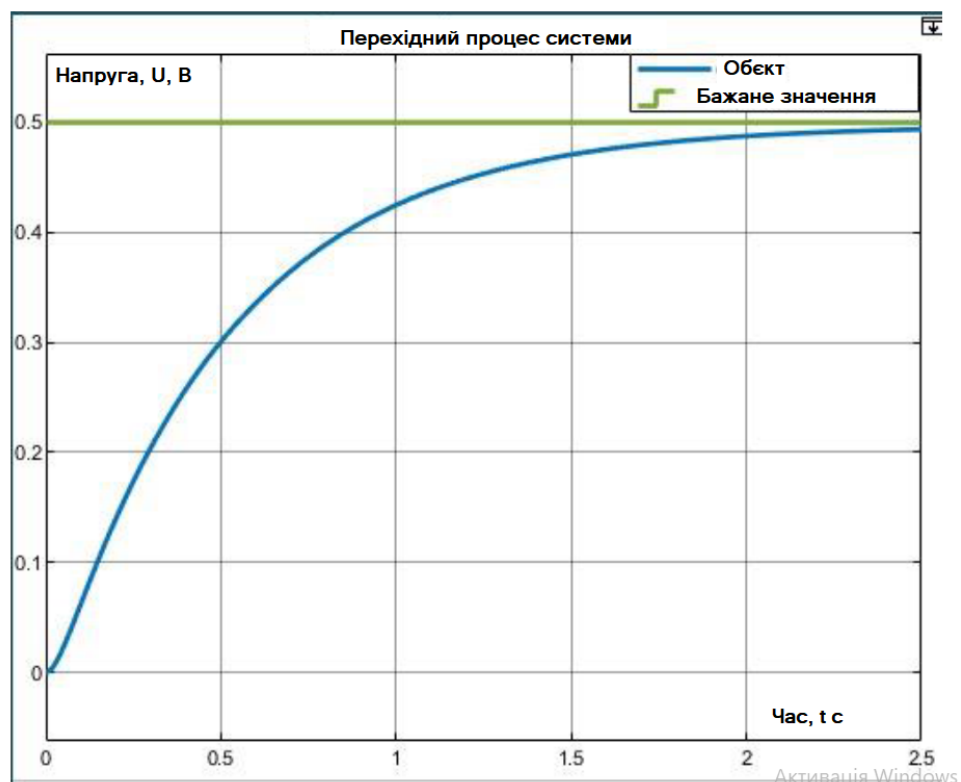


Рисунок 14 – Перехідний процес розімкнутої системи

наРисунок 14видно, що система без збурень має монотонний перехідний процес. Попередньо можна дійти невтішного висновку, що система стійка.

Дослідження стійкості методом алгебри. Для перевірки висновку про стійкість системи досліджуємо РСАР (2.32).

Алгоритм визначення стійкості за критерієм Гурвіца.

Крок 1. Визначимо характеристичне рівняння.

$$\begin{aligned}(a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + a_2) &= 0, \\ 0.017 s^2 + 0.534 s + 1 &= 0\end{aligned}\tag{2.33}$$

Зауважимо, що 0 позитивне, $n = 2$.

Крок 2. Побудова матриці Гурвіца (n рядок та n стовпців):

$$H = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.534 & 0 \\ 0.017 & 1 \end{vmatrix}.\tag{2.34}$$

Крок 3. Знайдемо визначники головних діагональних мінорів матриці Гурвіца:

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= 0.534 > 0, \\ \Delta_2 &= \det \begin{vmatrix} 0.534 & 0 \\ 0.017 & 1 \end{vmatrix} = 0.534 > 0.\end{aligned}\tag{2.35}$$

Етап 4. Аналіз результатів. Розімкнена система автоматичного регулювання (САР) задовольняє критерію стійкості Гурвіца з наступних причин:

- а) усі коефіцієнти характеристичного рівняння мають позитивні значення;
- б) визначники основних діагональних мінорів також є позитивними.

Крім критерію Гурвіца, теоретично автоматичного управління широко використовується перший метод Ляпунова для аналізу стійкості системи. Цей метод ґрунтується на трьох теоремах, представлених схематично на Рисунок 15.

Теорема Ляпунова (перший метод):

- **Теорема 1. Динамічна система стійка, якщо і тільки якщо всі її полюси мають негативні дійсні частини (полюси ліві).**
- **Теорема 2. Динамічна система нестійка, якщо і тільки якщо хоча б один із її полюсів має позитивну дійсну частину (полюси праві).**
- **№ - Теорема 3. Динамічна система на межі стійкості, якщо і тільки якщо вона має хоча б один нульовий або пару чисто уявних полюсів, при негативності інших полюсів.**

Рисунок 15 – Умови стійкості за першим методом Ляпунова

Етап 2. Аналіз результатів. Враховуючи, що всі дійсні частини коренів характеристичного рівняння мають негативні значення, можна констатувати, що відповідно до першої теореми Ляпунова розімкнена система автоматичного регулювання є стійкою.

Отже, використання критерію Гурвіца та першого методу Ляпунова дозволило обґрунтувати припущення про стабільність аналізованої системи.

Для візуалізації розташування полюсів розімкнутої системи автоматичного регулювання комплексної площині, представлене у виразі (2.8), застосовуються команди `pzmap(G)`. Побудова кореневого годографа виконується з допомогою команди `rlocus(G)`.

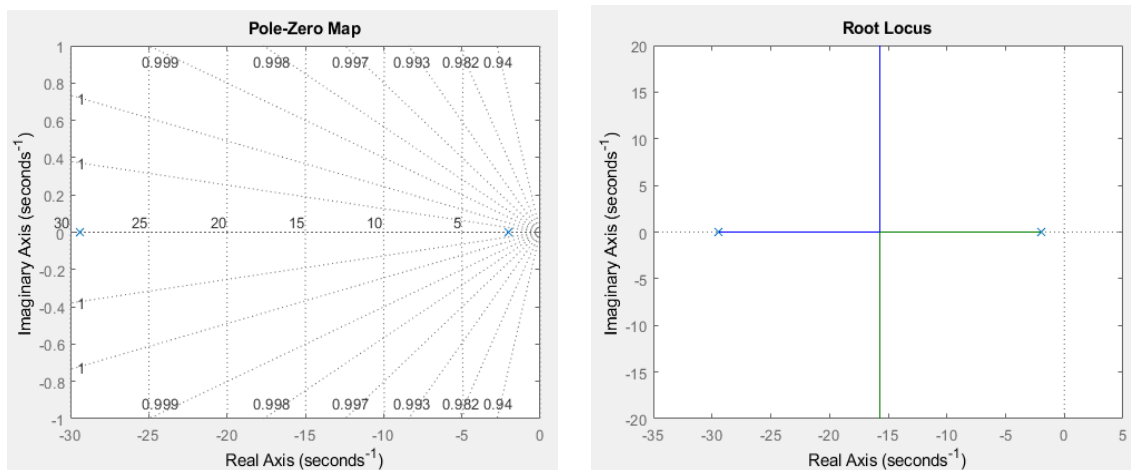


Рисунок 16 – Полюси та нулі PPCAP на комплексній області та кореневий годограф RL

Оскільки розімкнена система є стійкою, проведемо визначення її основних показників якості. Оцінка якості системи складає основі аналізу її перехідного процесу (див. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Для монотонного перехідного процесу розглядаються дві основні характеристики: час регулювання та час наростання. На підставі цього можна отримати такі показники якості розімкнутої системи.

Характеристика 1. Час регулювання T_{set} – час витрачений для досягнення системи встановленого значення y_{ss} :

$$T_{set}=1.99$$

Характеристика 2. Час наростання:

$$T_R=1.1$$

З критерію Найквіста система стійка, якщо АФЧХ розімкнутої САР не охоплює точку $(-1, j0)$. Перевіримо стійкість за графіком АФЧХ розімкнутої системи (рисунок 17), виконаємо побудову за допомогою команди `nyquist (G)`.

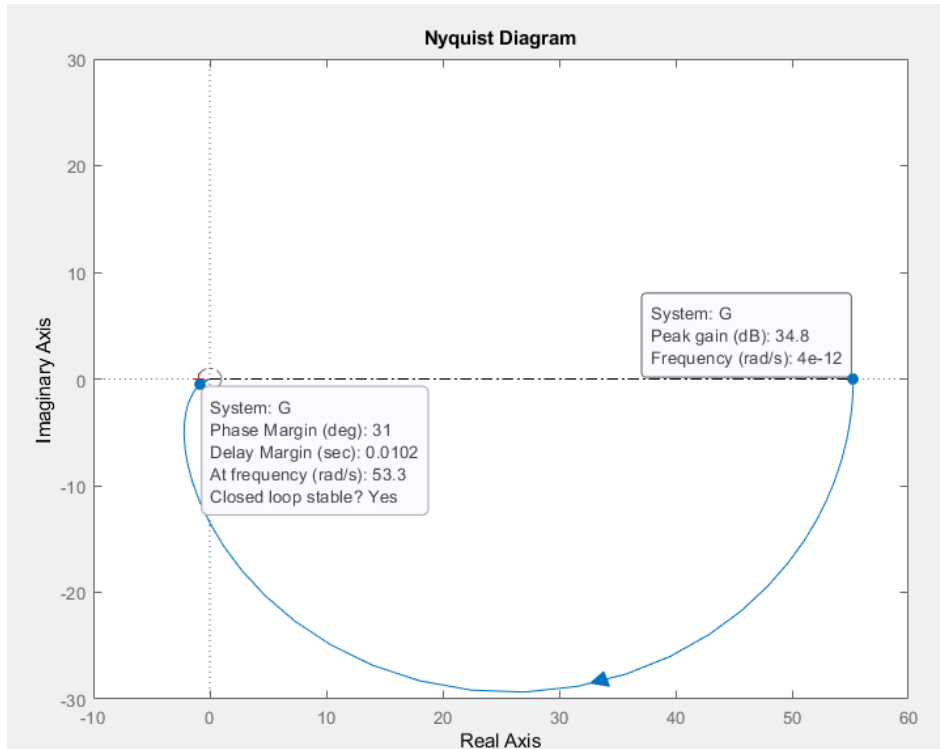


Рисунок 17 – АФЧХ разомкнутої системи

Графики ЛАЧХ и ЛФЧХ изображены на. Анализируя графики делаем вывод, что система устойчива. Запасы устойчивости по амплитуде составляет 0.086 дБ, а по фазе минус 149 градусов.

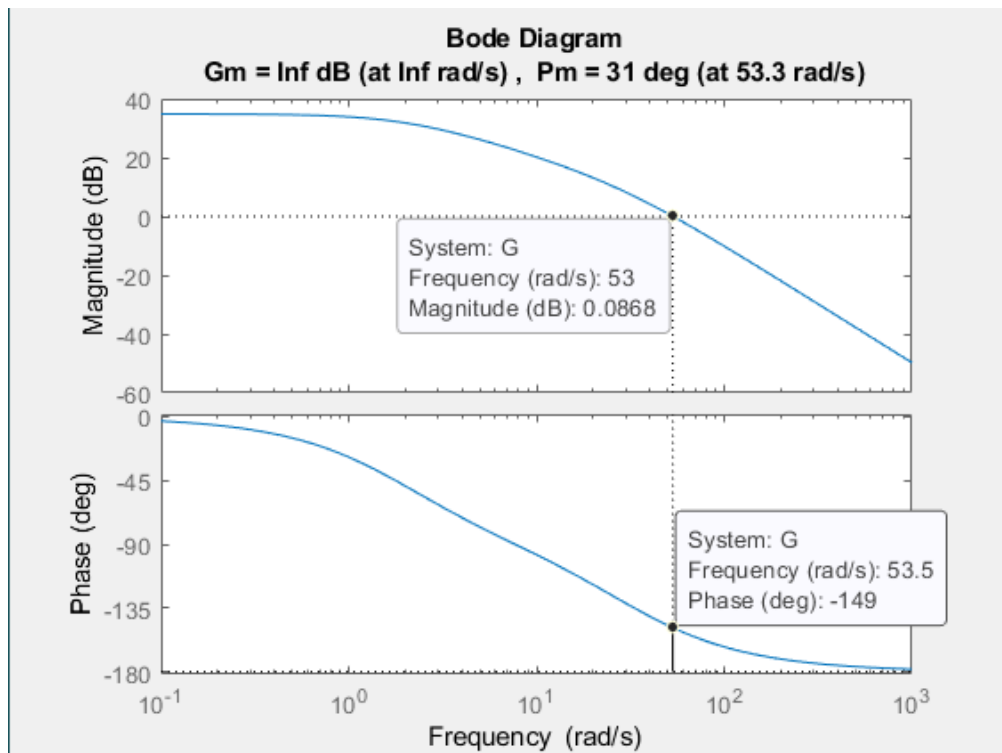


Рисунок 18 ЛАЧХ та ЛФЧХ із запасами стійкості за амплітудою та по фазі

Передатна функція замкнутої системи керування:

$$T(s) = 55.250.017s^2 + 0.534s + 56.25. \quad (2.36)$$

Отримаємо графік перехідного процесу (Рисунок 19), щодо якого знайдемо прямі оцінки якості для аналізу системи.

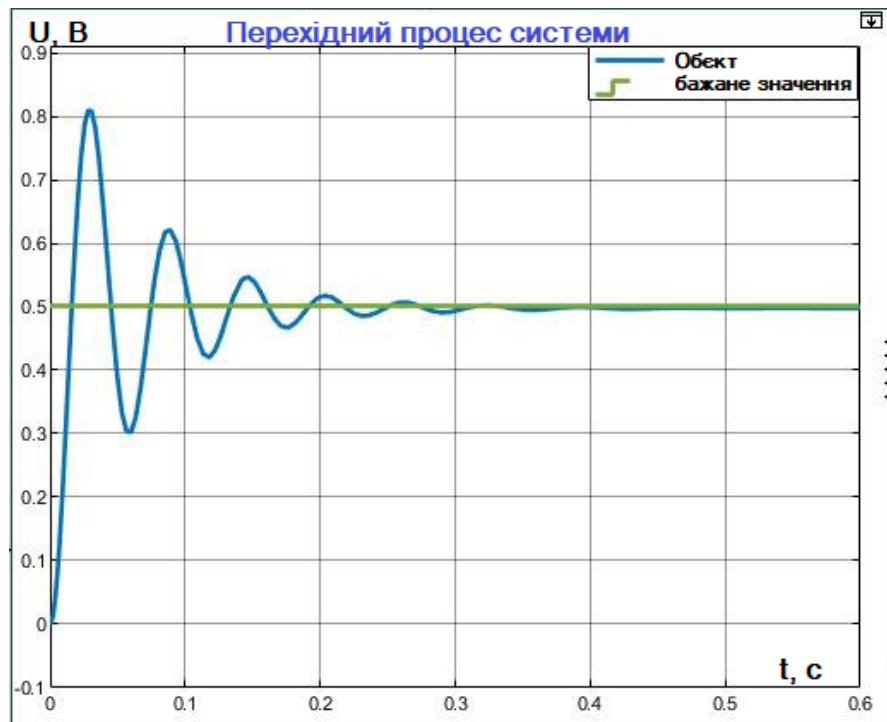


Рисунок 19 – Замкнута система об'єкта без регулятора

Таблиця 2.5 – Прямые оценки качества переходного процесса

Оцінка якості	Позначення	Значення	Норма	Відповідність вимогам
Час регулювання	T_{set}	0.25с		-
Перерегулювання	P_{ov}	40.14%	10-20%	Не відповідає
Число коливань	M	3	0-1	Не відповідає
Коливання	μ	15.7%		-
Період коливань	T	0.13с		-
Помилка, що встановилася	ε_{ss}	0	0	відповідає
Час досягнення першого максимуму	T_p	0.06		-
Час наростання	T_R	0.028с		-
Декремент згасання	χ	6.33		-

З СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕННЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ОБЪЕКТА

У системі автоматичного регулювання регулятор виступає як основний елемент, що забезпечує стабільність і контроль над заданим вихідним сигналом або регульованої змінної процесу. Його ключове завдання полягає в постійному вимірі поточного вихідного значення системи, порівнянні його з бажаною уставкою та прийнятті коригувальних дій, що сприяють поверненню вихідного сигналу до встановленого значення та підтримці його в заданих межах.

Серед поширених методів управління важливу роль відіграють регуляторні пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД). Їх використання дозволяє досягти, наприклад, того, щоб швидкість подачі матеріалу живильником досягала встановленої величини, наприклад, 0,5 м/с. ПІД-регулятори регулюють вихідні параметри, постійно коригуючи керуючий сигнал на основі відхилення між фактичним значенням та необхідним.

Пропорційний компонент регулятора (Р) прямо пропорційний різниці (помилки) між заданим значенням та фактичною швидкістю системи. Цей компонент створює сигнал, що управляє, який масштабується в залежності від величини помилки, забезпечуючи миттєву реакцію для її зменшення. Регулювання коефіцієнта пропорційності впливає чутливість системи до розбіжностей.

Інтегральний компонент (І) бере до уваги накопичене значення помилки за певну годину. Цей елемент дозволяє усунути стійку помилку або усунення шляхом інтегрування сигналу помилки, забезпечуючи більш точну відповідність фактичного значення встановленим завданням. Змінюючи коефіцієнт посилення інтегральної складової, можна настроїти чутливість системи до довгострокових відхилень.

Похідний компонент (D) аналізує швидкість зміни помилки. Він реагує на швидку зміну вихідних параметрів, випереджаючи розвиток помилок та запобігаючи різкому перерегулюванню або недорегулюванню. Цей елемент

допомагає підвищити стабільність системи та згладжує коливання. Налаштування посилення похідного компонента дозволяє адаптувати відгук до динамічних змін помилки.

Для досягнення бажаної швидкості подачі насоса в 0,5 м/с ПД-регулятор постійно відстежуватиме його поточну швидкість і обчислюватиме різницю з метою мінімізації відхилення. Спочатку реакція регулятора домінуватиме за рахунок пропорційної складової для швидкого зменшення помилки. Інтегральний член з часом коригує довгострокові відхилення, а похідний забезпечує згладжування динаміки системи для запобігання різких змін і підвищення стійкості її роботи.

При правильному налаштуванні коефіцієнтів посилення, виконаної на основі моделювання або емпіричних даних, можна забезпечити досягнення заданої швидкості з мінімальними відхиленнями та високою ефективністю регулювання.

Постановка завдання синтезу регулятора може включати такі етапи:

1. Проведення налаштування різних типів регуляторів (наприклад, П, ІІ та ПД) з використанням емпіричних методів для аналізу перехідних процесів розімкнутої системи, таких як методи ZN1 або CHR.
2. Оцінка якості регулювання з урахуванням розрахованих перехідних процесів як без регуляторів, і з їх використанням.
3. Обґрунтування вибору найбільш відповідного типу регулятора та методу його налаштування для забезпечення оптимального робочого режиму системи.

3.1 Емпіричний метод налаштування регулятора

За перехідним процесом розімкнутої системи отримаємо коефіцієнти для налаштування типових регуляторів за емпіричними методами Циглера-Нікольса №1 і Чина Хронеса-Ресвіка.

Алгоритм методу ZN №1.

Крок 1. Проведемо дотичну (Рисунок 20) для монотонного процесу. Таким чином, отримаємо параметри для подальшого розрахунку:

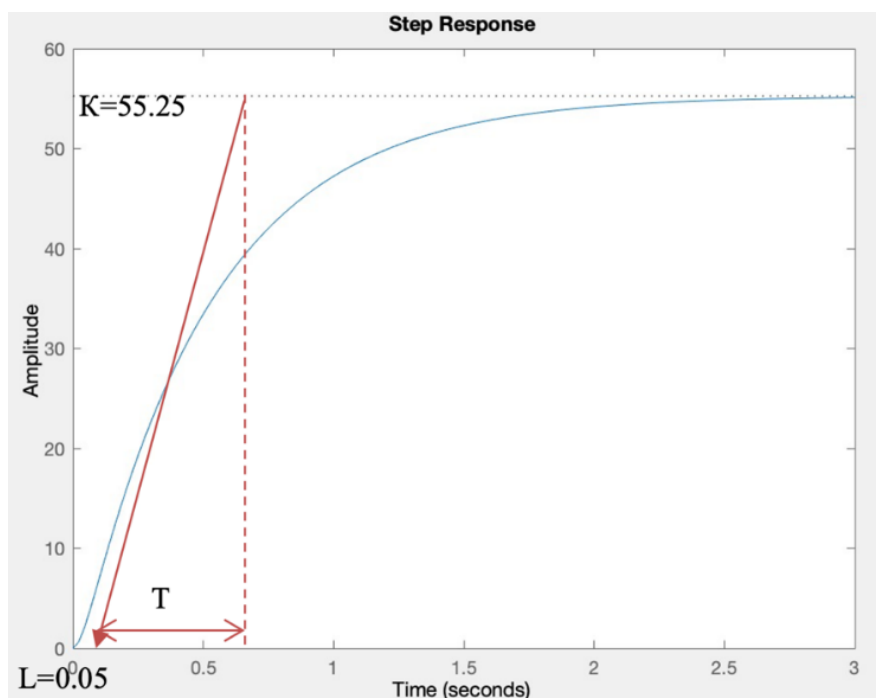


Рисунок 20 – Пошук параметрів для розрахунку

Таким чином, отримаємо параметри для подальшого розрахунку:

$$K = 55.25, L = 0.05, T = 0.6.$$

Крок 2. Виконаємо розрахунок параметрів ПІД-регулятора методом ZN № 1, отримані дані занесемо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти для налаштування регулятора

	P	I	D
P	0.22	0	0
PI	0.198	0.16	0
PID	0.264	0.1	0.025

Крок 3. Про моделюємо типові регулятори у програмі MATLAB. Схема для моделювання представлена на Рисунок 21, За цією схемою будуть виконані всі методи налаштування регулятора.

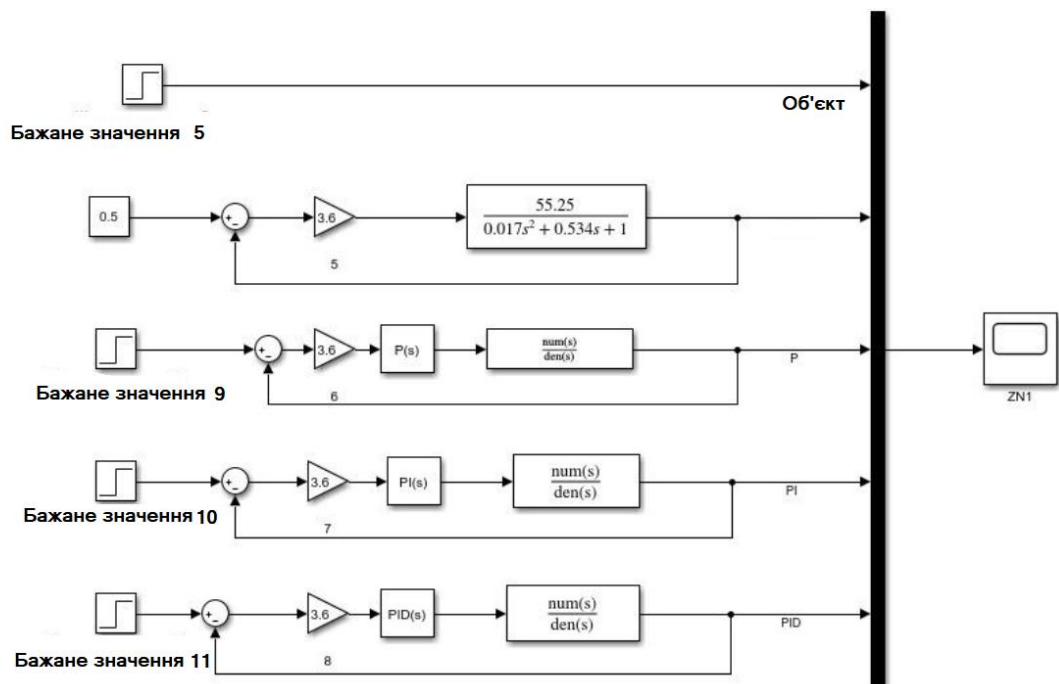


Рисунок 21 - Модель схеми

Крок 4. Аналіз результату моделювання. Графік (Рисунок 22) показав, що класичний ПД-регулятор ZN №1 дає якісніші оцінки перехідного процесу при використанні ПІ-регулятора.

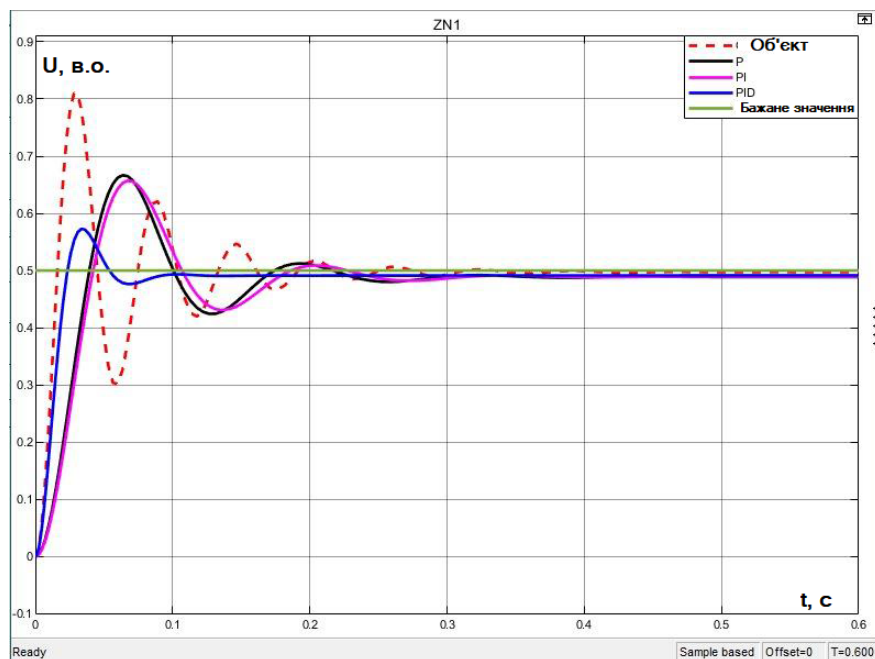


Рисунок 22 – Отримання результатів моделювання у середовищі MATLAB

Таблиця 3.2 - Прямі оцінки якості

Оцінки якості	Без регулятора	P-регулятор	PI-регулятор	PID-регулятор
Час регулювання	0.25 с	0.32 з	0.28 с	0.55 з
Перерегулювання	40.14%	11.7%	1.53%	-
Число коливань	3	1	1	1
Встановлена помилка	0	0.1	0	0.1

Висновок: На основі даних таблиці 3.2 ПІ-регулятор, налаштований з використанням методу ZN №1, задовольняє вимогам, що висуваються. Показник перерегулювання був знижений до мінімального значення 1.53%, що забезпечило досягнення заданої швидкості насоса в 0.5 м/с. Таким чином, завдяки використанню даного типового регулятора вдалося також поліпшити показники продуктивності системи.

Наступним кроком є розробка алгоритму налаштування регулятора із застосуванням методу CHR.

Крок 1. Використовуючи розраховані коефіцієнти, зробимо налаштування регулятора. Дані внесемо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок коефіцієнтів регулятора

	P	I	D
P	0.066	0	0
PI	0.132	0.2	0
PID	0.209	0.1	0.021

Крок 2. Моделювання системи. Для цього необхідно в блоці регулятора Simulink відкрити вікно налаштувань (Рисунок 23), а потім за допомогою блоку scope отримати результати у вигляді графіка (Рисунок 24).

Controller: **PID** Form: **Ideal**

Time domain:

☒ Continuous-time
☐ Discrete-time

Discrete-time settings

Sample time (-1 for ir

▼ Compensator formula

$$P \left(1 + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}} \right)$$

Main Initialization Output Saturation Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: **internal**

Proportional (P): **0.209**

Integral (I): **0.12**

Derivative (D): **0.021**

OK Cancel Help Apply

Рисунок 23 – Вікно налаштування параметра ПІД-регулятора

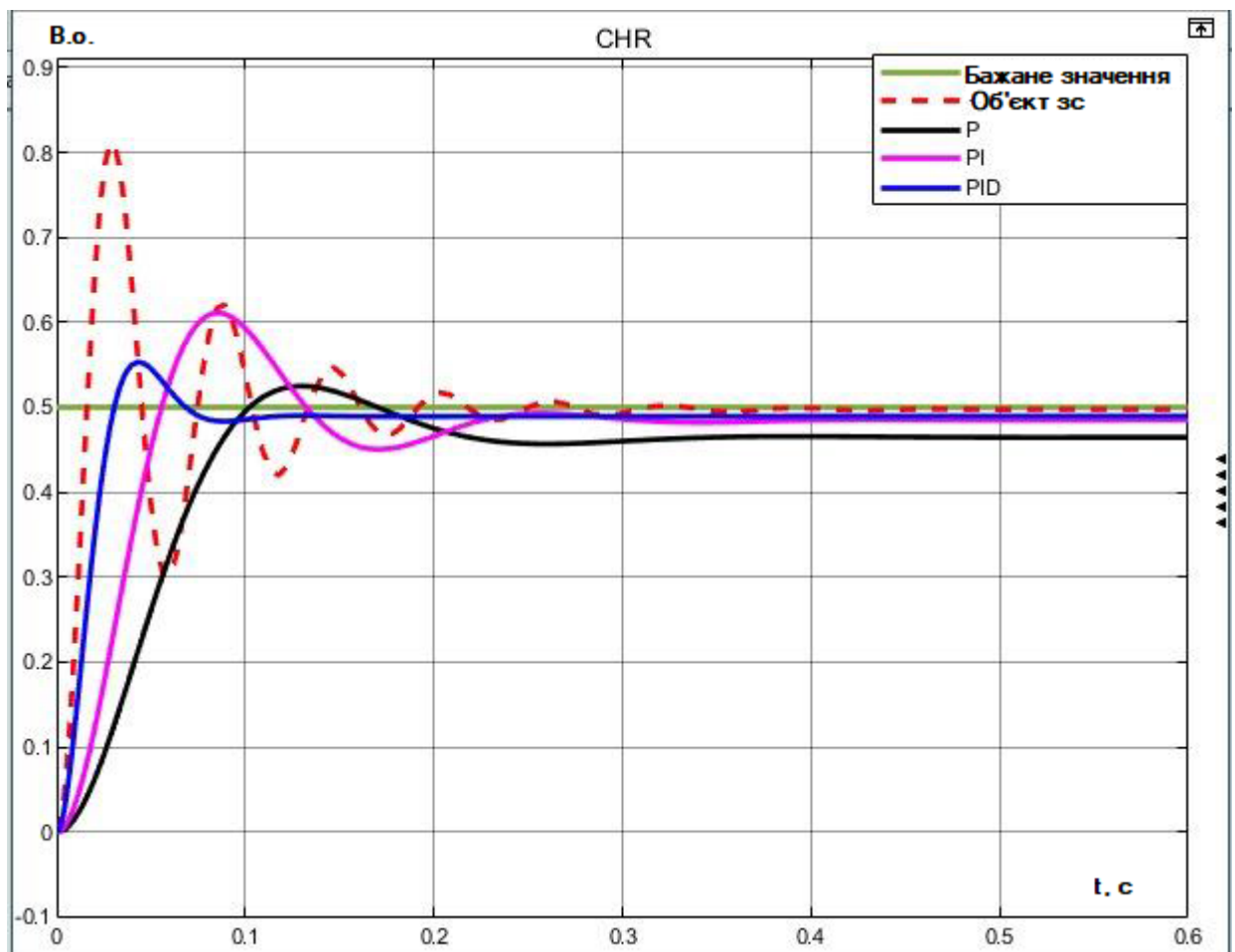


Рисунок 24 – Результати моделювання

Крок 3. Аналіз результатів за прямими оцінками якості.

Таблиця 3.4 - Прямі оцінки якості

Оцінки якості	Без регулятора	P-регулятор	PI-регулятор	PID-регулятор
Час регулювання	0.25 с.	0.47 с.	0.3 с.	0.25 с.
Перерегулювання	40.14%	23.1%	1.3%	17.6%
Число коливань	3	1	1	1
Встановлена помилка	0	0.02	0	0.01

Висновок: ПІ-регулятор методом CHR відповідає бажаним вимогам. У разі цей метод мінімізує помилку щодо випадкових обурень.

3.2 Метод ручного налаштування командою Tune програми MATLAB

Для налаштування регулятора програмним комплексом MATLAB застосовуються різні вбудовані функції та інструменти, що надаються пакетом MATLAB Control System Toolbox. Цей інструментальний набір надає широкий спектр методів проектування та параметричного налаштування регулятора, включаючи ручне керування налаштуваннями, класичні підходи та сучасні методи оптимізації. Ці можливості суттєво полегшують досягнення необхідних характеристик керування, а також забезпечують стабільність системи.

Зокрема, для ручного настроювання контролера можна використовувати команду `Tune`, що дозволяє обчислити коефіцієнти типового регулятора за допомогою командного рядка. Програмний код для виконання цього розрахунку представлений у додатку Б. Після завершення алгоритму MATLAB автоматично виконує моделювання системи із підключеним регулятором та виводить результати, що спрощує аналіз отриманих даних.

Підсумкові значення, отримані під час розрахунку, заносяться до таблиці 3.5 для подальшого використання та інтерпретації.

Таблиця 3.5 - Коефіцієнти регулятора Tune методом

	P	I	D
P	0.234	0	0
PI	0.0225	0.104	0
PID	0.029	0.0972	0.00123

Графік моделювання представлений наРисунок 25.

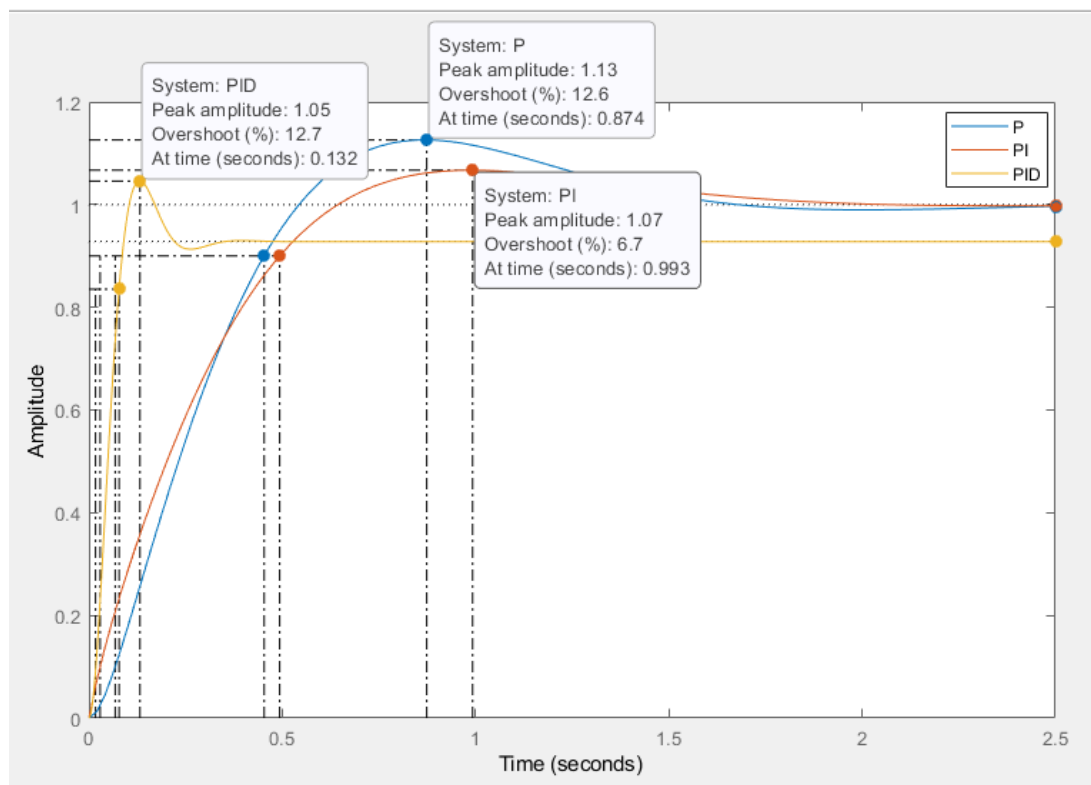


Рисунок 25 – Результат моделювання регуляторів

Аналіз системи з регуляторами занесемо до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Прямі оцінки якостей

Оцінки якості	P-регулятор	PI-регулятор	PID-регулятор
Час регулювання	2.2 с.	1.5 с.	0.35 с.
Перерегулювання	12.6%	6.7%	12.7%
Число коливань	1	1	1
Час наростання	0.385	0.464	0.16
Встановлена помилка	0	0	0.02

Оскільки програма не бере до уваги задану швидкість насоса, необхідно самостійно розробити схему для моделювання системи та виконати налаштування існуючих коефіцієнтів з метою подальшої оптимізації їх якісних

характеристик. Слід зазначити, що параметричне налаштування для емпіричних методів здійснюється в ідеальних умовах, тоді як для алгоритму Tune потрібно виконання паралельного налаштування. Візуалізація вікна параметрів ПІ-регулятора представлена на Рисунок 26.

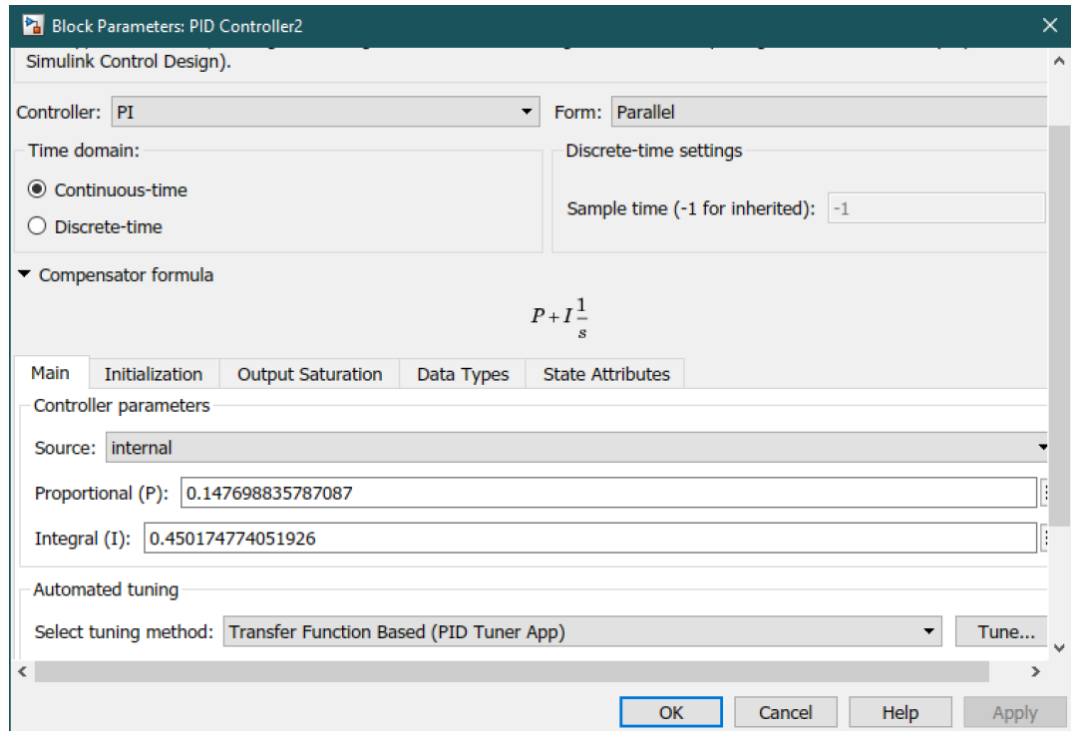


Рисунок 26 – Налаштування ПІ-регулятора

В результаті ручного налаштування способом Tune, на графіку моделювання (Рисунок 27) можна помітити уставку 2 м/с, до якої приходять типові регулятори. Найкращим вважається ПІ-регулятор.

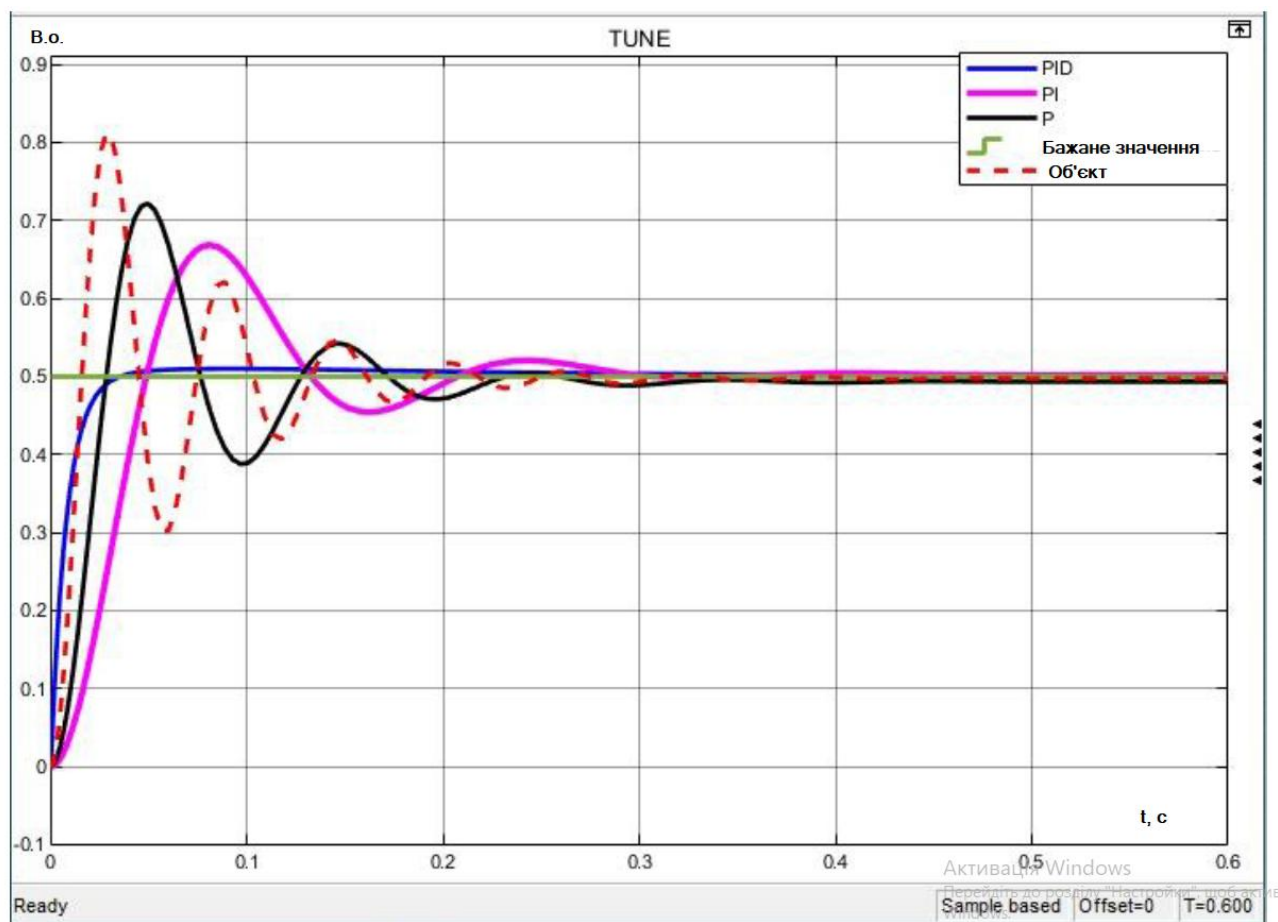


Рисунок 27 – Результати ручного налаштування

Таблиця 3.7 – Прямі оцінки якості регулятора методом Tune

Оцінки якості	Без регулятора	P-регулятор	PI-регулятор	PID-регулятор
Час регулювання	0.25 с.	0.45 с.	0.81 с.	0.73 с.
Перерегулювання	40.14%	32.6%	11.7%	5.8%
Число коливань	3	2	1	-
Встановлена помилка	0	0.02	0	0.02

Для прийняття рішення про вибір найбільш відповідного методу, що задовольняє заданим вимогам якості перехідного процесу за участю регулятора, необхідно провести порівняльний аналіз всіх досліджуваних ПІ-регуляторів. У цій роботі буде запропоновано схему, в якій представлені ПІ-регулятори, налаштовані з використанням методів Ziegler-Nichols №1, CHR і Tune. Підсумкові результати моделювання системи представлені як графічного зображення (див.Рисунок 28).

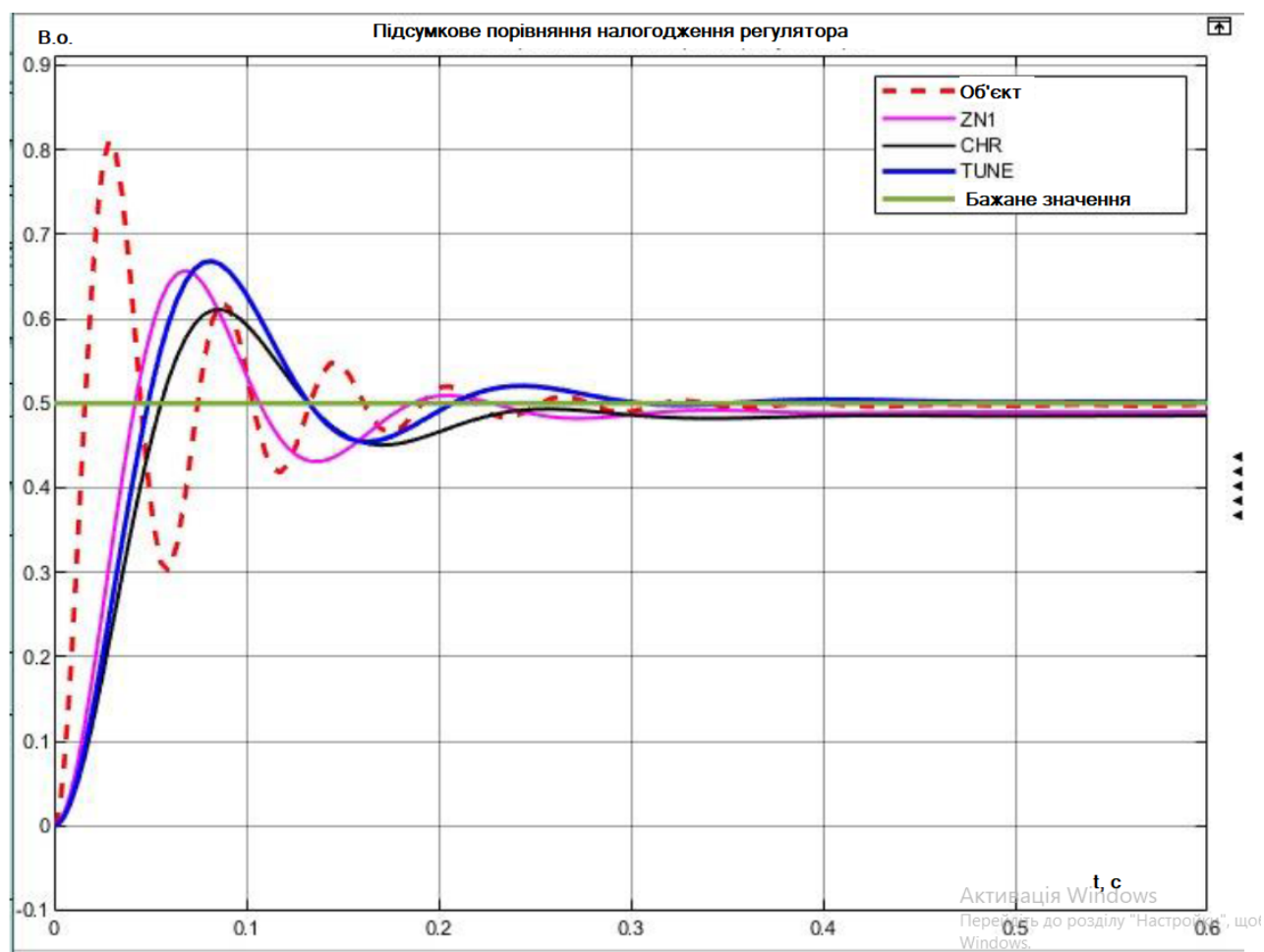


Рисунок 28 – Графік порівняння налаштувань

Аналіз оцінок якості перехідного процесу наведено у порівняльній таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Оцінки якості

Прямі оцінки якості	Система без регулятора	Tune	CHR	ZN №1
T_{set}	0.28с	0.37с	2.1с	1.9с
Pov	40.14%	1.798%	14.1%	10.05%
TR	0.022с	0.04с	0.037с	0.05с
ess	0	0	0	0
M	3	1	1	1

В результаті проведеного аналізу найрезультативнішим методом налаштування системи виявився підхід Tune. Основною перевагою ручного налаштування стало зручність підбору коефіцієнтів регулятора, а також ясність процесу регулювання.

Таким чином, вдалося успішно реалізувати завдання розробки лінійної системи керування насосом перекачування. Застосування ПІ-регулятора

дозволяє оператору забезпечити точне керування швидкістю транспортування нафти, встановлюючи задане значення лише на рівні 2 м/с. Це, у свою чергу, сприяє оптимізації продуктивності об'єкта та підвищенню його ефективності.

3.3 Вибір апаратної бази об'єкта керування

У разі вибору обладнання для автоматизації, призначеного для регулювання роботи насоса, варто розглянути пристрої Siemens. Нижче наведено перелік компонентів, що використовуються у подібних системах.

Програмований логічний контролер (напр., Рисунок 29) виконує роль основного елемента управління у системі автоматизації. Siemens пропонує широкий асортимент ПЛК, таких як серія SIMATIC S7, які підходять для різних завдань. При підборі конкретної моделі важливо враховувати вимоги вашої системи, включаючи кількість входів/виходів, продуктивність процесора та можливість підключення до мереж.

Людино-машинний інтерфейс (ЧМІ) забезпечує оператору можливість спостерігати за станом системи та керувати її елементами. В асортименті Siemens представлені панелі SIMATIC HMI та програмні рішення WinCC. Основні критерії при виборі ЧМІ включають розмір екрану, наявність сенсорного керування, зручність інтеграції з іншими пристроями та простоту програмування.

Датчики застосовуються для моніторингу ключових параметрів, таких як швидкість потоку, витрата матеріалу, рівень рідини та усунення нафти. Siemens пропонує широкий вибір промислових датчиків, включаючи ультразвукові, радарні та лазерні пристрої, що відрізняються високою точністю та надійністю.

Частотно-регульовані приводи служать керувати швидкістю обертання і моментом електродвигуна насоса. Асортимент обладнання Siemens включає серію SINAMICS, що підходить для більшості типів двигунів та різних потужних характеристик. При виборі такого приводу необхідно звернути увагу на його сумісність із двигуном, функції керування та енергоефективність.

Устаткування для автоматизації Siemens підтримує різноманітні комунікаційні протоколи, такі як PROFIBUS, PROFINET та Ethernet/IP. Це забезпечує інтеграцію із комунікаційною мережею підприємства. При підборі пристроїв важливо переконатися в їхній сумісності з існуючою інфраструктурою.



Рисунок 29 - Siemens S7-1500 програмований контролер

Таблиця 3.9 - Характеристики

Ступінь захисту	IP20 згідно стандарту ІЕС 60 529
Діапазон робочих температур	
Горизонтальна установка	0... + 60°C (при 50°C дисплей вимикається)
Відносна вологість	5%...95%, без конденсату
Атмосферний тиск	1080...795 гПа (-1000...+2000 м над рівнем моря)
Випробувальна напруга ізоляції	
для ланцюгів до 50 В	707 В (типовий тест)
для ланцюгів 250 В	2500 В

Для обраного ПЛК підберемо частотний перетворювач АВВ ас880 01 тієї ж фірми (Рисунок 30).



Рисунок 30 – Перетворювач частоти Siemens SINAMICS V20 2,2 кВт, 380В

Таблиця 3.10 - Характеристики

Діапазон напруг	208-240В; 380-480 В
Вихідна частота	0-550 Гц
ККД	97%
Ступінь захисту	IP20/NEMA 1
Входи	4 цифрові входи; 2 аналогових входу
Виходи	2 цифрові виходи; 1 аналоговий вихід

Виберемо датчик швидкості фірми Siemens MD-256 (Рисунок 31), він сумісний до роботи з датчиком контролю ваги.



Рисунок 31 - Датчик швидкості

Таблиця 3.11 - Характеристики датчика швидкості

Живлення	від +10 до +1 5В пост. струму, 30 мА – від інтегратора
Температура	від -40 до 55 0С
Вхід	обертання валу від 0,5 до 470 об/хв, у двох напрямках
Вихід	однонаправлений знижувальний вихід з відкритим колектором +5В пост. струму, макс. 25 мА (до інтегратора) 256 імпульсів на оборот від 2 до 2000 Гц
Сертифікати	CE, NEMA 4X, IP65

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Безперервність технологічних процесів на нафтоперекачувальних станціях передбачає одночасне виконання різних операцій, що пов'язане з наявністю шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Основні з них включають:

- 1) ризик одержання механічних травм;
- 2) ймовірність виникнення пожеж;
- 3) вплив виробничого шуму та вібрацій;
- 4) запиленість та загазованість повітря;
- 5) небезпека ураження електричним струмом.

4.2 Організаційні заходи

Для мінімізації ризиків операторам на нафтоперекачувальних станціях необхідно проводити організаційні заходи, такі як навчання правилам протипожежної безпеки та техніки безпеки під час роботи з обладнанням. Навчання охорони праці здійснюється через інструктажі, які поділяються на такі види:

- вступний інструктаж проводиться при прийомі на роботу і раз на півроку повторюється;
- первинний інструктаж здійснюється з співробітниками, що знову надійшли, або переведеними з інших відділів;
- повторний інструктаж проводиться щокварталу;
- позаплановий інструктаж призначається для виявлення порушень правил безпеки;
- Додатковий інструктаж організується перед виконанням робіт підвищеної небезпеки.

Інструкції з безпеки видаються робітникам на руки і є основними документами при навчанні правил безпечної роботи. Відповідальність проведення інструктажів несуть начальники цехів.

Запобігання професійним захворюванням забезпечується медичним контролем за станом здоров'я працівників, включаючи щорічні медичні огляди. Також передбачені щорічні відпустки та організація культурно-масових заходів для підвищення фізичного та психологічного здоров'я персоналу.

4.3 Технічні заходи

До технічних заходів відноситься дотримання норм протипожежної безпеки під час проектування будівель, розміщення та підключення електропроводки, обладнання, а також систем опалення, вентиляції та освітлення. Технологічне обладнання насосних станцій має відповідати встановленим нормам безпеки.

Важливе значення має проведення планово-попереджувальних ремонтів у певні терміни задля забезпечення справного стану устаткування. Правила техніки безпеки містять технічні вимоги, що гарантують захист персоналу від шкідливих впливів виробничого середовища та надійну експлуатацію обладнання.

Санітарні норми та правила з гігієни праці передбачають правильний устрій виробничих та побутових приміщень, робочих місць відповідно до фізіологічних та гігієнічних вимог. Важливим аспектом є контроль вмісту пилу, газів та пари у повітрі виробничих приміщень, недопущення їх перевищення безпечних меж.

Дотримання зазначених стандартів безпеки та гігієни праці обов'язково як на етапах проектування, так і при експлуатації об'єктів нафтоперекачувальних станцій. Особлива увага приділяється виключенню ризику ураження електричним струмом при взаємодії працівників з електричним обладнанням або дії електричного поля, що є ключовим аспектом їхньої безпечної діяльності.

4.4 Заходи захисту від впливу шуму та вібрацій

Виробничий шум є сукупністю звукових коливань різної інтенсивності і частоти, що хаотично змінюються в часі і викликають у працівників суб'єктивний дискомфорт. У вимірі інтенсивності шуму використовується октавне розподіл, де октава представляє діапазон частот, у якому верхня межа вдвічі перевищує нижню. Для класифікації шумів прийнято виділяти такі категорії:

1. За спектральними характеристиками:

а) Широкосмугові шуми, що мають безперервний спектр шириною більше однієї октави.

б) Тональні шуми, в яких є чутні тони; їх визначається підвищення рівня звуку в одній спектральній смузі на величину не менше 10 децибел щодо сусідніх $1/3$ -октавних смуг.

2. За тимчасовими характеристиками:

а) Постійні шуми, рівень яких протягом восьмигодинного робочого дня змінюється лише на 5 децибел.

б) Непостійні шуми, рівень яких протягом восьмигодинного робочого дня змінюється більш як на 5 децибелів.

Заходи контролю шуму з виробництва повинні бути комплексними, охоплюючи технологічні, санітарно-технічні та освітні профілактичні стратегії. До основних заходів відноситься усунення джерел шуму або значне ослаблення його впливу за допомогою інноваційних технологічних рішень, а також удосконалення конструкцій машин та обладнання.

Вібрація характеризується як механічні коливальні рухи, які можуть виявлятися у формі гармонійних коливань. Вона ділиться на два типи в залежності від способу передачі: локальна вібрація, що передається через руки, і загальна вібрація, що поширюється через поверхні опори людини, що сидить або стоїть. Спектральні властивості вібрації поділяються на вузькосмугові (підвищення амплітуди контрольованих параметрів більш ніж на 15 децибелів щодо сусідніх смуг) і широкосмугові (що не задовольняють даному критерію).

За частотним складом вона може бути низькочастотною, середньочастотною або високочастотною.

Для запобігання впливу шуму та вібрації при проектуванні та будівництві об'єктів застосовуються різні звукопоглинаючі матеріали (в панелях, штукатурці, блоках), а також реалізуються заходи щодо усунення джерел шуму або їх екранування. Велика увага приділяється раціональному розміщенню джерел шуму, установці глушників та створенню безшумного обладнання та механізмів із мінімальною акустичною активністю. Для зниження рівня шуму в процесах переміщення сухих матеріалів рекомендується використання в'язких мастил. Одним із найбільш ефективних методів контролю шуму є застосування звукопоглинальних матеріалів, таких як пробка, гума, повсть, вовна, вата, азбест, лінолеум, синтетичні багат шарові матеріали, бетон та інші.

4.5 Виробничі отрути

До виробничих отрут відносять хімічні речовини, які в умовах виробничої діяльності здатні проникати в організм людини і викликати відхилення в його нормальному функціонуванні або призводити до гострих або хронічних інтоксикацій. Класифікація хімічних речовин може здійснюватися за такими критеріями:

- За хімічним складом: органічні сполуки, елементно-органічні речовини та неорганічні сполуки;

- За агрегатним станом: гази, пари та їх суміші;

- За ступенем небезпеки впливу на організм:

- 1-й клас – надзвичайно небезпечні речовини,

- 2-й клас – високо небезпечні речовини,

- 3-й клас – помірно небезпечні речовини,

- 4-й клас – малонебезпечні речовини.

Джерелами виділення токсичних речовин може бути негерметичні елементи устаткування, недосконалість операцій перекачування нафти чи проведення ремонтних робіт. Найбільш ефективним способом боротьби з

професійними отруєннями є виключення застосування небезпечних речовин у виробничих процесах. Використання сучасних технологій сприяє автоматизації операцій з дистанційним керуванням, що мінімізує тривалість перебування працівників у виробничих приміщеннях та скорочує їх контакт із токсичними речовинами.

Контроль за перебігом технологічних процесів рекомендується здійснювати за допомогою вакуумних методів відбору

Виробничі приміщення повинні бути оснащені ефективною вентиляційною системою з обов'язковим видаленням токсичних речовин безпосередньо в місцях їх утворення. Також необхідно впроваджувати системи кондиціонування повітря, оснащені автоматичними та контрольно-вимірювальними приладами, що сигналізують про забруднення повітря хімічними речовинами.

Виробнича вентиляція є комплексом санітарно-технічних пристроїв, що забезпечують видалення шкідливих речовин і створення на робочому місці повітряного середовища, що відповідає гігієнічним стандартам. У цьому процесі застосовуються три типи вентиляції: загальнообмінна, місцева та штучна. Місцеві вентиляційні системи призначені для усунення шкідливих речовин прямо на місці їх виникнення та можуть включати:

- Повністю герметичні укриття, у яких повітря відсмоктується прямо від джерела виділення шкідливих речовин.
- Відкриті повітроприймачі у безпосередній близькості від джерел шкідливих викидів.

Для забезпечення надійного функціонування вентиляції необхідний регулярний контроль стану повітроводів та якості з'єднання їх сегментів. Найбільш досконала механічна вентиляція з функцією кондиціонування повітря, де параметри повітряного середовища автоматично підтримуються незалежно від зовнішніх умов.

Метеорологічні умови на виробництві відіграють ключову роль, особливо на відкритих об'єктах, таких як нафтоперекачувальні станції. Тут співробітники

піддаються впливу змінної температури, вологості, вітру та інших природних факторів, що змінюються в залежності від сезону та доби. Погодні умови всередині будівель залежать від їх конструктивних характеристик та технологічних процесів. Погані метеоумови можуть підвищувати ризик травм, впливаючи на увагу та фізичну активність працівників: висока температура повітря провокує втому та неуважність, а низька знижує функціональність через втрату тепла.

На основі досліджень розроблено санітарні норми:

- У холодну пору при температурі зовнішнього повітря нижче $+10^{\circ}\text{C}$ всередині приміщень з мінімальним рівнем тепловиділень (до $20 \text{ ккал/м}^3\cdot\text{год}$) температура повинна становити $17\text{--}22^{\circ}\text{C}$ при легкій роботі та $13\text{--}18^{\circ}\text{C}$ при тяжкій.

- У приміщеннях з інтенсивними тепловиділеннями (більше $20 \text{ ккал/м}^3\cdot\text{год}$) допустимі температури від 17 до 24°C при легкій роботі та $13\text{--}17^{\circ}\text{C}$ при тяжкій фізичній діяльності.

Відносна вологість також впливає процес тепловіддачі організму. У холодні періоди року за температури зовнішнього повітря $+10^{\circ}\text{C}$ відносна вологість усередині приміщень має перевищувати 70%. У теплі періоди при температурі понад $+10^{\circ}\text{C}$ та при кімнатній температурі $+28^{\circ}\text{C}$ вологість не повинна перевищувати 55%, а якщо температура знижується до $+24^{\circ}\text{C}$ та нижче – не більше 70%. Надмірно сухе повітря викликає дискомфорт через пересихання слизових оболонок і шкіри, тоді як надмірна вологість перешкоджає нормальному теплообміну через випаровування вологи зі шкіри.

Оскільки процеси на нафтоперекачувальних станціях часто відбуваються просто неба, для захисту працівників у несприятливих погодних умовах діють встановлені заходи безпеки. До них відносяться:

- Забезпечення спеціальним одягом та взуттям.
- Організація навісів та укриттів над робочими місцями.
- Облаштування приміщень для обігріву персоналу.

При надзвичайно низьких температурах, сильних вітрах чи сильних осадах роботи припиняються. Для створення сприятливого мікроклімату на робочих місцях можуть використовуватись спеціальні пристрої.

Електробезпека на виробництві є також критично важливим аспектом. Основні заходи включають заземлення обладнання, використання ізоляційних матеріалів, зрівняння потенціалів та застосування захисних пристроїв: ізоляційних штанг, кліщів, показчиків напруги та інших інструментів. Ці засоби виготовляються з матеріалів з високими діелектричними властивостями, таких як фарфор або ебоніт, регулярно перевіряються та зберігаються відповідно до встановлених правил.

4.6 Протипожежні та вибухові запобіжні заходи.

Забезпечення безпеки людей в умовах пожеж та вибухів, а також мінімізація можливих збитків від них досягаються за рахунок реалізації комплексу заходів щодо пожежної безпеки та вибухозахисту виробничих об'єктів. Особливої складності це питання набуває на підприємствах нафтогазової промисловості, які характеризуються підвищеною пожежною небезпекою за низкою факторів. Ці об'єкти включають складні виробничі установки, значні обсяги легкозаймистих та горючих рідин, використання зріджених горючих газів, розвинену мережу трубопроводів із запірно-регулюючою арматурою та високий ступінь електрифікації.

Для запобігання пожежам і вибухам, викликаним короткими замиканнями, перевантаженнями та іншими несправностями електроустановок, потрібний ретельний вибір обладнання, його коректне встановлення та суворе дотримання експлуатаційного режиму роботи електричних ланцюгів, машин, приладів, а також засобів автоматизації та зв'язку.

Архітектурно-будівельне проектування будівель заслуговує на оцінку "правильно спроектовано", тільки якщо крім виконання функціональних, санітарних, а також технічних та економічних вимог воно передбачає адекватні заходи пожежної безпеки. При цьому, при розробці таких об'єктів, як

Гасіння пожеж спирається на кілька основних підходів: ізоляція зони горіння від доступу повітря, охолодження вогнища загоряння до температури, достатньої для припинення горіння, уповільнення швидкості хімічних реакцій у полум'ї, механічна дія на вогонь за допомогою потужних струменів води, а також створення умов для обмеження розповсюдження полум'я. Проте слід враховувати обмеження традиційних засобів пожежогасіння. Наприклад, використання води для ліквідації загоряння нафти або інших горючих рідин може виявитися малорезультативним, оскільки такі речовини спливають на її поверхні і продовжують горіти. У разі ефективність води то, можливо підвищена з допомогою подачі її як розпорошеного потоку.

[illegible]

Здатність будівельних конструкцій затримувати поширення вогню вимірюється межею їхньої вогнестійкості. Цей параметр виражається

тимчасовим інтервалом (у годинах) з початку випробування до появи однієї з наступних чинників: формування наскрізних тріщин; перевищення температури на стороні поверхні, що не піддається нагріванню, порівняно з вихідним рівнем більш ніж на 140°C (в середньому) або на 180°C (у будь-якій точці); або підвищення температури вище 210°C незалежно від початкового стану конструкції.

Ефективна ліквідація пожежі, що виникла, багато в чому визначається оперативністю системи оповіщення про спалах. Найбільш надійними засобами такого зв'язку на сьогоднішній день вважаються електричні системи пожежної сигналізації та телефонний зв'язок. Для забезпечення гасіння пожеж важливу роль відіграє система протипожежного водопостачання, яка має забезпечувати подачу необхідного об'єму води з належним тиском.

4.6.2 Розрахунок магістрального протипожежного трубопроводу

Розрахунок рахунок магістрального протипожежного трубопроводу для гасіння однієї пожежі, що розвивається, на відкатувальному горизонті в 400 метрів від стовбура шахти. Відмітка горизонту 520 метрів, а гирла ствола шахти та насосної станції, що знаходиться на березі природної водойми 2680 метрів від ствола – 710 метрів.

Перетин відкатного штреку 8 метрів у квадраті, а швидкість вентиляційного потоку у ньому 4 метри на секунду.

Витрата води на гасіння пожежі приймається з розрахунку одночасної роботи однієї водяної завіси на вихідному струмені і одного пожежного ствола КР-Б з витратою води $Q=30$ кубічних метрів на годину. $56,84 \div 16,2 = 3,5$, тобто чотирма гвинтовими насадками діаметром 16 міліметрів.

При цьому фактична витрата води на завісу дорівнюватиме

$$Q_2 = 16,2 \cdot 4 = 64,8 \text{ м}^3 / \text{год},$$

а загальна витрата води на пожежогасіння та ізоляцію

$$Q = Q_1 + Q_2 = 30 + 64,8 = 94,8 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

Внутрішній діаметр трубопроводу

$$d = 0,0188 \sqrt{\frac{Q}{V}} = 0,0188 \sqrt{\frac{9,48}{2,5}} = 0,115$$

де $V = 2,5$ метрів на секунду - швидкість руху води у ньому.

Отриману величину округляємо до найближчого стандарту $d=125$ мм.

Необхідний напір біля водозабору дорівнюватиме:

$$H=K-LAQ2-H_2+H_n= (1,05 \cdot 2680 + 190 + 400) \cdot 6,7 \cdot 10^{-6} \cdot 94,82 - 190 + 16 = 56,$$

де K - коефіцієнт, що враховує втрати натиску за рахунок місцевих опорів;

A - питомий опір трубопроводу діаметром 125 мм;

L - загальна довжина трубопроводу;

H_2 -геодезичний перепад висот між насосною станцією та місцем гасіння пожежі;

H_n - Довжина компактного водяного струменя пожежного ствола КР-Б.

За розрахованими даними вибираємо насос занурювального типу ЕНЦВ (Рисунок 33) з регульованим діапазоном продуктивності $Q_n=1,8 \div 152$ метрів кубічних на годину та напором $H_n=0,16 \div 2,2$ мегапаскаль.

Так як глибина ствола дорівнює 190 метрів, то при тиску води по ньому самопливом можуть виникнути гідравлічні удари. Тому на поєднанні стовбура з відкатним горизонтом слід передбачити мембранний редукційний клапан марки КР-1М.



Рисунок 33 - Насос ЕЦВ 6-25-100 занурювальний для води

ВИСНОВКИ

Насамкінець слід зазначити, що розробка систем автоматичного регулювання (САР) продуктивності насоса демонструє значні переваги з погляду підвищення ефективності процесів, точності контролю та забезпечення безпеки. Впровадження автоматизованих технологій сприяє усуненню необхідності в ручному управлінні, тим самим мінімізуючи ризик виникнення помилок, пов'язаних із людським фактором, та забезпечуючи стабільний та оптимізований потік передачі нафти.

Завдяки інтеграції сенсорів та алгоритмів керування, автоматична система здатна безперервно моніторити та регулювати параметри насоса. Це дозволяє здійснювати точне регулювання швидкості подачі, запобігаючи як навантаженню, так і недовантаженню, а також забезпечуючи відповідність процесу встановленим технічним вимогам.

Крім того, дана система надає можливість збирання та аналізу даних у реальному часі, що дозволяє більш ефективно оцінювати робочі характеристики насоса. Отримана інформація може бути використана для покращення технологічних процесів, проведення профілактичного обслуговування та підтримки прийняття управлінських рішень, що автоматично сприяє зростанню продуктивності та зниженню експлуатаційних витрат.

Таким чином, впровадження систем автоматичного управління продуктивністю насосів надає широкі перспективи для оптимізації та підвищення ефективності різних галузей, включаючи нафту видобувну промисловість, виробничий сектор.

ПЕРЕЛІК ЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1 Білецький, Володимир Стефанович. Історія та перспективи нафтогазовидобування: навч. Посібник/В.С. Білецький, Г.І. Гайко, В.М.Орловський; нту "хпї", нтуу "кпї", хнумг. - 2-ге вид., Віпр. Та дод. -Львів: новий світ - 2000, 2019. - 302 с. - ISBN 978-617-7519-33-0.

2 Орловський, віталій Миколайович. Технологія розробки нафтових родовищ: навч. Посібник/в. М. Орловський, ст. С. Білецький, ст. Г. Вітрик; хнумг, нту "хпї". – львів: новий світ – 2000, 2020. – 244 с. – (вища освіта в Україні). - isbn 978-617-7519-55-2

3 Посилання: <https://gidromash.ua/ua/nasosi-promislova-grupa/nasosi-dlya-nafti/nasosi-dlya-nafti.html>

4 Електропривод: підручник/Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченка, п.і. Савченко, О.Ю. Синівський, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенка; за ред. Ю.М. Лавріненка. Видавництво «ЛІРА-К». - К., 2009. - 504 с.

5 Марущак Я.Ю .синтез електромеханічних систем із послідовним та паралельним корегуванням: навчальний посібник. – львів, видавництво ну „львівська політехніка”, 2004. – 312 с.

6 Моделювання електромеханічних систем: підручник / [Чорний О.П., Луговий О.В., Родькін д.й., Сісук Г.Ю., Садовий О.В]. - Кременчук, 2001. - 410 с.

7 Півняк Г.Г. сучасні частотно – регульовані асинхронні електроприводи з широтно – імпульсною модуляцією: монографія / м.р. півняк,о.в. вовків.- дніпропетровськ: національний гірничий університет, 2006. - 470 с.

8 Гандзюк м. П., желібо є. П., халімовський м. О. Г. Основи охорони праці: підруч для студ вищих навч закладів за ред. М. П. Гандзюка – до каравела, 2004 – 408 з

9 Серіков Я.О., Коженевські, Л.Ф., Хворост, М.В. Безпека життєдіяльності та охорона праці: підручник : Ч.1: Безпека життєдіяльності.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М.
Бекетова, краків: ISBN 978-966-695-529-9