

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр .

(ступінь вищої освіти)

на тему **Синтез системи автоматичного керування процесом фільтрації напоїв на базі мікропроцесорної техніки**

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Іваненко О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кожушко Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 рік

## ЗМІСТ

	стор.
<b>ВСТУП</b>	6
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b>	
1.1 Класифікація пива	8
1.2 Аналіз сучасних технологій виробництва пива	17
<b>РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА</b>	
2.1 Вибір приводного електродвигуна	26
2.2 Розрахунок параметрів електродвигуна	28
2.3 Розрахунок параметрів схеми заміщення асинхронного електродвигуна	29
2.4. Побудова природних електромеханічної та механічної характеристик	33
2.5 Визначення можливих варіантів та обґрунтування вибору виду перетворювача електричної енергії	35
2.6. Вибір перетворювача частоти	36
2.6.1. Вибір закону частотного скалярного керування для заданого механізму	37
2.6.2. Розрахунок сімейства механічних та електромеханічних характеристик при зміні частоти	37
2.7 Прямий пуск двигуна	41
2.8. Розробка імітаційних моделей електроприводу зі скалярним керуванням	44
2.9. Одномасова механічна система із реактивним навантаженням	46
2.10. Імітаційна модель задатчика інтенсивності з S-подібною характеристикою	47
2.11. Модель частотно-регульованого асинхронного електроприводу насоса зі скалярним керуванням	49
2.12. Параметри силового каналу електроприводу насоса	49
2.13. Дослідження електроприводу зі скалярним керуванням	50

**РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА**

3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації	56
3.2 Опис алгоритму керування	57
3.3 Опис функціональної схеми автоматизації	58
3.4 Вибір і обґрунтування засобів вимірювання	62
3.5 Вибір і обґрунтування мікропроцесорної техніки	68

**РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА**

4.1. Техніко-економічне обґрунтування	87
4.2 Визначення витрат на удосконалення САК фільтрації напоїв	87
4.3 Розрахунок річного фонду роботи вузла фільтрації напоїв	89
4.4 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності	90
4.5. Розрахунок поточних річних витрат	91
4.6 Розрахунок вартості машино–години роботи вузла фільтрації напоїв	93
4.7. Розрахунок вартості технологічної операції на одиницю продукції	94
4.8 Розрахунок економічного ефекту від проведення автоматизації	94

**ВИСНОВКИ**

96

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

97

**ДОДАТКИ**

## ВСТУП

Актуальність. Алкогольні та слабоалкогольні напої не є продуктами першої необхідності, але вони реально існують вже багато тисячоліть. Пиво – старовинний слабоалкогольний ячмінно-солодовий напій, що володіє приємною гіркотою, ароматом хмелю, здатністю спінюватися при наповненні келиху і довгий час утримувати на поверхні шар компактної піни. Пиво є напоєм, який придбав популярність завдяки своїм органолептичним властивостям і здатності угамовувати спрагу. Крім того, пиво має живильну цінність, тому є відповідним доповненням до живлення.

Жоден напій в світі так не гріє і не охолоджує розуми, як пиво, яке варять більше 8000 років. Досліджено, що у світі щорічно випивається більше 800 млн. гектолітрів цього напою, причому тільки в Німеччині випивається 120 млн. гектолітрів пива в рік.

Найбільшими світовими пивними ринками є США та Німеччина. Країною з найбільшим споживанням пива на душу населення є Чехія – 161,2 л на душу населення за попередній рік.

Найбільшими світовими країнами-виробниками пива є Китай, США, Німеччина, Росія, Україна та Бразилія. Особливо інтенсивно зростає виробництво напою в Китаї та Росії.

Зазначимо, що у 2020 році Україна вийшла на четверте місце в світі по виробництву пива, збільшивши його випуск на 9,8 %. Вона відтіснила на п'яте місце Бразилію, проте поки що поступається Китаю, США та Німеччині. У минулому році Китай також істотно збільшив обсяги виробництва пива на 14,7%, довівши загальний об'єм майже до 35,2 л на душу населення.

Існує безліч сортів та видів пива. Пиво має дуже різноманітний асортимент за смаковими якостями. Кожен регіон впевнений, що він варить найкраще пиво у світі.

Пиво п'ють з найрізноманітніших ємкостей: кухоль, стакан, келих, пляшка, банка тощо.

Узагальнюючи всі способи варіння пива, сучасна технологія виробництва включає наступні етапи: підробіток солоду; затирання сусла; фільтрація затору; кип'ятіння сусла; освітлення сусла; охолодження і аерація сусла; бродіння; фільтрація пива; пастеризація.

Фільтрація фактично є останньою стадією виробництва пива, однак вона найважливіша за інші етапи. Пиво фільтрується від залишків дріжджів, використовуючи наливні Кізельгурові фільтри, керамічні, фільтри-преси, а також сепаратори. Деякі методи фільтрації знищують мікрофлору пива і збільшують цим термін його зберігання, що важливо з економічної точки зору при великих обсягах виробництва.

Особливу увагу слід приділити побудові системи автоматизації ділянки фільтрації пива, зокрема забезпечити необхідну точність вимірювання технологічних параметрів, а також надійність системи і якість регулювання. Застосування сучасних мікропроцесорних засобів дозволяє забезпечити виконання даних вимог.

Таким чином, метою даної магістерської роботи є розробка системи автоматизації технологічного процесу фільтрації пива на базі мікропроцесорної техніки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- вивчити технологічний процес;
- розробити алгоритм керування;
- розробити функціональну схему автоматизації;
- вибрати і обґрунтувати засоби вимірювання;
- вибрати і обґрунтувати інтелектуальні датчики;
- вибрати і обґрунтувати ПЛК і модулі введення-виведення.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Класифікація пива

Пиво сьогодні варять практично скрізь. Простіше назвати держави, де його не виробляють. У світі виготовляється величезна кількість сортів та видів пива, підрахувати які практично неможливо – за оцінками експертів, сьогодні існує понад 20000 сортів та 180 видів. Розрізняються і традиції споживання пінного напою у різних країнах – вони залежать від безлічі факторів: природних, історичних, соціальних, політичних, економічних [8].

Немає єдиної світової класифікації пива – в даний час час застосовуються кілька класифікацій, заснованих на різних принципах.

У Європі за основу класифікації взято щільність суслу (простіше кажучи, густина суміші води та солоду, з якої варять пиво). В залежності від щільності суслу, розрізняють 4 види пива: просте, розливне, цільне та міцне. Класифікація представлена на рисунку 1.1 [7].

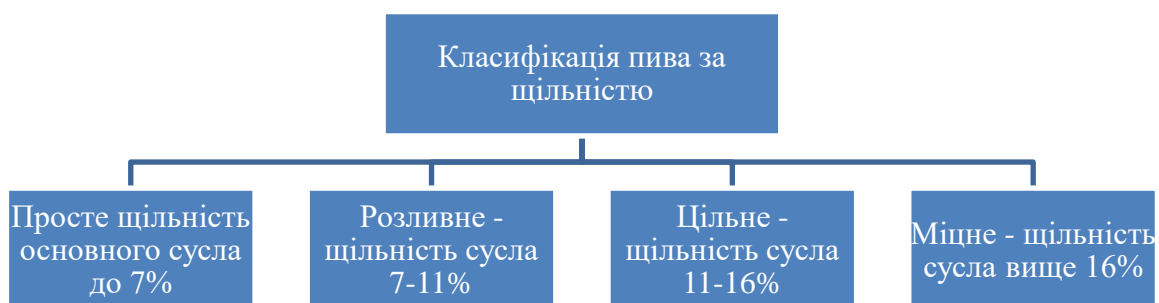


Рисунок 1.1 – Класифікація пива за густиною суслу

– Просте – щільність основного суслу до 7 % (міцність 0,5 – 1,5 % об.). Може бути темним та світлим, без яскраво виражених особливостей.

–Розливне – щільність суслу 7 – 11 % (міцність 0,5 – 2,8 % об.). До цього виду відноситься, наприклад, Berliner Weisse (берлінське біле).

–Цільне – щільність суслу 11 – 16 % (міцність 0,5 – 7 % об.). Понад 90% пива, представленого на ринку – цільне. До цього виду нерідко відносять

пиво зниженої калорійності та безалкогольне. Іноді з цільного пива виділяють п'ятий вигляд – легке цільне та безалкогольне – з щільністю суслу 6 – 12% (міцність 0,3 – 3% об.).

–Міцне – щільність суслу понад 16 % (міцність 5 – 12 % об.). У нього насичений та багатий смак.

Однією з класифікацій сортів пива є спосіб бродіння дріжджів, інформація представлена рисунку 1.2 [9].



Рисунок 1.3 – Класифікація пива за способом бродіння

Згідно з нею, більшість сортів за способом бродіння можна віднести до лагерю чи елю. Ель зброджується при відносно високій температурі (15 – 25°C) з використанням дріжджів «верхового бродіння» (вони залишаються після ферментації на поверхні пива – звідси і назва). Елі часто мають фруктовий присмак, зазвичай у них підвищений вміст спирту.

Існує кілька різновидів елю, інформація представлена на рисунку 1.4.

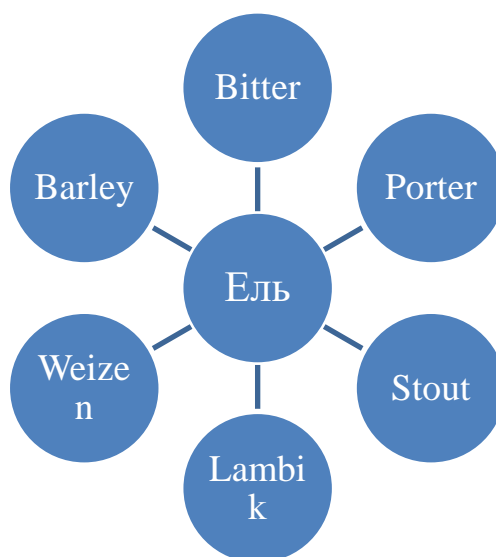


Рисунок 1.4 – Різновиди пива ель

Серед них найпоширеніші:

- Bitter (гірке). До цієї групи належать кілька сортів з кольором від світло-жовтого до світло-коричневого (палевого). Усі вони сухі, з помітною гіркватістю (післямак) і популярні як пляшкові сорти.

- Barley Wine (ячмінне вино). Абсолютно незвичайний сорт з дуже високим вмістом алкоголю та високою щільністю. Має темний гранатовий колір та винний смак.

- Porter (портер). Темне міцне щільне пиво із сильним хмелевим смаком.

- Stout (стаут). Група найтемніших сортів, виготовляється з суміші звичайного та обсмаженого солоду та має сильний хмільний смак. Stout – переважно англійський та ірландський напій та, в основному, більше ніде не вариться.

- Lambic (ламбик). Один з видів елю, що готується в деяких областях Бельгії. Розчин солоду виставляється на відкрите повітря – і процес бродіння відбувається за допомогою «диких» дріжджів, що знаходяться у повітрі.

- Weisse (біле). Берлінське пшеничне пиво верхнього бродіння з невеликим вмістом алкоголю. Готується із 25 % пшеничного солоду. Дуже



піниться, має кислий смак, викликаний бродінням за участю бактерії молочної кислоти.

– Weizen, Weiss (пшеничне). Пиво Південної Німеччини, 50 – 6 7% пшеничного солоду. Зазвичай це світле пиво, але готують і темне (dunkel weizen). Деякі марки пшеничного пива доброжують у пляшках (hefeweizen), у ньому дріжджовий осад залишається у зваженому стані.

Пшеничне пиво містить мало хмелю та має аромат гвоздики від спеціального виду дріжджів [23].

Лагер – найпоширеніший у світі тип пива. При приготуванні лагера використовуються дріжджі «низового бродіння» (вони знаходяться на дні). Лагер зброджують за відносно низьких температур (5 – 15°C), після чого тривалий час витримують при температурі близько 0°C. У цей час проходить повільна вторинна ферментація, внаслідок чого напій освітлюється та насичується вуглекислим газом. Іншими словами, при приготуванні «лагера» використовують швидше технологію виробництва вина. Найбільш поширені у світі кілька різновидів «лагера», інформація представлена рисунку 1.5.

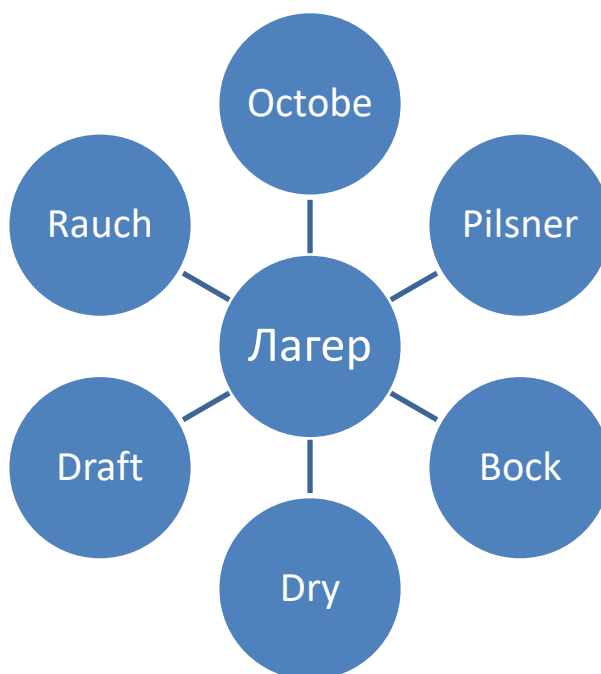


Рисунок 1.5 – Різновиди пива лагер

– Pilsner або Pils (пилзнер). Вперше був приготовлений у місті Пльзень у Чехії і став першим прозорим пивом в історії пивоваріння. Низької щільності, світло-жовте.

– Bock (бок). Традиційно готується у Німеччині наприкінці збирання врожаю, коли і ячмінь, і хміль мають «повну силу». Пиво відстоюється протягом усієї зими і є основним напоєм на свято весни. «Бок» буває світлим (helles) та темним (dunkles). Найбільш міцне називають «подвійним» (doppelbock).

– Octoberfest/Maerzen (жовтневе/березневе). Бурштинове міцне мюнхенське пиво. Готується у березні, а вживається у жовтні – під час щорічного фестивалю «Октоберфест».

– Rauch (копчене). Пиво з копченим присмаком, який додає пиво солод, засмажений на вогні від букових дров. Поширено у районі Бамберга в Німеччині. Подається виключно до копченого м'яса або шашлику, з житнім хлібом та гострим сиром.

– Dry (сухе). Легке пиво, в якому весь цукор, що зброджуються з солоду перетворюються на алкоголь. Для цього типу береться менше солоду. Має низьку початкову щільність і мав би дуже слабкий аромат, якщо б не велика кількість хмелю. Було впроваджено в Німеччині та Швейцарії в 1970-х роках як пиво для діабетиків.

– Draft/Draught (драфт). Значить «пиво з бочки», не пастеризується. Деякі заводи розливають його в банки чи пляшки, але транспортують у холодильних контейнерах або піддають тонкому очищенню, що замінює пастеризацію.

– Ice Beer (крижане). Легке пиво, яке після закінчення варіння, але до фінального бродіння, швидко охолоджують майже до температури замерзання. Кристалики льоду, що утворилися, видаляються і виходить напій з майже подвійним вмістом алкоголю порівняно з іншими типами легкого пива [8].

Сорти пива мимовільного бродіння

Ламбiк – бельгiйське пиво мимовiльного бродiння. Для приготування ламбiку використовується ячмiнний солод та непророщенi зерна пшеницi. Хмiль, що використовується для виробництва ламбiка, повинен вилежати не менше трьох рокiв для зменшення аромату та гiркоти, небажаних для ламбiка [7].

Пiсля варiння сушло перекачується у виннi бочки. Бродiння вiдбувається за рахунок бочок, що знаходяться на стiнках, i в повітрі мiкроорганiзмiв, переважно диких дрiжджiв. Основне бродiння триває тиждень. Потiм пиво витримується протягом кiлькох рокiв [24].

Витриманий кiлька рокiв сушений хмiль.

Як правило, ламбiк, що продається, являє собою сумiш рiзних його сортiв. Зазвичай молодi сорти змiшуються з бiльш витриманими для отримання бажаного смаку.

Головною особливiстю ламбiкiв є так зване спонтанне зброджування пивного сушла. Це означає, що при виробництві ламбiкiв не використовуються спецiально доданi культури пивних дрiжджiв.

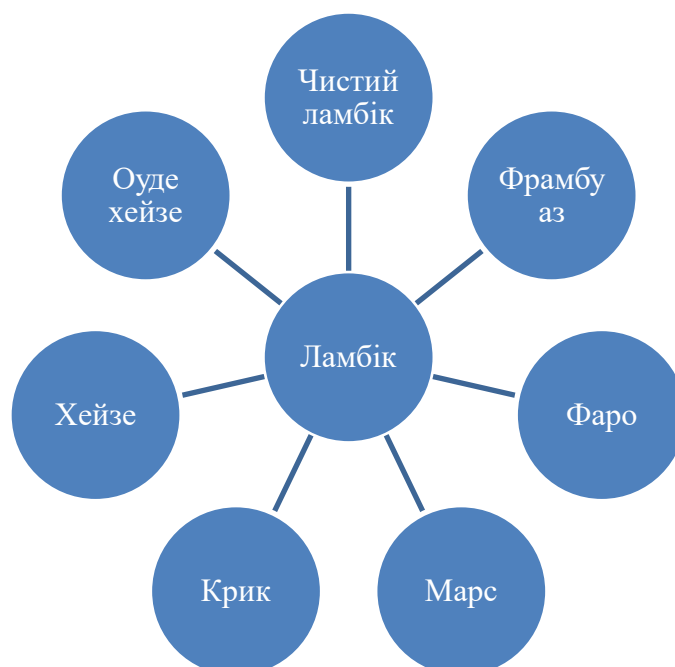


Рисунок 1.6 – Рiзновиди ламбiка

– Чистий ламб'ік – негазований сорт пива, не змішаний з іншими сортами, що витримується, як правило, протягом трьох років. Продається на розлив у місцях свого приготування, лише у кількох пивоварнях. Бутильований ламб'ік виробляє пивоварня Кантильйона під назвою Grand Cru Bruocsella.

– Хейзе (з.-флам. Gueuze) – суміш (бленд) молодого однорічного ламб'іка з більш витриманими дво- та трирічними сортами. Гойзе піддається вторинному бродінню, тому що однорічні сорти ще не до кінця ферментовані.

– Оуде хейзе (з.-флам. Oude Gueuze) – старий ламб'ік, 1-3-5-10 років витримки.

– Марс (з.-флам. Mars) – традиційно слабше пиво, яке більше не виробляється. У 1990 році броварня Боон (з.-флам. Brouwerij Boon) зварила сучасний Марс із вмістом алкоголю 2%, але на це час виробництво зупинено.

– Фаро (з.-флам. Faro) – солодке пиво з низьким вмістом алкоголю та цукру. Виготовляється як суміш ламб'іка з набагато легшим пивом (необов'язково ламб'іком) із додаванням коричневого цукру. Іноді додаються деякі трави.

– Крик (з.-флам. Kriek) – ламб'ік з додаванням свіжої вишні в процесі пивоваріння

– Фруктовий ламб'ік – ламб'ік з додаванням свіжих фруктів (але не вишні) у процесі пивоваріння – використовуються малина, полуниця, персик, чорна смородина, виноград. При цьому традиційно можливо використання як шматочків фруктів, доданих у період додаткового бродіння, і фруктового сиропу. Значно рідше використовуються яблука, банани, ананаси, абрикоси, сливи чи лимони. Фруктові ламб'іки є одним з найвідоміших бельгійських пивних продуктів. При цьому можливі винятки із правил – так, фруктове пиво від пивоварні Ліфманс (Liefmans) виготовляється з елю.

– Фрабуаз (фр. Framboise – малина) – малиновий ламб'ік, сорт фруктового ламб'іка (нім. Frambozenbier) [9].

Особливе пиво.

Американська класифікація виділяє також «гібридні сорти» – їх приготування пов'язане з комбінуванням інгредієнтів та технологій, характерних для різних типів пива.

До категорії «особливі сорти» відносяться види пива, незвичайного складу або з різними добавками, а також споріднені напої на основі бродіння [22].

Однак деякі сорти пива в Європі не вписуються в таку класифікацію і виділяються у самостійні групи: наприклад, пшеничне пиво.

Пшеничне пиво – крім наявності пшеничного солоду відрізняється тим, що для його приготування використовують метод доброжування в плящі. Як правило, пшеничне пиво подається нефільтрованим, тому замість назви Weizenbier (пшеничне) використовують Weissbier (біле) [7].

Вважається, що пшеничне пиво – найкраще літнє питво, бо воно добре вгамовує спрагу в спеку. Однак і взимку його випити досить приємно. Це ігристий напій, що вскипає рясною піною і пахнучим чаєм майже парфумерним ароматом, у якому відчуваються цитрусові відтінки [8].

Безалкогольне пиво – категорія пива із вмістом алкоголю 0,2–1,0 %. Було розроблено у 1970-х роках. Призначено насамперед для людей, які не можуть вживати звичайне пиво за станом здоров'я або іншим причинам, наприклад, водіїв. Містить менше калорій, ніж традиційне пиво [9].

Існує кілька технологій одержання безалкогольного пива. Є, наприклад, метод вакуум-дистиляції – спирт, що міститься в звичайному пиві, видаляють, використовуючи низьку температуру його кипіння. Інший метод – зниження вмісту спирту шляхом застосування особливих дріжджів, що перетворюють мальтозу на алкоголь. Є метод зупинення процесу бродіння зниженням температури суслу [23].

Через складнішу технологію виробництва безалкогольного пива, його вартість частіше вища, ніж у звичайного.

Пиво за кольором та солодом

Класифікація пива за кольорами поширена в деяких європейських країнах – наприклад, в Іспанії та в Україні. Розрізняють темне, світле, червоне та біле пиво.

При виготовленні темного пива використовується смажений солод. Кольоровість напою визначається ступенем обсмаженості солоду та кількістю темного солоду, що використовується при варінні. Найбільш темні сорти солоду не можуть використовуватись самостійно без світлих сортів – оскільки при обсмажуванні втрачають ферменти, необхідні для оцукрювання сусла [8].

Найбільш поширені види темного солоду: «Мюнхенський», «Віденський», «Карамельний», «Шоколадний», «Палений». Чіткого зіставлення кольорів та класифікації за способом бродіння немає: темним можливо бути як ель, так і лагер. Традиційно пиво вариться на основі ячменю, але у деяких сортах пива ячмінний солод частково замінюється на інші зернові (солод або непророщені зерна):

- пшеничне;
- житнє;
- рисове;
- кукурудзяне.

Існують також екзотичні сорти, які повністю не на основі ячменю. У більшості випадків ці сорти з традиційної європейської точки зору важко назвати пивом [7].

Різноманітність сортів пива вражає, кожна країна славиться своїм особливим «хмільним напоєм». Окрім традиційних сортів, сьогодні виробники дивують новими видами, винаходячи кольорове, фруктове або навіть молочне пиво.

Звичайно, пиво краще пити розливне (свіжозварене), а не бутильоване. Якщо вам пощастило побувати в тих країнах, де традиційно існують пивоварні – не відмовте собі в задоволенні випробувати кухоль справжнього ароматного елю або келих живого «білого» пива [9].

Крафтове пиво.

Крафтове пиво (Craft beer) – це будь-яке пиво, зварене не в промислових масштабах, а на маленькому пивному виробництві часто за власними рецептами для особистого вживання та творчої самореалізації. Багато відомих сьогодні крафтових пивоварів починали з власних кухонь чи сараїв із встановленим там обладнанням. Нерідко люди навіть не відкривають приватних пивоварень, а орендують готові цехи, де і варять пиво за авторськими рецептами та традиційними технологіями. Живе пиво – повсякденний термін, що зазвичай позначає нефільтроване та непастеризоване пиво. При цьому в технічних регламентах дана категорія відсутня, тому як саме поняття живого пива, так і вимоги до технології виробництва визначають самі виробники. За заявами виробників, через незастосування пастеризації відрізняється малим терміном зберігання (близько одного тижня), тому і торгують ним зазвичай або поруч прилеглих пивних або біля одного регіону [7].

Крім того, словосполучення «живе пиво» іноді зв'язується з технологією bottle conditioning, коли напій по закінченні головного бродіння відразу розливають по пляшках, де пиво і дозріває. Таке пиво зберігається довго без пастеризації та фільтрації. Окремі стилі пива при цьому з витримкою значно змінюються і ускладнюються в смаку.

Популярність «живого» пива багато в чому зобов'язана маркетинговій політиці дрібних незалежних пивоварень, які активно освоюють цю нішу. Просування засноване на протиставленні якості своєї продукції великих компаній масового сегмента ринку.

## 1.2 Аналіз сучасних технологій виробництва пива

Тривожна тенденція зростання «пивного алкоголізму» серед молоді різних країн, що не знижується державними заборонними заходами та створенням фінансових бар'єрів для споживачів, змушує шукати технологічні

методи створення повноцінних смако-ароматичних та малотоксичних напоїв, що становлять для споживачів альтернативу споживання міцних напоїв.

Продукти з новими характеристиками можуть виготовлятися за рахунок зміни рецептури та технологічних процесів. Розглянемо кілька патентів, метою яких є створення пива з лікувально-профілактичними властивостями, шляхом впровадження нових компонентів у склад продукту та зміни технологічних процесів [8].

Спосіб вироблення ароматизованого світлого пива за допомогою екстрагування рідким азотом.

Винахід відноситься до технології пивоваріння. Спосіб передбачає змішування меліси лимонної та хмелю та екстрагування отриманої суміші рідким азотом з відділенням відповідної місцели, різання та сушіння в полі НВЧ при заданих параметрах процесу кореня кульбаби, змішування кореня кульбаби і солоду, просочення отриманої суміші відділеної місцелю з одночасним підвищенням тиску значення, що відповідає тиску насичених парів азоту при температурі просочення, скидання тиску до атмосферного з одночасним заморожуванням суміші, її кріоподрібнення в середовищі азоту, що виділився, заливку питною водою та оцукрювання з отриманням сусла, внесення до нього пивних дріжджів, зброджування та фільтрування з отриманням цільового продукту. Винахід дозволяє скоротити тривалість технологічного процесу та підвищити стійкість піни цільового продукту.

Спосіб виробництва пива з гепатопротекторними властивостями.

Гепатопротектори – фармакотерапевтична група різнорідних вітчизняних лікарських засобів, які, у вітчизняній практиці, перешкоджають руйнуванню клітинних мембран та стимулюють регенерацію гепатоцитів, тим самим надаючи позитивний вплив на функції печінки. Гепатопротектори підвищують стійкість печінки до патологічних впливів, що посилюють її детоксикаційну функцію шляхом підвищення активності ферментних систем, а також сприяють відновлення її функцій при різних пошкодженнях [9].



Винахід відноситься до пивоварної промисловості, а також до способу виробництва нового високоякісного світлого пастеризованого пива з лікувально-профілактичними властивостями

Істотним недоліком прототипу є те, що пиво при частотному вживанні викликає захворювання печінки через вплив на неї алкоголю і викликає у чоловіків захворювання передміхурової залози, що веде за собою зниження потенції та дітонароджуваності.

Завданням пропонованого винаходу є підвищення споживчих властивостей та отримання нового оригінального сорту вітчизняного пива високої якості з відмінною смаковою гамою та лікувально-профілактичними властивостями

У збірники готового, відфільтрованого пива вносять аскорбінову кислоту (5 – 7 г/л), потім додають фітопрепарат «Лохеїн» (14 – 25 мл/л), що володіє гепатопротекторними властивостями, витримують пиво не менше 6 годин, потім реалізують та пастеризують. Після додавання до готового пива аскорбінової кислоти вносять водно-спиртовий розчин екстракту рослини солянки пагорбової у кількості, що не знижує якісні показання пива у процесі зберігання.

З метою прискорення доброжування пива, що супроводжується зміною деяких продуктів метаболізму дріжджів, що призводить до покращення смаку та аромату пива, а також підвищення лікувально-профілактичних властивостей пива, термін зберігання пива препарат у кількості від 10,0 мл до 45 мл/л вноситься в молоде пиво на стадії доброжування [9].

«Лохеїн» являє собою водно-спиртове вилучення з надземної частини рослини з сімейства маревих (солянка пагорба) вмістом до 3% сухих речовин. Діючими речовинами препарату є бетаїни, алкалоїди, фенолдікарбонові кислоти та стеринові глікозиди, сепанини, каротиноїди, флаваноїди, токофероли, холін, похідні кетокрбонових кислот, жирні кислоти, фенольні з'єднання, мікро- та макроелементи та ін.

Препарат сприяє нормалізації холестерину в крові та жовчі, що може бути використане для профілактики та лікування атеросклерозу та ішемічної хвороби.

Важлива особливість фітопрепарату – вияв високої антирадикальної активності. В експериментах на тваринах фітопрепарат виявив антиритмічну активність.

Сукупність дії компонентів препарату зумовлює його загальнозміцнюючу дію, що сприяє підвищенню працездатності та стійкості організму до несприятливих факторів зовнішнього середовища, що посилює тонізуючі властивості організму на фоні релаксації.

Токсикологічне вивчення препарату показало, що він позбавлений негативних імуноотропних та алергійних властивостей.

Клінічні спостереження показали, що фітопрепарат в інтервалі концентрації від 0,45 мл до 45 мл виявляє велику терапевтичну активність. Цей інтервал концентрації фітопрепарату був використаний для визначення його впливу на колоїдну стійкість пива, тобто препарат вносився безпосередньо у готове пиво. Виявилось, що концентрація фітопрепарату від 0,45 мл до 1,5 мл у 500 мл пива не змінює його колоїдну стійкість.

Подальше збільшення частки препарату, що вноситься в готове пиво, викликає утворення колоїдів та випадання їх в осад під час зберігання. Зі збільшенням вмісту «Лохеїну» знижується час зберігання пива без помутніння [23].

Спосіб виробництва пива з використанням топінамбуру.

Винахід відноситься до харчової промисловості до галузі отримання нових сортів пива з лікувально-профілактичною спрямованістю.

Завданням цього винаходу є розширення діапазону використання топінамбуру (земляна груша, *Helianthus tuberosus* L.) у вигляді сухого порошку з різних частин рослини, що дозволяє одержувати продукти з біологічно активними властивостями, тобто лікувально-профілактичної спрямованості.

Сутність винаходу полягає в тому, що топінамбурна добавка у формі порошку з різних частин рослини вводиться на різних стадіях виробництва пива: затирання солоду, варіння суслу з хмелем (охмелення), бродінні, доброжуванні пива, фільтрації дозрілого пива.

Винахід реалізується також за рахунок використання сухого топінамбурного порошку з різних частин рослини, так і за рахунок використання порошку топінамбуру, отриманого з водних екстрактів шляхом зневоднення.

На відміну від відомих заявляючий спосіб реалізує можливості не за рахунок додаткових природних компонентів, що мають схожість хімічного складу з хмелевою ефірною олією, а за рахунок природних полісахаридних фракцій інулінової природи в комплексі з мікроелементами та біоактивними білковими компонентами, що й забезпечує отримання продукції лікувально-профілактичної спрямованості.

Також заявлений спосіб за рахунок застосування порошку топінамбуру в вигляді добавки дозволяє значно розширити діапазон використання як бульб топінамбуру, так і його надземної частини у виробництві пива різних сортів.

Заявлене технічне рішення апробовано та реалізовано в промислових умовах. Також, вперше визначено шляхи створення нових сортів пива з використанням топінамбуру як світлих, так і темних сортів, де поряд із харчовою цінністю слабоалкогольного напою, нові продукти набувають біологічно активних властивостей за рахунок введення природних напівцукоридів інулінової природи в комплексі з іншими біологічно активними компонентами.

Таким чином можна зробити висновок, що інноваційні підходи до виробництва пива є не тільки енергозберігаючими для підприємства, а також мають нові профілактичні властивості пива, з новими характеристиками.

Сучасне уявлення про якість засноване на принципі найбільш повного виконання вимог та побажань споживача, і цей принцип має бути закладено

основою проекти будь-якого виробу. Споживачем виробу може бути як окрема людина, і колективи людей – підприємства, організації чи суспільство загалом. Якість поняття комплексне, йому даються різні визначення. За визначенням EOQ (Європейської організації з якості) – це рівень відповідності продукції вимогам споживача. За визначенням стандарту ISO 9000:2000 «Системи якості – Основи та термінологія», якість – це ступінь, з яким сукупність власних характеристик виконує вимоги споживача». У міжнародному стандарті ISO 8402 значення якість позначається як сукупність характеристик об'єкта, що відносяться до його здатності задовольняти встановлені та передбачувані потреби [23].

У кожному разі потреби пов'язані з властивостями людської особи. Психіка людини дуже складна, і досить повних теорій потреб людини ще не побудовано. Тим не менш, зараз існує ряд теорій, що описують види та взаємини потреб, на підставі яких розробник виробів може діяти достатньо впевнено і досягати хороших практичних результатів.

Для виробника якість продукції є визначальною у всій виробничо-господарської діяльності, але при цьому процес підвищення якості має бути орієнтований на споживача [24]. При вирішенні цього завдання виробнику необхідно виконувати умови:

- виявляти споживачів та визначати їх вимоги до продукції;
- перетворити вимоги споживача на технічні умови;
- визначати етапи технологічного процесу виготовлення продукції, виробити критерії процесу;
- оцінювати результати та ступінь задоволеності споживача.

Інтереси виробника у підвищенні якості продукції укладаються в:

- просування своїх товарів на нові ринки, розширення частки ринку, обсягу продажу;
- підвищення продуктивності праці за рахунок усунення недоліків технологічних процесів;
- зниження рівня дефектності;

- зниження ризику втрат у період гарантійного обслуговування;
- отримання більш високого прибутку.

На жаль, зараз виробник найчастіше переслідує мету отримання найбільшого комерційного прибутку від свого товару, відсуваючи якість виробленого продукту на другий план. Закупується неякісна сировина, не дотримуються правил зберігання та виробничих процесів. Впроваджують замітники або низькоякісні аналоги компонентів, що входять до складу продукту.

Найціннішим у пиві є його смако-ароматичні характеристики. Отримання вищого балу за цими характеристиками неможливо, застосувавши в рецептурі порошкові екстракти, замітники та аналоги компонентів. Тільки пиво, виготовлене з якісної сировини та з дотриманням усіх технологій пивоваріння, буде користуватися попитом у споживачів.

Ці показники є індивідуальними для кожного сорту пива і є критерієм оцінки його споживчих властивостей. Пиво має бути прозорим, без осаду та сторонніх включень, мати чистий смак та аромат зброженого солодового напою з хмелевою гіркотою та хмелевим ароматом без сторонніх запахів та присмаків.

Прозорість. Пиво, налите в келих, має виробляти приємне враження та задовольняти естетичним вимогам. Пиво, що відпускається споживачеві, має бути прозорим. При перегляді через скло світле пиво має іскритися та давати блиск.

Кристалічна опалесценція обумовлена наявністю оксалату кальцію та повністю усувається при фільтруванні. Білкова опалесценція з'являється при переробці солоду зниженої якості, а також при порушенні режиму затирання та кип'ятіння суслу. При підлужуванні вона зникає. Клейстерна опалесценція залежить від повноти оцукрювання та виявляється у пробі з йодом [24]. Дріжджову та бактеріальну опалесценцію виявляють під час розгляду проби під мікроскопом.

На смак та аромат будь-якого сорту пива впливають, перш за все, інгредієнти (сировина, вода, добавки), з яких воно готується, технологічні процеси (режим затирання, кип'ятіння сусла з хмелем, спосіб зброджування та розлив), а також умови зберігання готової продукції пива.

Смак пива. Він повинне відповідати даному сорту пива та залишатися наскільки можна незмінним при тривалому зберіганні. Смак пива оцінюється за різними відчуттями, що виникають у смакових органах при дегустації у вигляді короткої послідовності окремих відчуттів, що переходять одне в інше, а потім загасають з меншою або більшою швидкістю.

В утворенні власного смакового відчуття безпосередньо бере участь і нюх. Інтенсивність смакового відчуття залежить від температури пива, від вмісту в ньому діоксиду вуглецю та від особистої схильності дегустатора.

Розрізняють чотири види відчуттів смаку: солодкий, кислий, гіркий, солоний.

Таблиця 1.1 – Фізико-хімічні показники якості пива [8]

Найменування показника	Екстрактивність початкового сусла											
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Об'ємна частка спирту, % не менше	2,8	3,2	3,6	4,0	4,5	4,7	4,8	5,4	5,8	6,2	6,6	7,1
Кислотність, к. од.	1–2,5		1,5–2,6		1,9–3,2		2,4–3,6		3,0–4,5		3,0–5,0	
Колір, ц. од.	0,2–2,5											
Масова частка двоокису вуглецю, %, не менше	0,4											

За фізико-хімічними показниками світле пиво має відповідати вимогам, зазначеним у таблиці 1.1. До фізико-хімічних показниками відносяться: колір (ГОСТ 12789-87 «Методи визначення кольору»)), кислотність (ГОСТ 12788-87 «Методи визначення кислотності»)), масова частка двоокису вуглецю, об'ємна частка спирту, піно-утворення: висота піни, і піностійкість.

Таким чином, споживач насамперед оцінює смако-ароматичні характеристики пива, а цей параметр залежить від екстрактивності початкового суслу, інакше кажучи, про вихід екстракту у воду. Чим якісніший буде вплив на затирання сусла, тим смачніше вийде пиво. Слід зазначити, що з великої кількості виходу екстракту може дещо змінюватися смак пива, з'явиться гіркота або зайво кислий присмак. Залежно від цього формується асортимент пива та споживач може вибрати будь-який напій на власний смак.

## РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Вибір приводного електродвигуна

Вибір приводного двигуна здійснюється відповідно до формули:

$$P_{ED} = K_3 \cdot \frac{g \cdot Q \cdot H}{\eta_n \cdot 3600}; \quad (2.1)$$

де:  $K_3 = 1,1$  – коефіцієнт запасу;

$g=9,81$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння;

$Q = 200$  м<sup>3</sup>/год – необхідна витрата системи;

$H = 36$  м – необхідний тиск;

$\eta_n=0,76$  – коефіцієнт корисної дії.

Відповідно до даних значень проводимо розрахунок:

$$P_{ED} = 1,1 \cdot \frac{9,81 \cdot 200 \cdot 36}{0,76 \cdot 3600} = 1,1 \cdot 25,81 = 28,4 \text{ кВт.}$$

Виходячи з отриманого результату, вибираємо асинхронний двигун серії ВА 180 М4 потужністю 30 кВт. Розшифруємо позначення ВА 180 М4:

ВА – асинхронний вибухозахищений двигун;

180 – габарит двигуна (відстань від вісі обертання до площини кріплення дорівнює 180 мм);

М – настановний розмір по довжині станини;

4 – кількість полюсів двигунів із синхронною частотою 1500 об/хв.

Зображення двигуна серії ВА 180 М4 представлено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Асинхронний двигун серії ВА 180 М4



Параметри цього двигуна представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри двигуна ВА 180 М4

Параметр	Значення
Номінальна швидкість обертання ротора, об/хв.	1460
Номінальна потужність $P_n$ , кВт	30
Вхідна напруга $U$ , В	380
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0,85
Номінальний струм $I_{1н}$ , А	59,3
ККД, %	90,5
Кратність пускового моменту $M_{п}/M_n$	1,7
Кратність максимального моменту $M_{макс}/M_n$	2,7
Кратність пускового струму $I_{п}/I_n$	7
Клас захисту	IP54
Динамічний момент інерції ротора, кг· м <sup>2</sup>	0,2
Маса, кг	234
Кліматичне виконання	У3

Режим роботи двигуна – S1 (тривалий).

Охолодження двигуна – примусове повітря.

Габаритно-приєднувальні розміри двигуна зображені рисунку 2.2.

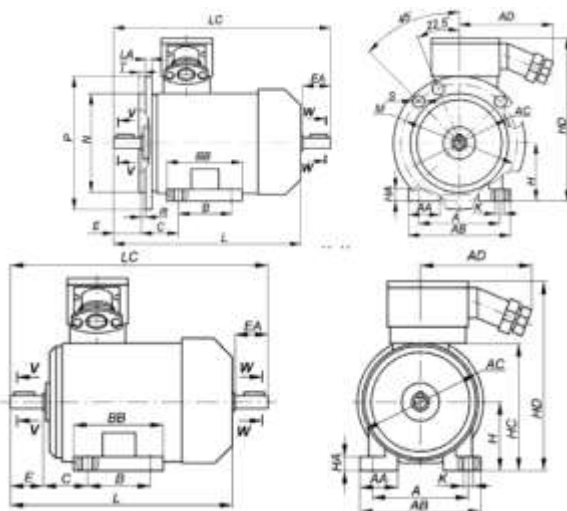


Рисунок 2.2 – Габаритно-приєднувальні розміри двигуна ВА 180 М4

Значення габаритних розмірів наведено у таблицях 2.2, 2.3, 2.4 та 2.5.

Таблиця 2.2– Габарити двигуна по корпусу

Габарит	L	MD	AC	C	LC	AD	H	HC
Значення	730	525	380	121	845	305	180	398

Таблиця 2.3– Габарити двигуна на валу

Габарит	F	D	GA	E	GC	FA	DA
Значення	16	55	59	110	52	14	48

Таблиця 2.4– Габарити двигуна по лапах

Габарит	HA	AA	K	A	AB
Значення	22	60	15	279	320

Таблиця 2.5– Габарити двигуна по фланцю

Габарит	P	N	M	S	LA	T
Значення	400	300	350	19	17	5

## 2.2 Розрахунок параметрів електродвигуна

Розрахунок синхронної кутової частоти обертання:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}; \quad (2.2)$$

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,1 \text{ рад} / \text{с}.$$

Розрахунок номінальної кутової частоти обертання:

$$\omega_{\text{дв.ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв.ном}}}{30}; \quad (2.3)$$

$$\omega_{\text{дв.ном}} = \frac{3,14 \cdot 1460}{30} = 152,9 \text{ рад} / \text{с}.$$

Розрахунок номінального ковзання:

$$S_H = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{об.ном.}}}{\omega_0} \cdot 100\%; \quad (2.4)$$

$$S_H = \frac{157 - 153}{157} \cdot 100 = 2,7\%.$$

Розрахунок номінального моменту:

$$M_{\text{дн.ном.}} = \frac{P_{\text{дв.ном.}}}{\omega_{\text{об.ном.}}}; \quad (2.5)$$

$$M_{\text{дн.ном.}} = \frac{30000}{152,9} = 196,22 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номінальна фазна напруга:

$$U_{1\phi\text{н}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}}; \quad (2.6)$$

$$U_{1\phi\text{н}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

Номінальний струм статора при з'єднанні обмоток за схемою «зірка»:

$$I_{1\phi\text{н}} = I_{1\text{лн}} = I_{1\text{н}} = \frac{P_{\text{дв.ном.}}}{3 \cdot U_{1\phi\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}}; \quad (2.7)$$

$$I_{1\phi\text{н}} = I_{1\text{лн}} = I_{1\text{н}} = \frac{30000}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,92} = 59,09 \text{ А}.$$

2.3 Розрахунок параметрів схеми асинхронного заміщення електродвигуна

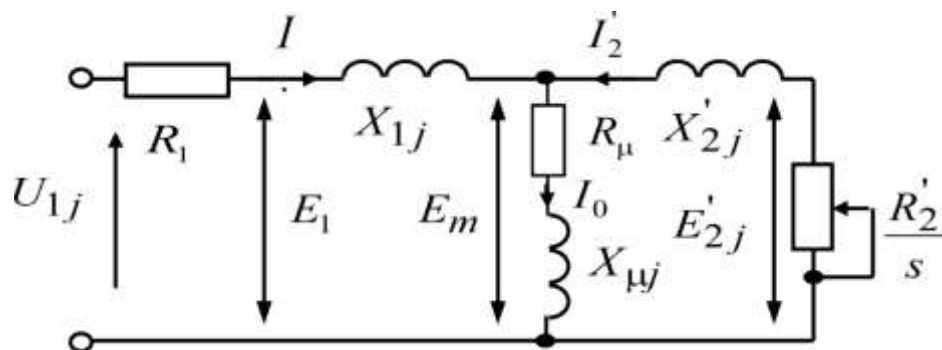


Рисунок 2.3 – Т-подібна схема заміщення АД

Проводимо розрахунок струму холостого ходу:

$$I_0 = \frac{\sqrt{I_{11}^2 - \left(p_{\text{жс}} \cdot I_{1\text{н}} \cdot \frac{(1 - S_{\text{н}})}{1 - p_{\text{жс}} \cdot S_{\text{н}}}\right)^2}}{1 - \left(p_{\text{жс}} \cdot \frac{(1 - S_{\text{н}})}{(1 - p_{\text{жс}} \cdot S_{\text{н}})}\right)^2}; \quad (2.8)$$

$$I_0 = \frac{\sqrt{50,69^2 - \left(0,86 \cdot 59,09 \cdot \frac{(1 - 0,027)}{1 - 0,86 \cdot 0,027}\right)^2}}{1 - \left(0,86 \cdot \frac{(1 - 0,027)}{(1 - 0,86 \cdot 0,027)}\right)^2} = 16,93 \text{ A.}$$

де:

$$I_{11} = \frac{p_{\text{жс}} \cdot P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{\text{ржс}} \cdot \eta_{\text{ржс}}}; \quad - \text{ струм фази статора при неповне}$$

завантаження;

$$I_{11} = \frac{0,86 \cdot 30000}{3 \cdot 220 \cdot 0,841 \cdot 0,92} = 51,37 \text{ A.}$$

$$p_{\text{жс}} = \frac{P}{P_{\text{н}}}; \quad - \text{ коефіцієнт завантаженості двигуна;}$$

$$p_{\text{жс}} = \frac{25,81}{30} = 0,86$$

$\eta_{\text{ржс}} = \eta_{\text{н}} = 0,905$  – прийнятий ККД при неповному завантаженні.

Коефіцієнт потужності при неповному завантаженні:

$$\cos \varphi_{\text{ржс}} = 0,989 \cdot 0,85 = 0,841.$$

Для подальшого розрахунку необхідно розрахувати коефіцієнти:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1\text{н}}}; \quad (2.9)$$

$$C_1 = 1 + \frac{16,93}{2 \cdot 7 \cdot 59,09} = 1,02.$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - S_{\text{н}})}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\text{мак}} \cdot P_{\text{н}}}; \quad (2.10)$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,027)}{2 \cdot 1,02 \cdot 2,7 \cdot 30000} = 0,855.$$

Визначаємо критичне ковзання:

$$S_k = S_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 \cdot 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)}; \quad (2.11)$$

де:  $\beta$  – коефіцієнт, чие значення лежить у діапазоні 0,6–2,5.

Приймаємо  $\beta = 2$ .

$$S_k = 0,027 \cdot \frac{2,7 + \sqrt{2,72^2 - (1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 2 \cdot (2,7 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot (2,7 - 1)} = 0,171.$$

Визначаємо активний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k}\right) \cdot C_1}; \quad (2.12)$$

$$R_2' = \frac{0,855}{\left(1 + \frac{1}{0,171}\right) \cdot 1,02} = 0,107 \text{ Ом.}$$

Розраховуємо активний опір обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta; \quad (2.13)$$

$$R_1 = 5,502 \cdot 0,171 \cdot 2 = 1,218 \text{ Ом.}$$

Знаходимо індуктивний опір короткого замикання  $X_{\text{кн}}$ :

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2'; \quad (2.14)$$

Де параметр  $\gamma$  має таке значення:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2}; \quad (2.15)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{0,171^2} - 2^2} = 5,502.$$

$$X_{\text{кн}} = 5,502 \cdot 1,02 \cdot 0,107 = 0,599 \text{ Ом.}$$

Для виділення значень індуктивного опору розсіювання обмотки ротора приведеної до статорної та індуктивного опору розсіювання обмотки статора з індуктивного опору розсіювання застосуємо наступні вирази:

Розрахунок індуктивного опору розсіювання роторної обмотки, наведений до статорної:

$$X'_{\sigma 2} = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1}; \quad (2.16)$$

$$X'_{\sigma 2} = \frac{0,58 \cdot 0,599}{1,02} = 0,34 \text{ Ом.}$$

Розрахунок індуктивного опір розсіювання статорної обмотки:

$$X_{\sigma 1} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}}; \quad (2.17)$$

$$X_{\sigma 1} = 0,42 \cdot 0,599 = 0,252 \text{ Ом.}$$

Знаходимо, наведену потоком повітряного зазору в обмотці статора в номінальному режимі ЕРС гілки намагнічування:

$$E_m = \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{1n})^2 + (U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} - X_{\sigma 1} \cdot I_{1n})^2}; \quad (2.18)$$

$$E_m = \sqrt{(220 \cdot 0,85 - 0,218 \cdot 59,09)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,85^2} - 0,252 \cdot 59,09)^2} = 201,32 \text{ В.}$$

Отже, індуктивний опір намагнічування має значення:

$$X_{\mu n} = \frac{E_m}{I_0}; \quad (2.16)$$

$$X_{\mu n} = \frac{201,32}{16,93} = 11,892 \text{ Ом.}$$

За наявними значеннями  $C_1$ ,  $R_2'$  та  $X_{\text{кн}}$  визначаємо критичне ковзання:

$$S_{k1} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}}; \quad (2.20)$$

$$S_{k1} = \frac{1,02 \cdot 0,107}{\sqrt{0,218^2 + 0,599^2}} = 0,171.$$

Індуктивність розсіювання статорної обмотки:

$$L_{\sigma 1} = \frac{X_{\sigma 1}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}; \quad (2.21)$$

$$L_{\sigma 1} = \frac{0,252}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 8,01 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Індуктивність розсіювання роторної обмотки, наведеної до статорної:

$$L'_{\sigma 2} = \frac{X'_{\sigma 2}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}; \quad (2.22)$$

$$L'_{\sigma 2} = \frac{0,34}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Індуктивність гілки намагнічування:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}; \quad (2.23)$$

$$L_{\mu H} = \frac{11,892}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,038 \text{ Гн.}$$

Розраховані параметри схеми заміщення зведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Параметри схеми заміщення електродвигуна

$R_1, \text{ Ом}$	$R_{\sigma 1}, \text{ Ом}$	$L_{\sigma 1}, \text{ Гн}$	$R_2', \text{ Ом}$	$R_{\sigma 2}', \text{ Ом}$	$L_{\sigma 2}', \text{ Гн}$	$R_{\mu H}, \text{ Ом}$	$L_{\mu H}, \text{ Гн}$	$R_{кн}, \text{ Ом}$
0,218	0,252	$8 \cdot 10^{-4}$	0,107	0,34	$1,1 \cdot 10^{-3}$	11,892	0,038	0,599

2.4 Побудова природних електромеханічної та механічної характеристик

Розрахунок природної електромеханічної характеристики

Вираз природної електромеханічної характеристики  $I_1(s)$  при частоті  $f_{1H}=50$  Гц матиме такий вигляд:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}; \quad (2.24)$$

де:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S}\right)^2}}; \quad (2.25)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2}}; \quad (2.26)$$

Побудована електромеханічна характеристика  $\omega(I_1)$  наведена на рисунку 2.4.

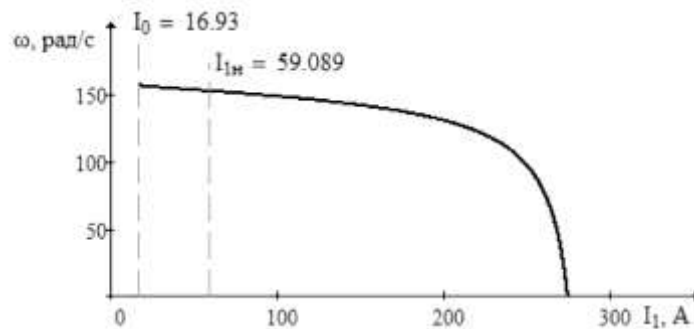


Рисунок 2.4 – Природна електромеханічна характеристика  $\omega(I_1)$

Розрахунок природної механічної характеристики

Вираз природної механічної характеристики  $M(s)$  при частоті  $f_{1H}=50$  Гц буде виглядати так:

За результатами розрахунку буде утворена природна механічна характеристика  $\omega(M)$  (рис. 2.5), де  $\omega = \omega_0 \cdot (1-s)$ .

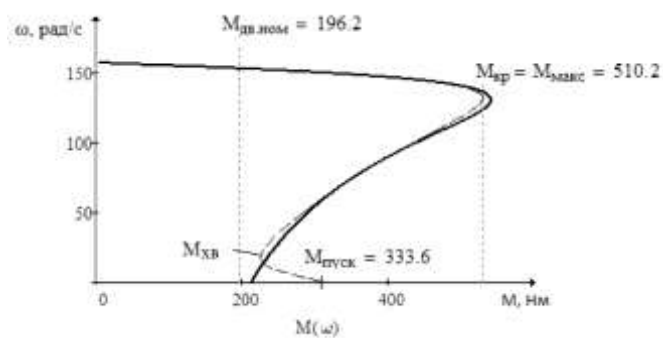


Рисунок 2.5 – Природна механічна характеристика електродвигуна  $\omega(M)$



Дані методи дозволяють побудувати електромеханічну характеристику, проте механічна характеристика виходить неточною. Це пов'язано з тим, що приймається ряд припущень і не враховуються багато факторів: магнітні та механічні втрати в двигуні становлять 2 % від його номінальної потужності, активні опори обмоток статорної та роторної приймаються незалежними від режиму роботи двигуна, ефекти витіснення, які впливають на характеристику асинхронного двигуна не враховуються.

Також, слід зазначити, що розбіжність отриманих під час розрахунків даних із паспортними, і побудованих за ними графіків (суцільний і пунктирний графік відповідно) викликано тим, що паспортні дані наведено для двигуна з насиченою магнітною системою, тоді як за даних розрахунках насичення не враховувалося.

## 2.5 Визначення можливих варіантів та обґрунтування вибору виду перетворювача електричної енергії

Застосування регульованого електроприводу забезпечує енергозбереження та дозволяє отримати нові якості систем та об'єктів.

Суттєва економія електроенергії досягається шляхом зміни технологічного параметра. Наприклад, якщо мова йде про транспортер або конвеєр, то з'являється можливість регулювати швидкість його руху. Якщо ж мова йде про насос або вентилятор, можна підтримати тиск і регулювати продуктивність. Якщо це верстат, можна плавно регулювати швидкість подачі чи головного руху.

Особливий економічний ефект використання перетворювачів частоти дає застосування частотного регулювання на об'єктах, які забезпечують транспортування рідин. Досі найпоширенішим способом регулювання продуктивності таких об'єктів є використання засувок або регулюючих клапанів, але сьогодні доступним стає частотне регулювання асинхронного

двигуна, що приводить у рух, наприклад, робоче колесо насосного агрегату або вентилятора.

## 2.6 Вибір перетворювача частоти

Вибираємо перетворювач частоти марки ІРБІ 823-30 (рис. 2.6) з наступними параметрами, наведеними в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Параметри перетворювача частоти

Тип	Параметри мережі живлення		Вихідна напруга $U_{и}, В$	Вихідна частота $\square_{и}, Гц$	Вихідний струм		Рекомендована потужність двигуна $P_2, кВт$
	$U_{1л}, В$	$\square_{с}, Гц$			$\square_{ін}, А$	$\square_{и макс.}, А$	
ІРБІ 823-30	3x380	50	380	0 ÷ 100	63	69,3	30



Рисунок 2.6 – Перетворювач частоти марки ІРБІ 823-30

При цьому мають виконувати такі умови:

$$I_{ин} \geq I_{1н}$$

$63A \geq 59 A$  – умова виконується.

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{н.дв}}$$

$380 B \geq 380 B$  – умова виконується.

2.6.1 Вибір закону частотного скалярного керування для заданого механізму

Так як у приводу відцентрового насоса навантаження має нелінійний характер, то приймаємо закон регулювання  $\frac{U}{f^3} = \text{const}$ .

Розрахунки будуть проводитися для наступних частот:

$$f_{1\text{н}}=50 \text{ Гц}; f_{11}=40 \text{ Гц}; f_{12}=30 \text{ Гц}; f_{13}=25 \text{ Гц}.$$

2.6.2 Розрахунок сімейства механічних та електромеханічних характеристик при зміні частоти

Проводимо розрахунок коефіцієнта пропорційності для вищезазначеного закону регулювання:

$$K = \frac{U_{1\text{н}}}{f_{1\text{н}}^3}; \quad (2.27)$$

$$K = \frac{220}{50^3} = 0,00176.$$

Розрахунок відповідних напруг, для заданих частот регулювання:

$$U_{11} = K \cdot f_{11}^3; \quad (2.28)$$

$$U_{11} = 0,00176 \cdot 40^3 = 112,64 \text{ В}.$$

$$U_{12} = K \cdot f_{12}^3; \quad (2.29)$$

$$U_{12} = 0,00176 \cdot 30^3 = 47,52 \text{ В}.$$

$$U_{13} = K \cdot f_{13}^3; \quad (2.30)$$

$$U_{13} = 0,00176 \cdot 25^3 = 27,5 \text{ В}.$$

Визначаємо відносні частоти напруги живлення:

$$f_{11*} = \frac{f_{11}}{f_{1H}}; \quad (2.31)$$

$$f_{11*} = \frac{40}{50} = 0,8.$$

$$f_{12*} = \frac{f_{12}}{f_{1H}}; \quad (2.32)$$

$$f_{12*} = \frac{30}{50} = 0,6.$$

$$f_{13*} = \frac{f_{13}}{f_{1H}}; \quad (2.33)$$

$$f_{13*} = \frac{25}{50} = 0,5.$$

Синхронні швидкості обертання двигуна, що відповідають заданим частотам регулювання:

$$\omega_{011} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{11}}{p}; \quad (2.34)$$

$$\omega_{011} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 40}{2} = 125,7 \text{ рад / с.}$$

$$\omega_{012} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{12}}{p}; \quad (2.35)$$

$$\omega_{012} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 30}{2} = 94,2 \text{ рад / с.}$$

$$\omega_{013} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{13}}{p}; \quad (2.36)$$

$$\omega_{013} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{2} = 78,5 \text{ рад / с.}$$

Побудова механічних характеристик асинхронного двигуна при змінних значеннях величини напруги та частоти будуються згідно з виразом:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{oj} \cdot s \cdot \left( X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_{\muн} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right)}; \quad (2.37)$$

Електромеханічна характеристика асинхронного двигуна при змінних значеннях величини та частоти напруги живлення визначається за формулою:

$$I_1(s) = \sqrt{I_{0j}^2 + (I_2'(s))^2 + 2 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}; \quad (2.38)$$

де:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi n}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + X_{\kappa n}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_{\mu n} \cdot f_{1*}^2}\right)^2}}; \quad (2.39)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\kappa n} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + X_{\kappa n}^2 \cdot f_{1*}^2}}; \quad (2.40)$$

Оскільки зі зміною частоти і напруги статора струму холостого ходу змінюється, його значення кожної із частот визначається за виразом:

$$I_{0j} = \frac{U_{ij}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{\sigma 1} + X_{\mu n})^2 \cdot f_{1*}^2}}; \quad (2.41)$$

Перерахунок ковзання  $s$  на кутову швидкість проводиться відповідно до виразу:

$$\omega(s) = \omega_{0j} \cdot (1 - s); \quad (2.42)$$

Механічна характеристика відцентрового насоса визначається за виразом:

$$M_{с.прив.}(\omega) = \Delta M_{с.мех.} + \left(\frac{M_{с.прив.}}{\omega_{мех.прив.}^3}\right) \cdot \omega^3 = \quad (2.43)$$

$$15,7 + \left(\frac{156,98}{152,9^3}\right) \cdot \omega^3 = 15,7 + 4,392 \cdot 10^{-5} \cdot \omega^3;$$

$$\Delta M_{с.мех.} = 0,08 \cdot M_{дв.ном.}; \quad (2.44)$$

$$\Delta M_{с.мех.} = 0,08 \cdot 196,22 = 15,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{с.прив.} = 0,08 \cdot M_{дв.ном.}; \quad (2.45)$$

$$M_{c.прив.} = 0,08 \cdot 196,22 = 156,98 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Механічні характеристики представлені рисунках 2.7 і 2.8, а електромеханічні – рисунку 2.9.

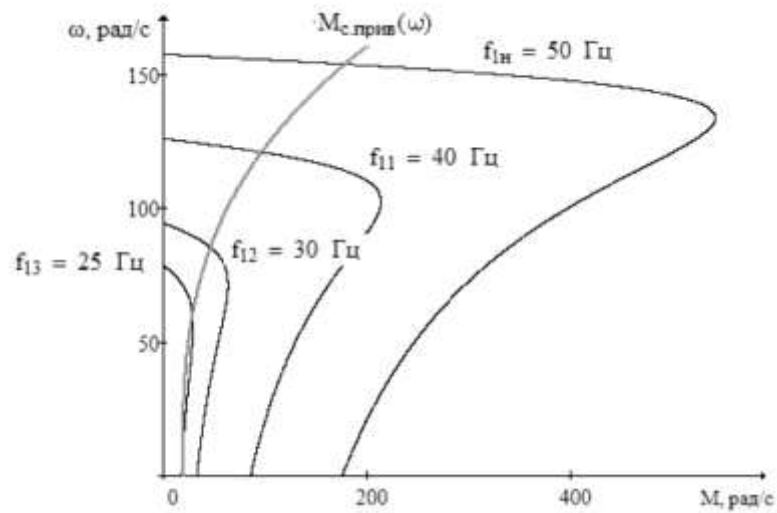


Рисунок 2.7 – Механічні характеристики двигуна ВА180М4 під час обраного закону регулювання  $\frac{U}{f^3} = const$  та механічна характеристика насоса

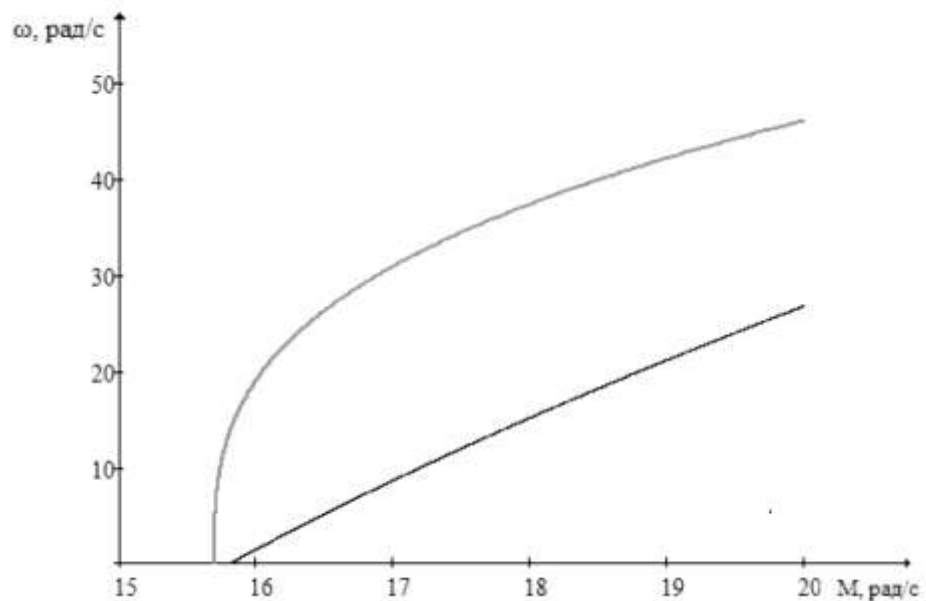


Рисунок 2.8 – Збільшене зображення механічної характеристики двигуна ВА180М4 при частоті  $f=25$  Гц та механічної характеристики насоса

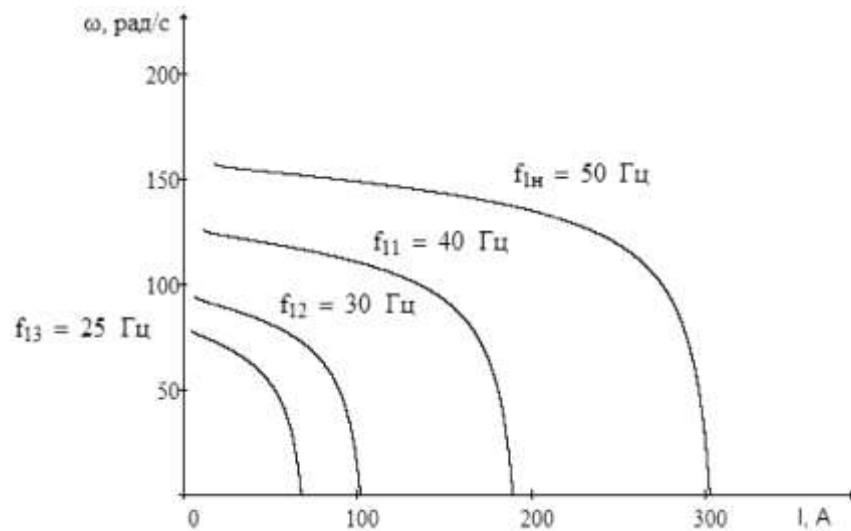


Рисунок 2.9 – Електромеханічні характеристики двигуна ВА180М4 під

час обраного закону регулювання  $\frac{U}{f^3} = const$

## 2.7 Прямий пуск двигуна

Отримані значення підставляємо в імітаційну модель (рис. 2.9) і, досліджуючи її у програмі Matlab, отримуємо графіки перехідних процесів моменту та швидкості електродвигуна при прямому запуску двигуна з навантаженням.

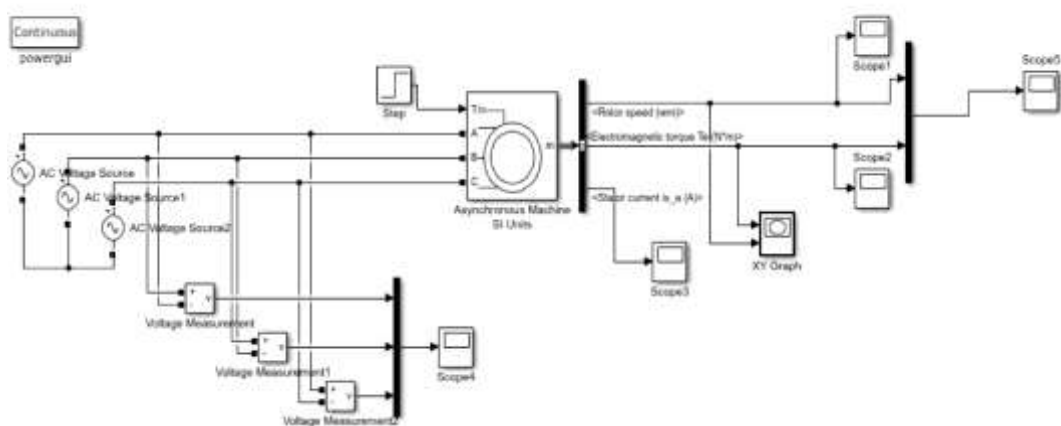


Рисунок 2.10 – Імітаційна модель прямого запуску двигуна

Отримані результати відображені на рисунку 2.11 та рисунку 2.12.

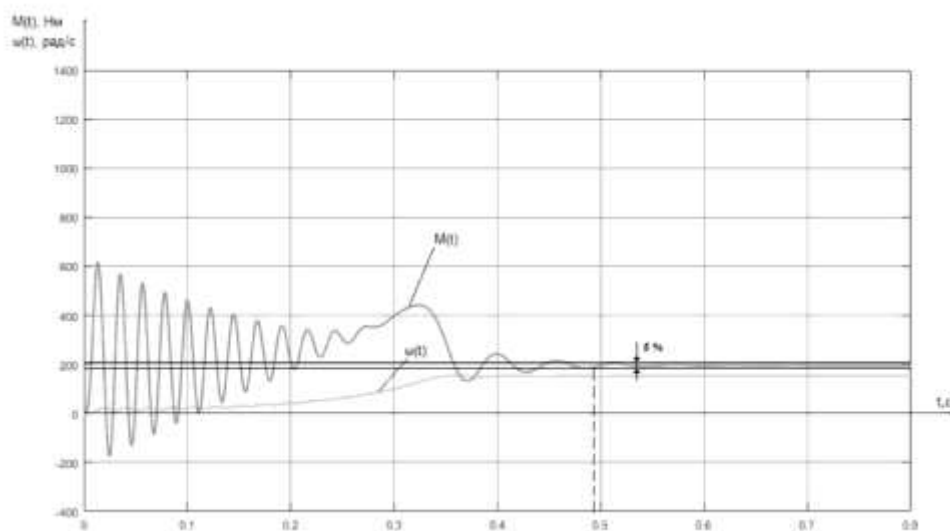


Рисунок 2.11 – Графік перехідного процесу моменту АД під час прямого пуску з навантаженням

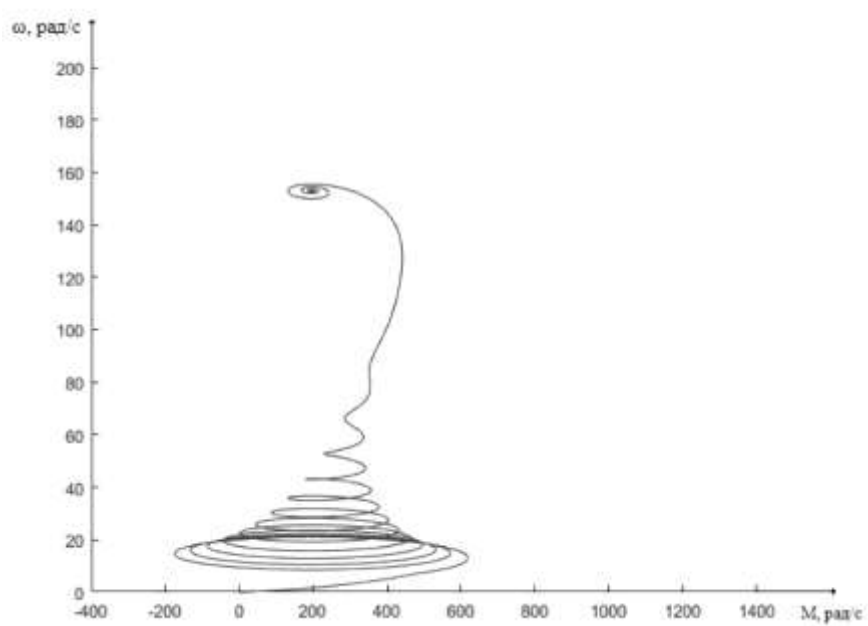


Рисунок 2.12 – Динамічна механічна характеристика під час прямого пуску з навантаженням

Параметри моделі накидання навантаження відображені рисунку 2.12.



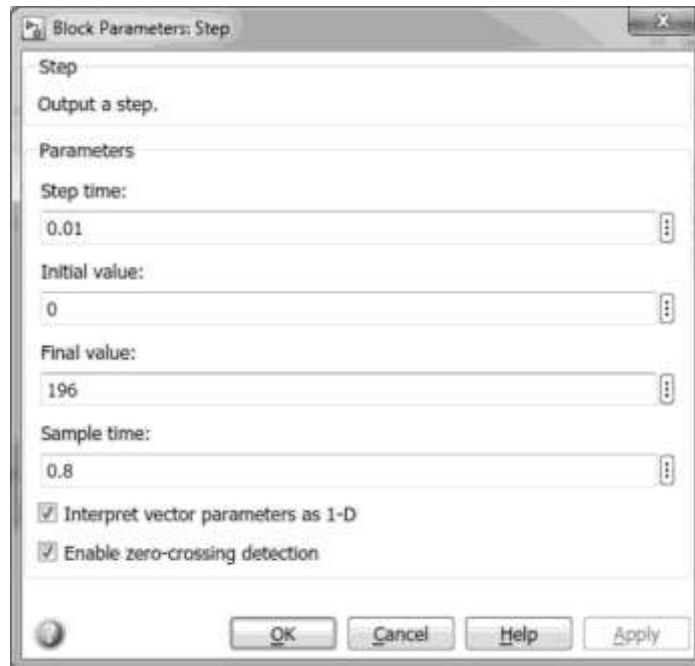


Рисунок 2.13 – Параметри моделі для отримання перехідних характеристик під час прямого пуску та накидання навантаження

Результати моделювання перехідних процесів при накиданні навантаження відображені на рисунках 2.14 та 2.15.

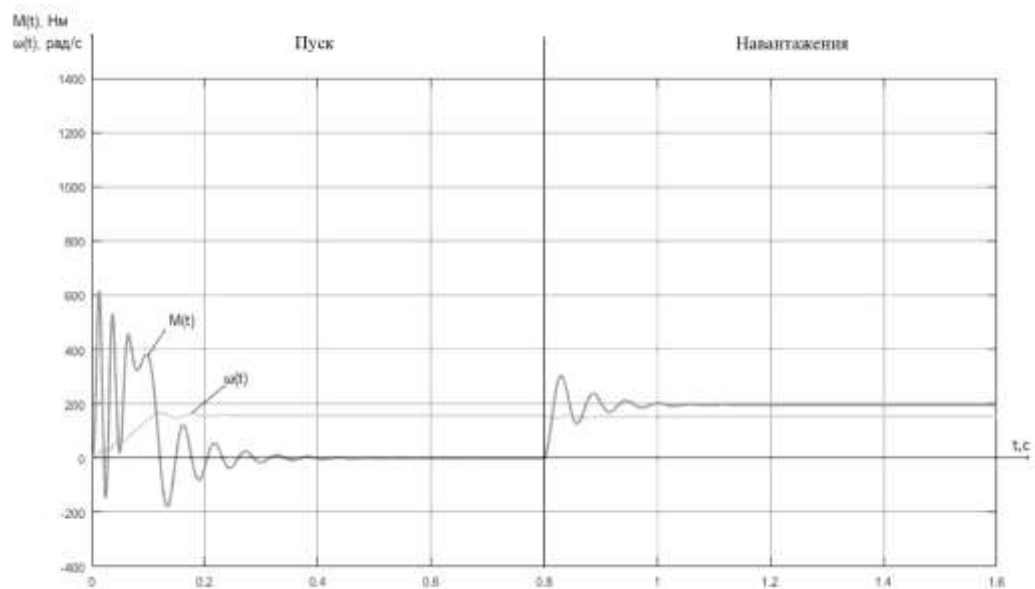


Рисунок 2.14 – Перехідні процеси в АД при прямому пуску та накиданні номінального навантаження

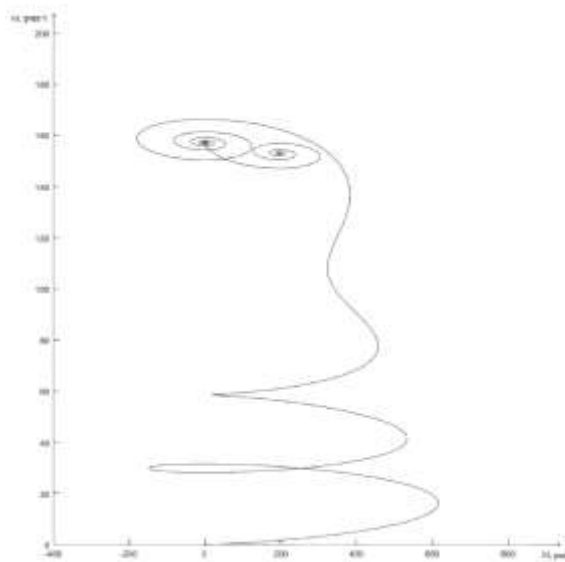


Рисунок 2.15 – Динамічна механічна характеристика при прямому пуску та накиданні номінального навантаження

Підсумовуючи вищенаведене маємо, що для характеристик, отриманих при моделюванні перехідних процесів при прямому пуску двигуна з номінальним навантаженням, спостерігаються значні коливання моменту (максимальне значення досягає понад 600 Н·м, мінімальне – менше 200 Н·м), що свідчить про погану якість перехідних процесів. Час перехідного процесу становить 0,49 с.

Отже, приходимо до висновку, що необхідно організувати плавний пуск з обмеженням коливань моменту та застосуванням лінійного задатчика з s-подібною характеристикою.

## 2.8 Розробка імітаційних моделей електроприводу зі скалярним керуванням

На рисунку 2.16 зображено функціональну схему реалізації асинхронного частотно-регульованого електроприводу зі скалярним керуванням без датчика швидкості. До основних функціональних елементів

регульованого асинхронного електроприводу з частотним скалярним керуванням відносяться:

- перетворювач частоти;
- блок управління перетворювачем, що включає формувач 3-фазної системи керуючих напруг  $u_{1a}$ ,  $u_{1b}$  і  $u_{1c}$ , формувач ШІМ-сигналу та блок драйверів;
- формувач  $U/f$ -характеристики;
- датчики лінійного струму двигуна;
- блок розрахунку фактичного значення фазного струму двигуна;
- елемент порівняння допустимого максимального та фактичного значення діючого струму двигуна та регулятор обмеження струму;
- блок компенсації ковзання;
- блок корекції управління напруги інвертора до функцій значення напруги постійного струму  $U_d$ .

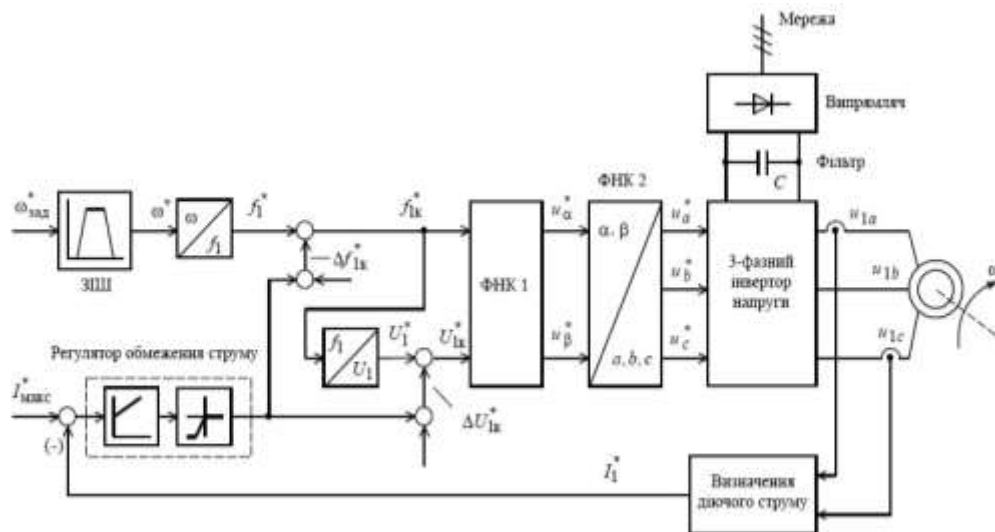


Рисунок 2.16 – Функціональна схема частотно-регульованого асинхронного електроприводу зі скалярним керуванням

Імітаційна модель електричної частини силового каналу системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун», змодельована в системі Matlab Simulink, наведена на рисунку 2.17.

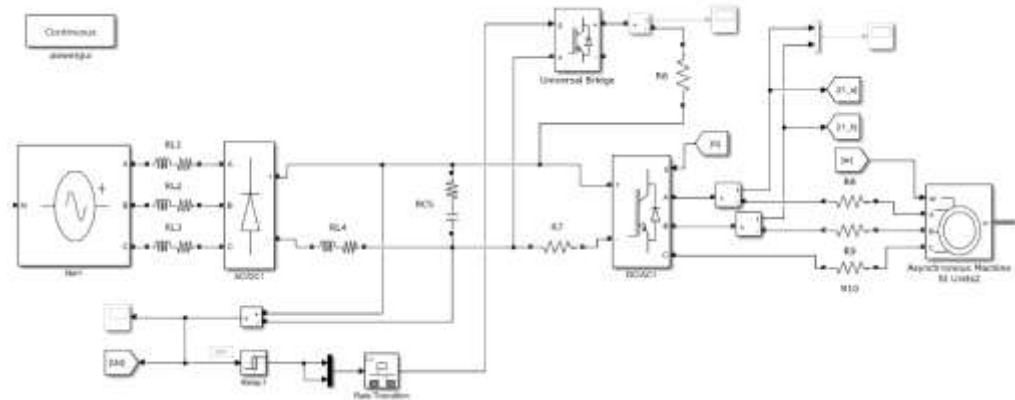


Рисунок 2.17 – Імітаційна модель електричної частини силового каналу системи «перетворювач частоти – асинхронний електродвигун»

Імітаційну модель механічної частини силового каналу системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун» змодельовану в системі Matlab Simulink наведено на рисунку 2.18.

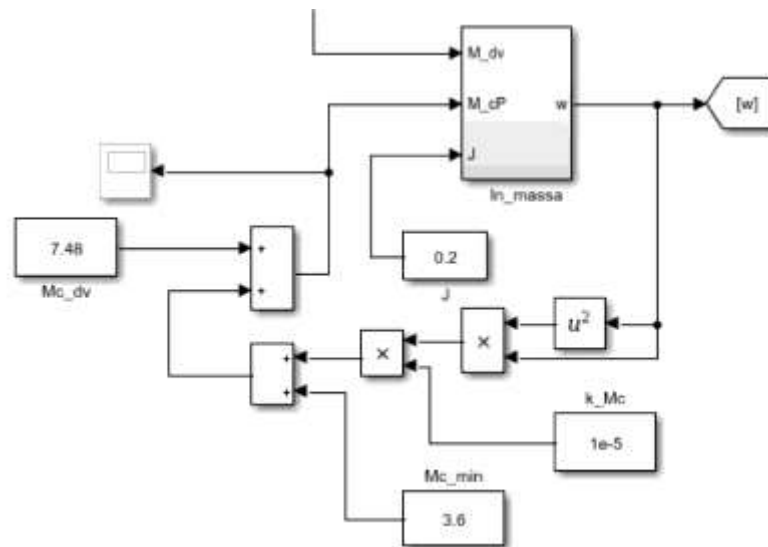


Рисунок 2.18 – Імітаційна модель механічної частини силового каналу системи «перетворювач частоти – асинхронний електродвигун»

## 2.9 Одномасова механічна система із реактивним навантаженням

Імітаційна модель блоку одномасової механічної системи з моментом навантаження реактивного характеру, яка застосовується для моделювання

систем електроприводу, зображена на рисунку 2.19. На зображеній даній схемі прийнято позначення:

$M_{dv}$  – електромагнітний момент двигуна,  $H \cdot m$ ;

$M_{cP}$  – приведений до валу двигуна статичний момент реактивного характеру,  $H \cdot m$ ;

$J_e$  – приведений до валу двигуна еквівалентний момент інерції мас, що рухаються,  $kg \cdot m^2$ .

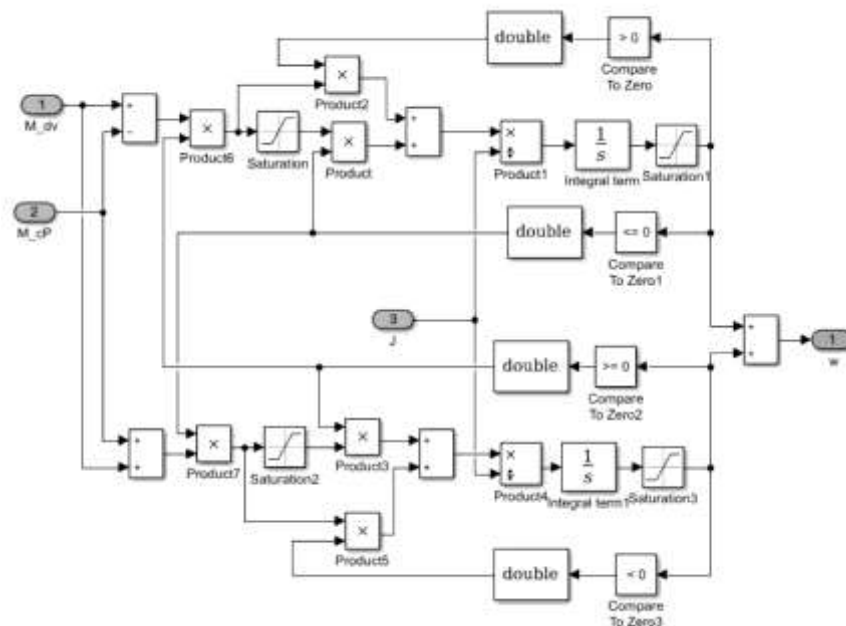


Рисунок 2.19 – Імітаційна модель блоку одномасової механічної системи з реактивним навантаженням

Схема набору імітаційної моделі двофазного перетворювача частоти, представленого підсистемою Preobraz представлена на рисунку.

2.10 Імітаційна модель задатчика інтенсивності з S-образною характеристикою

Параметри налаштування імітаційної моделі задатчика інтенсивності з S-подібною характеристикою визначаються за виразами:

$$T_{н1} = t_1, c;$$

$$T_{н2} = t_1 + t_2, \text{ с};$$

$$k = 0,5 \cdot t_1 / t_1 + t_2.$$

Тимчасова характеристика задатчика інтенсивності з S-подібною характеристикою представлена рисунку 2.20.

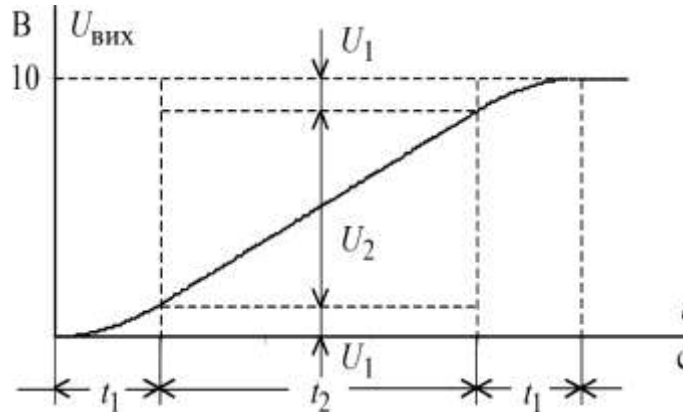


Рисунок 2.20 – Схема набору імітаційної моделі задатчика інтенсивності з S-подібною вихідною характеристикою

Схема набору імітаційної моделі у системі Matlab Simulink задатчика інтенсивності з S-подібною вихідною характеристикою відображено рисунку 2.21.

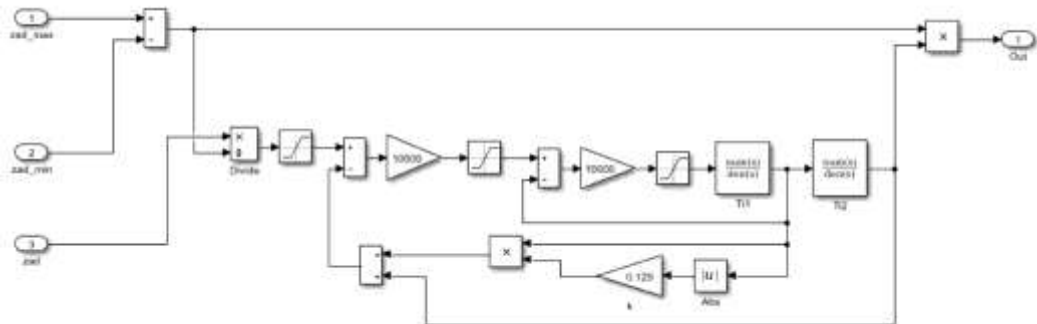


Рисунок 2.21 – Схема набору імітаційної моделі у системі Matlab Simulink задатчика інтенсивності з S-подібною вихідною характеристикою

Імітаційна модель системи управління із заданою програмою роботи представлена рисунку 2.22.

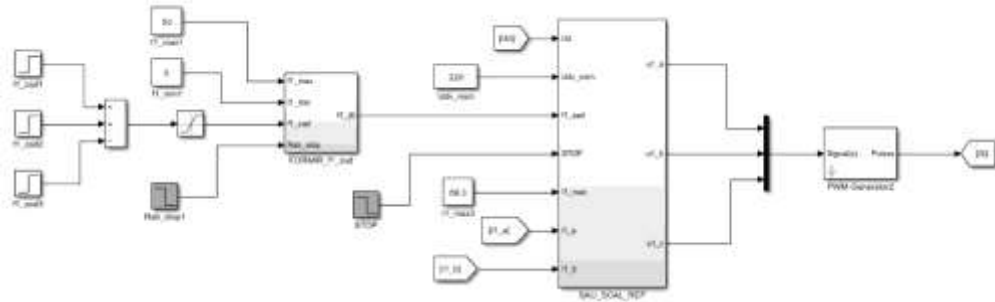


Рисунок 2.22 – імітаційна модель системи управління із заданої програми роботи

## 2.11 Модель частотно-регульованого асинхронного електроприводу насоса зі скалярним керуванням

Ця робота розглядає модель частотно-регульованого асинхронного приводу насоса зі скалярним керуванням.

REP\_AD\_Nasos\_scal\_01.mdl – модель асинхронного електроприводу насоса зі скалярним керуванням на базі моделі електричної частини силового каналу системи перетворювач частоти – асинхронний двигун виконана за допомогою пакету Simulink програми Matlab з датчиками струму  $i_a$  та  $i_b$ , а також корекцією вольт-частотної характеристики  $U/f=const$ .

## 2.12 Параметри силового каналу електроприводу

Прийняті під час розрахунку параметри двигуна:

$$\eta_{0,86}=0,905; \cos\varphi_{0,86}=0,841; \beta=2.$$

Розрахункові параметри асинхронного двигуна:

$$R_1=0,218 \text{ Ом}; L_{\sigma 1}=8,01 \cdot 10^{-4} \text{ Гн};$$

$$R_2'=0,107 \text{ Ом}; L_{2\sigma}'=1,08 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$\omega_{\text{дв.ном}}=152,9 \text{ рад/с}; I_{1\text{н}}=59,09 \text{ А};$$

$$M_{\text{н}}=196,22 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Параметри перетворювача частоти ІРБІ823-30:

$$I_{и.н.} = 63 \text{ А};$$

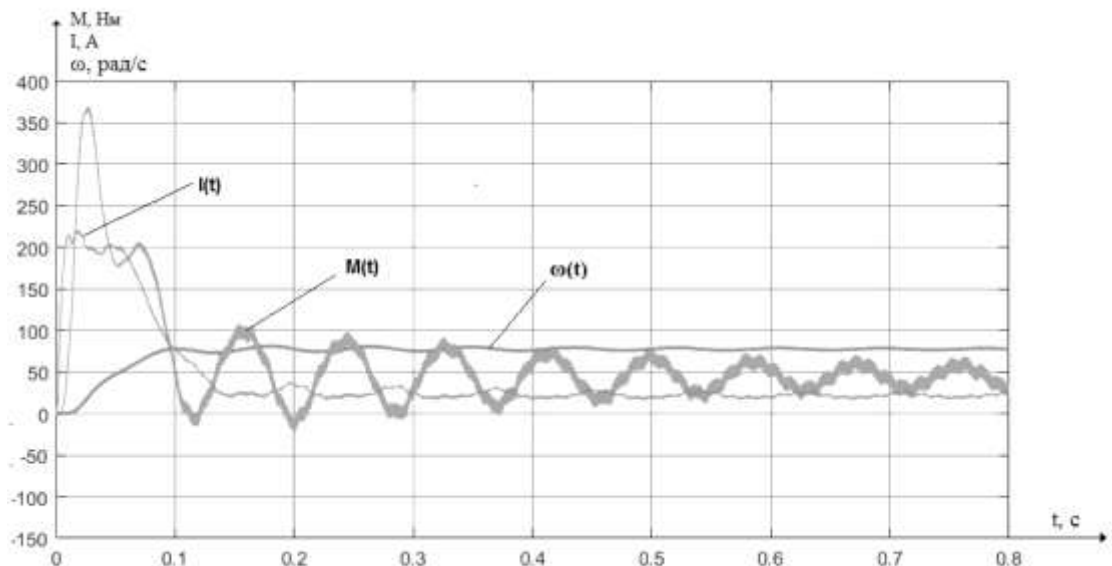
$$I_{и.макс.} = 69,3 \text{ А } (t = 60 \text{ с}).$$

### 2.13 Дослідження електроприводу зі скалярним керуванням

Програма дослідження електроприводу передбачає такі етапи:

- Пуск на частоті 25 Гц;
- Пуск на частоті 30 Гц;
- Пуск на частоті 40 Гц;
- Пуск на частоті 50 Гц.
- Моделювання відпрацювання насосом циклу плавний пуск – ступінчастий розгін до номінальної швидкості – робота на номінальній швидкості – гальмування – зупинка
- Побудова графіків характеристик  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $I(t)$  для кожного з описаних випадків.

Характеристики  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $I(t)$  при пуску на частоті 25 Гц представлені на рисунку 2.23.



Рисунк 2.23 – Характеристики  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $I(t)$  при пуску на частоті 25 Гц



Збільшене зображення характеристики  $\omega(t)$ , а також час перехідного процесу при запуску на частоті 25 Гц показано на рисунку 2.24.

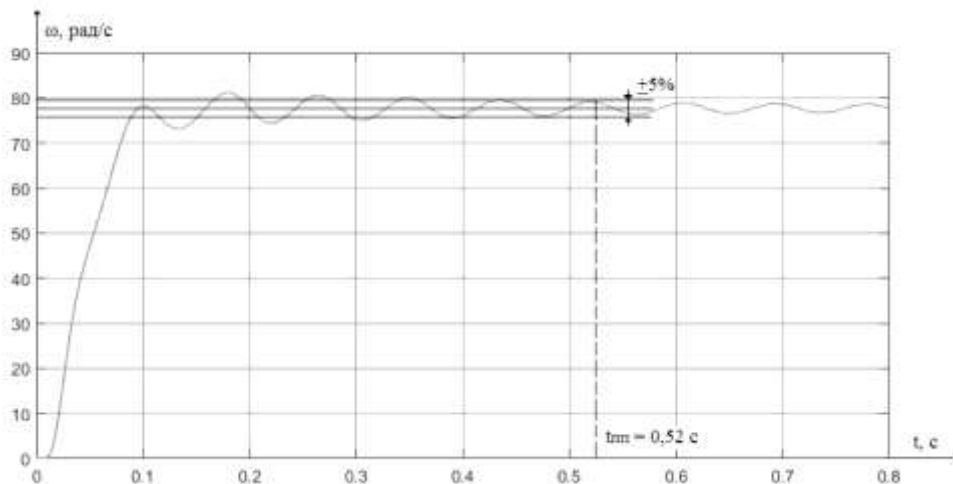


Рисунок 2.24 – Характеристика  $\omega(t)$  під час пуску на частоті 25 Гц

Характеристики  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $I(t)$  при пуску на частоті 30 Гц представлені на рисунку 2.25.

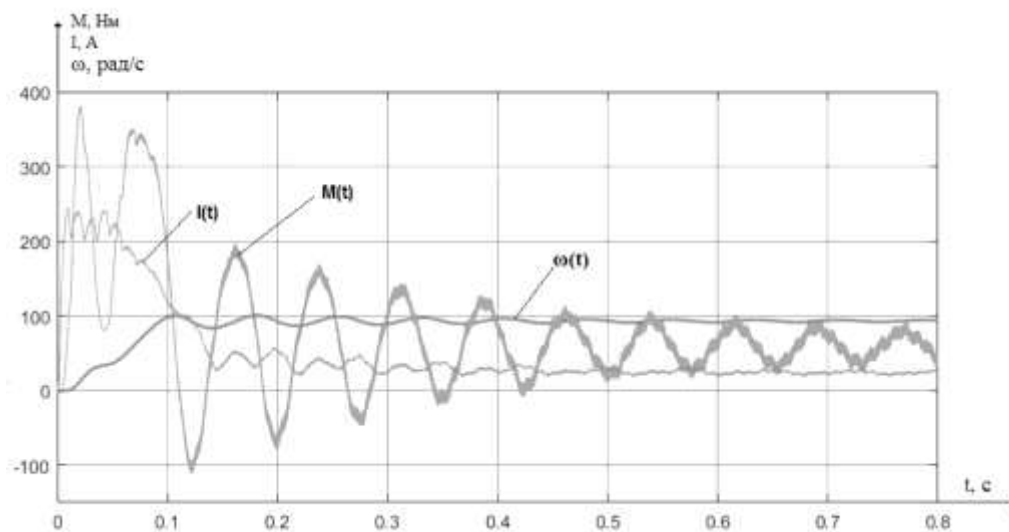


Рисунок 2.25 – Характеристики  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $I(t)$  при пуску на частоті 30 Гц

Збільшене зображення характеристики  $\omega(t)$ , а також час перехідного процесу при пуску на частоті 30 Гц показано на рисунку 2.26.

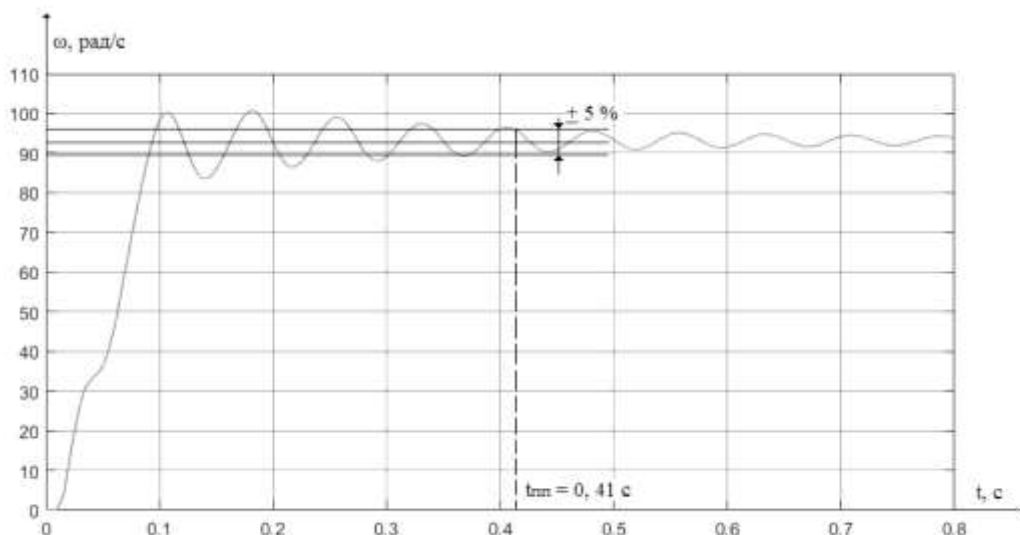


Рисунок 2.26 – Характеристика  $\omega(t)$  під час пуску на частоті 30 Гц

Характеристики  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $I(t)$  при пуску на частоті 40 Гц представлені на рисунку 2.27.

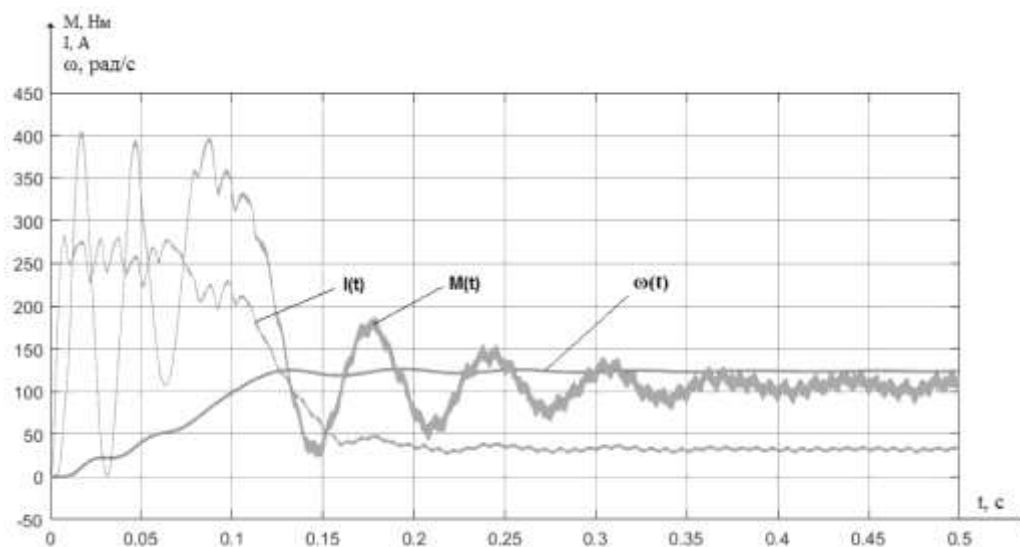


Рисунок 2.27 – Характеристики  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $I(t)$  при пуску на частоті 40 Гц

Збільшене зображення характеристики  $\omega(t)$ , а також час перехідного процесу при запуску на частоті 40 Гц показано на рисунку 2.28.

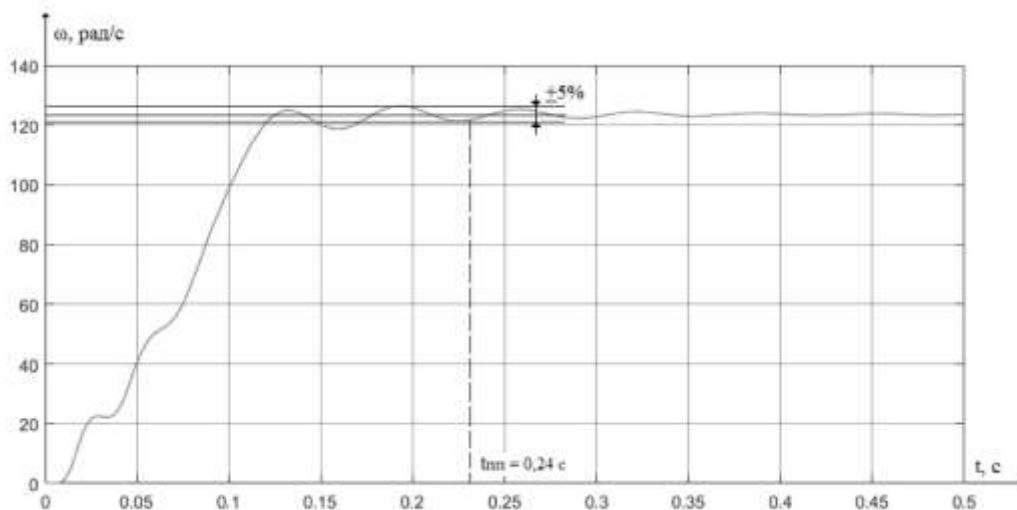


Рисунок 2.28 – Характеристика  $\omega(t)$  під час пуску на частоті 40 Гц

Характеристики  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $I(t)$  при пуску на частоті 50 Гц представлені на рисунку 2.29.

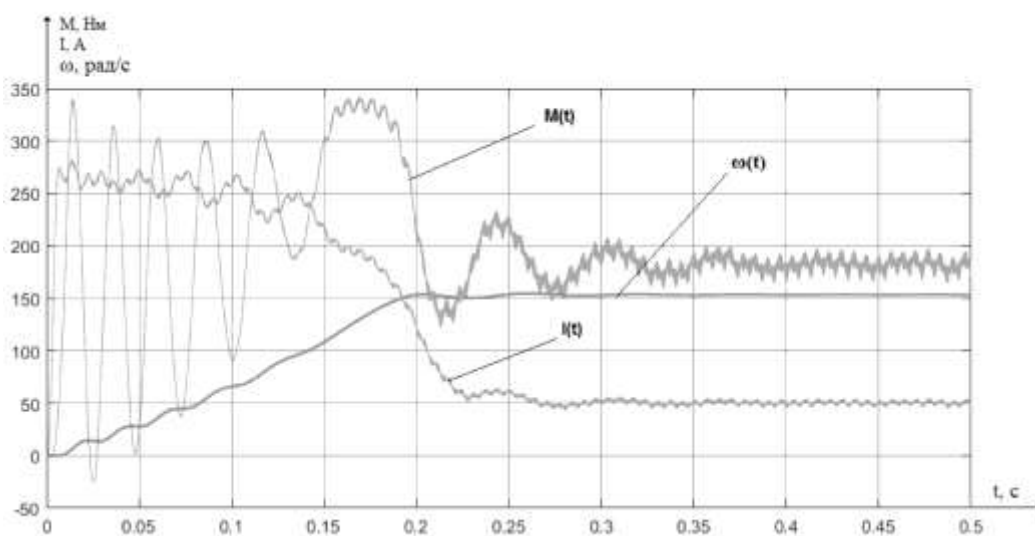


Рисунок 2.29 – Характеристики  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $I(t)$  при пуску на частоті 50 Гц

Збільшене зображення характеристики  $\omega(t)$ , а також час перехідного процесу при пуску на частоті 40 Гц показано на рисунку 2.30.

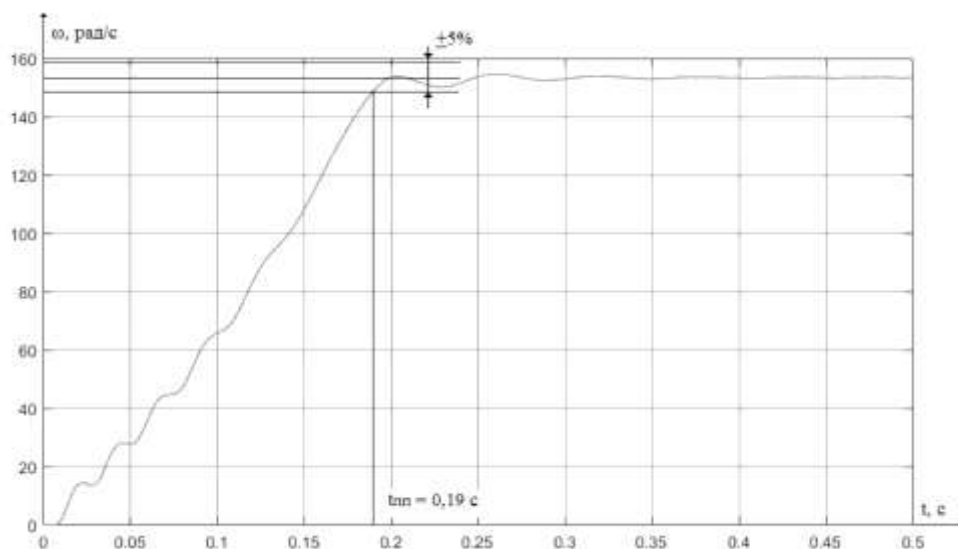


Рисунок 2.30 – Характеристика  $\omega(t)$  під час пуску на частоті 50 Гц

Характеристики  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $I(t)$ , при моделюванні циклу «плавний пуск – ступінчастий розгін до номінальної швидкості – робота на номінальній швидкості – гальмування – зупинка» представлені на рисунку 2.31. Ступінчастий розгін має на увазі пуск на частоті 25 Гц, перехід на частоту 40 Гц, та був – на номінальний режим роботи з частотою 50 Гц.

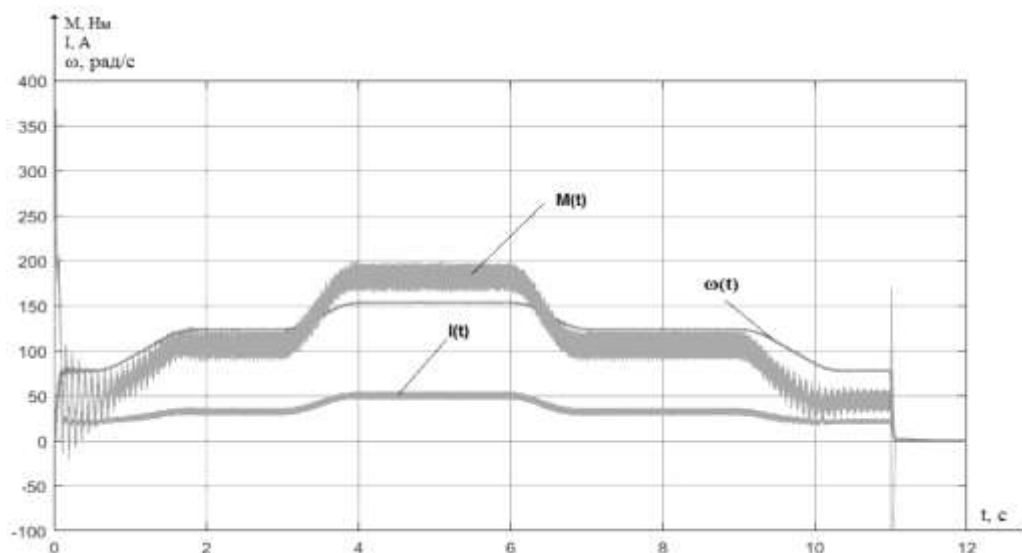


Рисунок 2.31 – Діаграма відпрацювання циклу плавний пуск – ступінчастий розгін до номінальної швидкості – робота на номінальній швидкості – гальмування – зупинка

У цьому розділі магістерської роботи було проведено моделювання пуску електроприводу насоса на частотах 25 Гц, 30 Гц, 40 Гц та 50 Гц, а також відпрацювання циклу «плавний пуск – ступінчастий розгін до номінальної швидкості – робота на номінальній швидкості – гальмування – зупинка». При пуску на частоті 25 Гц час перехідного процесу становив 0,52 с, а швидкість обертання досягла значення 76,4 рад/с. При пуску на частоті 30 Гц час перехідного процесу становить 0,41 секунди, швидкість обертання – 91,7 рад/с. При пуску на частоті 40 Гц час перехідного процесу – 0,24 с, швидкість обертання – 244,5 рад/с, а при пуску на частоті 50 Гц – 0,19с та 152,9 рад/с відповідно.

Так як при роботі даного приводу виникають короткочасні навантаження, при протіканні яких відбувається провал швидкості, виникає необхідність в обмеженні значень моменту і струму та в підтримці моменту на валу двигуна протягом часу виникнення перевантаження.

Скалярний метод управління асинхронного приводу з частотним регулюванням є найпростішим методом регулювання. При цьому він має невисокі якісні показники: мале значення діапазону регулювання швидкості, значна похибка швидкості, що викликає потребу у використанні задатчика інтенсивності швидкості.

## РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації

Фільтрація пива застосовується в промисловому пивоварінні та використовується для збільшення терміну зберігання продукту.

Пиво фільтрують від залишків дріжджових та бактеріальних клітин, зважених часток, різних домішок, що утворюють мутацію пива. При цьому використовуються наливні Кізельгурові фільтри, фільтр-преси, сепаратори, а також фільтруючі елементи патронного типу (картриджі).

Нефільтроване пиво зберігається всього лише кілька діб, профільтрованого на кізельгуровому фільтрі – від 5 до 20 днів, профільтрованого на фільтруючих елементах патронного типу – від 30 до 90 днів.

Розглянемо детально безперервний процес фільтрації пива (рис. 3.1), який складається з наступних етапів: зріле охолоджене пиво ( $1-4^{\circ}\text{C}$ ) подається в буферний танк I, з якого відкачується насосом Н1. Далі частина пива проходить через фільтр II, а частина подається в обхід. Для підтримки пропорції передбачено регулювання співвідношення витрат.

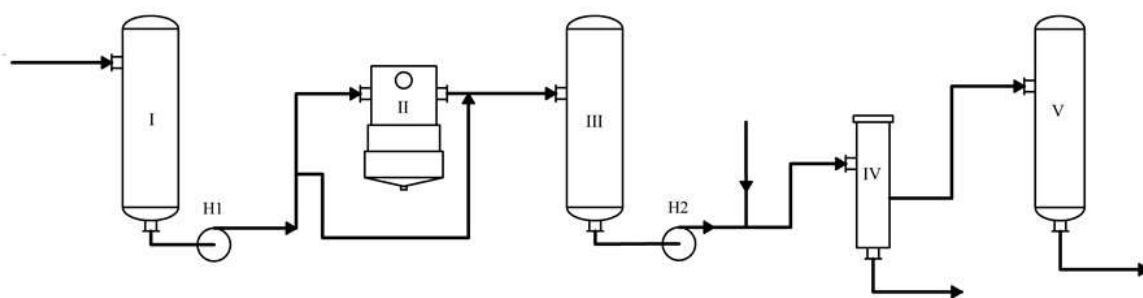


Рисунок 3.1 – Схема процесу фільтрації пива

Після фільтра II відбувається змішання відфільтрованого і невідфільтрованого пива. Потім суміш надходить в буферний танк III, з якого відкачується насосом Н2. Далі відбувається насичення пива діоксидом

вуглецю, після чого продукт подається в карбонізатор IV. Відфільтроване і карбонізоване пиво збирається в збірнику V, звідки подається на пастеризацію.

### 3.2 Опис алгоритму керування

Процес починається з відкриття клапана 2в (блок 1) – пиво починає надходити в буферний танк I. Далі відбувається наповнення: коли досягнутий певний рівень (блок 2), відбувається включення двигуна M1 насоса H1 (блок 3) і відкриття клапана 5в (блок 4) для перекачування пива в буферний танк III, при цьому починає здійснюватися безперервне регулювання рівня в танку I клапаном 2в (блок 5), а також співвідношення витрат фільтрованого і нефільтрованого пива клапаном 4в (блок 6).

Коли в танку III досягнутий певний рівень (блок 7), відбувається включення двигуна M2 насоса H2 (блок 8) і відкриття клапана 7в і 8в (блок 9) для додавання в пиво вуглекислого газу і перекачування пива до збірки V відповідно. При цьому продовжується безперервне регулювання рівня в танку I клапаном 2в, а також співвідношення витрат фільтрованого і нефільтрованого пива клапаном 4в, проте повернення до блокам 5 і 6 вже неможливий, тому використовуються нові – блоки 10 і 11. Одночасно з цим регулюються рівень в танку III клапаном 5в (блок 12) і концентрація вуглекислого газу в пиві клапаном 7в (блок 13).

Коли в збірнику V досягнутий певний рівень (блок 14), відкривається клапан 8е (блок 15) і відфільтроване пиво починає надходити на пастеризацію. З цього моменту починається безперервний процес фільтрації пива, в ході якого відбувається регулювання рівня в танку I (блок 16), співвідношення витрат фільтрованого і нефільтрованого пива (блок 17), рівня в танку III (блок 18), концентрації вуглекислого газу в пиві (блок 19) і рівня в збірнику V (блок 20).

Завершення процесу може бути передбачуваним за бажанням оператора та навпаки – при припиненні надходження пива. У першому випадку (блок 21) відбувається миттєва зупинка устаткування: закриваються всі клапани (блок 22) та відключаються двигуни (блок 23).

У другому випадку завершення процесу відбувається в кілька етапів. Вважається, що пиво перестане надходити на фільтрацію, якщо в танку I досягнутий нижній рівень (блок 24). При цьому закривається клапан 2в (блок 25) і відключається двигун M1 (блок 26), тобто перекачування пива з танка I припиняється. Оскільки пиво перестане надходити, то перелив в танку III і збірнику V неможливий – регулювання рівня в них (в танку I також) припиняється за непотрібністю, однак залишки пива повинні пройти повноцінний процес фільтрації, тому здійснюється регулювання співвідношення витрат (блок 27) та концентрації діоксиду вуглецю (блок 28).

Коли в танку III буде досягнутий мінімальний рівень (блок 29), то відбудеться закриття клапанів 5в і 7в (блок 30), а також відключення двигуна M2 (блок 31), тобто припиняється перекачування пива з танка III та подача в трубопровід вуглекислого газу. Регулювання всіх параметрів припиняється та процес триває, поки збірник V не спорожніє, тобто в ньому не буде досягнутий нижній рівень (блок 32). Після цього клапани 8в та 8е закриваються (блок 33) та процес вважається завершеним.

### **3.3 Опис функціональної схеми автоматизації**

Схема побудована на базі контролера ADAM-8000, укомплектованого відповідним набором модулів введення/виведення. Контролер пов'язаний з ЕОМ через мережу Ethernet. Керуюча ЕОМ таким чином використовується для виведення на екран значень технологічних змінних, їх реєстрації та сигналізації їх граничних значень.



Зріле пиво подається в буферний танк І. На вході відбувається вимір температури термометром опору ТСПУ Метран-276 (поз. ТТ-1а), з якого уніфікований сигнал струму 4–20 мА надходить на модуль аналогового введення ADAM-8231 для реєстрації і індикації.

В буферному танку І підтримується постійний рівень: вимір здійснюється за допомогою буйкового рівнеміра Метран 249С (поз. LE-2а), з якого уніфікований сигнал струму 4–20 мА надходить на модуль аналогового введення ADAM-8231. Регулювання рівня здійснюється шляхом зміни витрати підводячого в буферний танк І продукту регулюючим органом SAMSON 240 (поз. 2в) з електричним виконавчим механізмом.

Керування електродвигуном клапана здійснюється через магнітний пускач ПМЕ-322 (поз. NS-2б), на який подаються керуючі імпульси з модуля дискретного виводу ADAM-8222. Виходячи з особливостей керування виконавчим механізмом електродвигуна, в схемі задіяні два канали дискретного виводу.

При досягненні нижнього значення рівня відбувається світлова сигналізація за допомогою лампи HL1, підключеної до модуля дискретного виводу ADAM-8222.

Крім того, в цьому випадку передбачене автоматичне блокування: відбувається відключення насоса Н1. Включення/відключення двигуна М1 здійснюється через магнітний пускач ПМЕ-322 (поз. NS-2г), який включається автоматично через модуль дискретного ADAM-8222, або вручну за допомогою кнопкової станції ST22 (поз. HS-2д), встановленої на щиті. Для реалізації сигналізації стану двигуна (включений/відключений) на ЕОМ слабкострумний контакт магнітного пускача підключається до входу модуля дискретного введення ADAM-8221. Сигналізація роботи двигуна М1 здійснюється за допомогою лампи HL2, підключеної до модуля дискретного виводу ADAM-8222.

Після насоса Н1 передбачений контроль тиску в трубопроводі за допомогою показуючого пружинного манометра МТ-У (поз. РІ-3).

Далі частина пива проходить через фільтр II, а частина подається в обхід. Для підтримки пропорції передбачено регулювання співвідношення витрат. Витрати в трубопроводах подачі пива в фільтр II та в обхід нього вимірюються за допомогою електромагнітних витратомірів Promag 50 P (поз. FE-4a та FE-4б), з яких уніфікований сигнал струму 4-20 мА надходить на модуль аналогового введення ADAM-8231. Регулювання співвідношення витрат досягається за рахунок зміни витрати продукту, що подається в обхід, регулюючим органом SAMSON 240 (поз. 4г) з електричним виконавчим механізмом. Керування електродвигуном клапана здійснюється через магнітний пускач ПМЕ-322 (поз. NS-4в), на який подаються керуючі імпульси з модуля дискретного виводу ADAM-8222. Виходячи з особливостей керування виконавчим механізмом електродвигуна, в схемі задіяні два канали дискретного виводу.

Після фільтра II відбувається змішання відфільтрованого і невідфільтрованого пива, а потім суміш надходить в буферний танк III, в якому підтримується постійний рівень: вимір здійснюється за допомогою буйкового рівнеміра Метран 249С (поз. LE-5а), з якого уніфікований сигнал струму 4-20 мА надходить на модуль аналогового введення ADAM-8231. Регулювання рівня здійснюється шляхом зміни витрати підводячого в буферний танк III продукту регулюючим органом SAMSON 240 (поз. 5в) з електричним виконавчим механізмом. Керування електродвигуном клапана здійснюється через магнітний пускач ПМЕ-322 (поз. NS-5б), на який подаються керуючі імпульси з модуля дискретного виводу ADAM-8222. Виходячи з особливостей керування виконавчим механізмом електродвигуна, в схемі задіяні два канали дискретного виводу.

При досягненні нижнього значення рівня відбувається світлова сигналізація за допомогою лампи HL3, підключеної до модуля дискретного виводу ADAM-8222.

Крім того, в цьому випадку передбачене автоматичне блокування: відбувається відключення насоса Н2. Включення/відключення двигуна М2

здійснюється через магнітний пускач ПМЕ-322 (поз. NS-5г), який включається автоматично через модуль дискретного ADAM-8222, або вручну за допомогою кнопкової станції ST22 (поз. HS-5д), розташованої на щиті. Для реалізації сигналізації стану двигуна (включений/відключений) на ЕОМ слабкострумний контакт магнітного пускача підключається до входу модуля дискретного введення ADAM-8221. Сигналізація роботи двигуна M2 здійснюється за допомогою лампи HL4, підключеної до модуля дискретного виводу ADAM-8222.

Після насоса Н2 передбачений контроль тиску в трубопроводі за допомогою показуючого пружинного манометра МП4-У (поз. РІ-6).

Далі відбувається насичення пива діоксидом вуглецю, після чого продукт подається в карбонізатор ІV, на виході якого вимірюється концентрація в пиві вуглекислого газу за допомогою датчика концентрації АКП-01 (поз. QE-7а), з якого уніфікований сигнал струму 4-20 мА надходить на модуль аналогового введення ADAM-8231.

Регулювання концентрації здійснюється шляхом зміни витрати вуглекислого газу регулюючим органом SAMSON 240 (поз. 7в) з електричним виконавчим механізмом. Керування електродвигуном клапана здійснюється через магнітний пускач ПМЕ-322 (поз. NS-7б), на який подаються керуючі імпульси з модуля дискретного виводу ADAM-8222. Виходячи з особливостей керування виконавчим механізмом електродвигуна, в схемі задіяні два канали дискретного виводу.

Відфільтроване та карбонізоване пиво збирається в збірнику V, звідки подається на пастеризацію. У збірнику V підтримується постійний рівень: вимір здійснюється за допомогою буйкового рівнеміра Метран 249С (поз. LE-8а), з якого уніфікований сигнал струму 4–20 мА надходить на модуль аналогового введення ADAM-8231. Регулювання рівня здійснюється шляхом зміни витрати підводячого продукту регулюючим органом SAMSON 240 (поз. 8в) з електричним виконавчим механізмом. Керування електродвигуном клапана здійснюється через магнітний пускач ПМЕ-322 (поз. NS-8б), на який

подаються керуючі імпульси з модуля дискретного виводу ADAM-8222. Виходячи з особливостей керування виконавчим механізмом електродвигуна, в схемі задіяні два канали дискретного виводу.

При досягненні нижнього значення рівня відбувається світлова сигналізація за допомогою лампи HL5, підключеної до модуля дискретного виводу ADAM-8222.

Крім того, в цьому випадку передбачене автоматичне блокування: відбувається припинення відведення продукту зі збірки IV запірною-регулюючим клапаном DE16 (поз. 8e) з електричним виконавчим механізмом. Керування електродвигуном клапана здійснюється через магнітний пускач ПМЕ-322 (поз. NS-8г) з модуля дискретного виводу ADAM-8222. Керування може здійснюватися як в автоматичному режимі, так і в ручному за допомогою кнопкової станції ST22 (поз. NS-8д), встановленої на щиті. Для сигналізації стану клапана (відкритий/закритий) використовується лампа HL6, підключена до модуля дискретного виводу ADAM-8222.

### **3.4 Вибір і обґрунтування засобів вимірювання**

#### **Вибір і обґрунтування засобів вимірювання температури**

Для вимірювання температури застосовуються первинні перетворювачі – термометри опору платинові – ТСПУ Метран-276. Принцип дії ТСПУ Метран-276 заснований на зміні електричного опору платинового дроту при зміні температури.

Чутливий елемент первинного перетворювача та вбудований в головку датчика вимірювальний перетворювач перетворюють вимірювану температуру в уніфікований вихідний сигнал постійного струму.

Вимірювання температури термометром опору засновано на зміні електричного опору провідників або напівпровідників зі зміною температури. Знаючи цю залежність, можна визначити температуру

середовища, в яку поміщений термометр опору. При збільшенні температури опір ряду чистих металів зростає, а напівпровідників знижується. Залежність опору металів від температури в невеликому інтервалі температур можна наближено виразити рівнянням:

$$R_t = R_{t'} (1 + \alpha (T - t')) \quad (3.1)$$

де:  $R_t$  – опір металевого провідника при температурі  $t$  °С;

$R_{t'}$  – опір того ж провідника при температурі  $t'$  °С;

$(T - t')$  – інтервал зміни температури;

$\alpha$  – коефіцієнт температурного опору.

Чутливі елементи термометрів опору є тонкий мідний або платиновий дріт, намотаний біфілярно на спеціальний слюдяник, фарфоровий або пластмасовий каркас. Для запобігання від зовнішніх впливів чутливі елементи укладають в металеву трубку з литою головою, в якій змонтовані виводи решт обмотки для їх підключення до сполучних проводів. Конструктивно термометр опору складається з (рис.3.2): 1 – срібна стрічка; 2 – платиновий дріт; 3 – слюдяна пластинка; 4 – підводні срібні дроти; 5 – фарфорові буси; 6 – пластмасова головка; 7 – тонкостінна захисна трубка; 8 – захисний чохол.

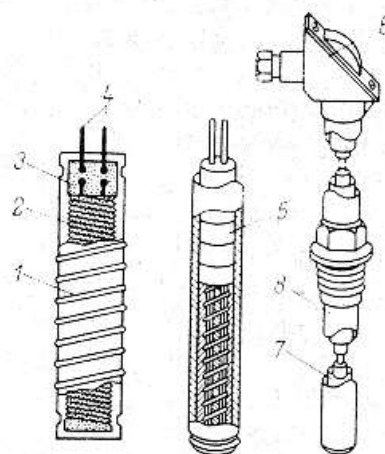


Рисунок 3.2 – Термометр опору платиновий

Вибір даних датчиків для вимірювання температури в даному процесі пояснюється наступним:

- клас точності приладу 0,5 – це дозволяє точно контролювати і регулювати температуру;
- широкий діапазон виміру температури – від 0 до 100 °С, від 0 до 180 °С;
- уніфікований струмовий вихідний сигнал 0-5, 4-20 мА, що дозволяє відправляти сигнал на мікроконтролер без попереднього перетворення.

Зовнішній вигляд датчика температури ТСПУ Метран-276 наведено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Датчик температури ТСПУ Метран-276

### **Вибір і обґрунтування засобів вимірювання рівня**

Вимірювання рівня здійснюється за допомогою буйкового рівнеміра типу 249С від фірми «Метран». Він призначений для безперервного вимірювання рівня в невеликих діапазонах.

Принцип дії буйкових рівнемірів заснований на відомому фізичному явищі, описаному в законі Архімеда: на тіло, занурене в рідину, діє виштовхуюча сила, яка пропорційна вазі витісненої тілом рідини.

Циліндричний буйок, який виготовлений з матеріалу, щільність якого більше щільності рідини, є чутливим елементом буйкових рівнемірів. Прикладом матеріалу буйка може служити нержавіюча сталь.

Буйок розташовується у вертикальному положенні та повинен бути частково занурений в рідину. Довжина буйка підбирається таким чином, щоб вона була наближена до максимального вимірюваного рівня.

Згідно із законом Архімеда вага буйка в рідині повинна змінюватися пропорційно зміні рівня цієї рідини.

Вимірювальна схема буйкового рівнеміра представлена на рисунку 3.4.

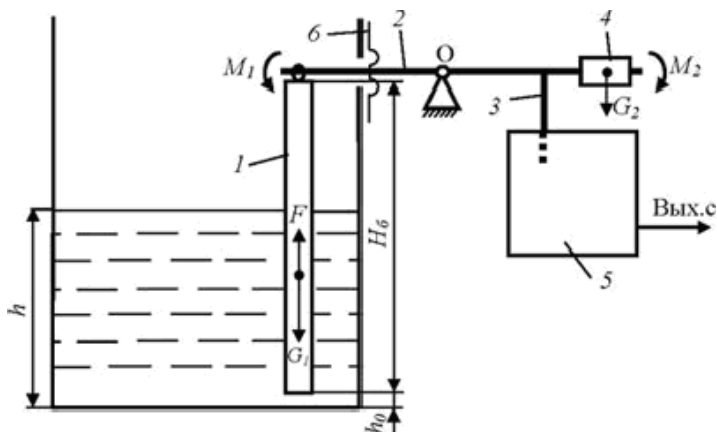


Рисунок 3.4 – Вимірювальна схема буйкового рівнеміра

Діє рівнемір наступним чином. Коли рівень рідини в ємності менше або дорівнює початковому рівню  $h_0$  (зона нечутливості рівнеміра), вимірювальна штанга 2, на яку підвішений буйок 1, знаходиться в рівновазі. Так як момент  $M_1$ , створюваний вагою буйка  $G_1$ , врівноважується моментом  $M_2$ , створюваним противагою 4.

Якщо рівень контрольованого середовища стає вище  $h_0$  (наприклад,  $h$ ), то частина буйка довжиною  $(h - h_0)$  занурюється в рідину, тому вага буйка зменшується на деяку величину, яка визначається як:

$$F = \rho g S (h - h_0); \quad (3.2)$$

Отже, зменшується момент  $M_1$ , створюваний буйком на штанзі 2. Так як момент  $M_2$  стає більше моменту  $M_1$ , штанга повертається навколо точки O

за годинниковою стрілкою і переміщує важіль 3 вимірювального перетворювача 5. Вимірювальний перетворювач формує вихідний сигнал.

Рух вимірювальної системи відбувається до тих пір, поки сума моментів всіх сил, що діють на важіль 2, не стане рівною нулю. Ущільнювальна мембрана 6 служить для герметизації технологічної ємності при установці в ній чутливого елемента.

Особливості та переваги буйкового рівнеміра:

- просте налаштування і калібрування;
- чутливість до невеликих змін в процесі;
- похибка вимірювань 0,25%;
- діапазон робочого тиску – до 42 МПа;
- температура робочого середовища від -29 до 593 0С;
- малий вплив змін температури;
- надійна конструкція;
- простота технічного обслуговування.

Зовнішній вигляд буйкового рівнеміра 249С наведено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Буйковий рівнемір 249С

### **Вибір і обґрунтування засобів вимірювання тиску**

Пружинний манометр призначений для візуального контролю тиску в трубопроводі за місцем установки. Основною його перевагою є, простота конструкції дешевизна, надійність в експлуатації.

На рисунку 3.6 приведена схема пристрою пружинного манометра.



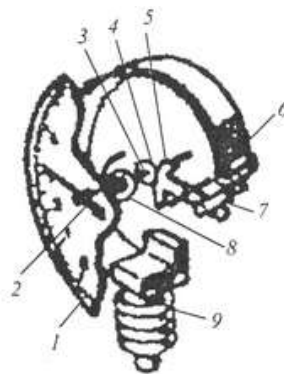


Рисунок 3.6 – Схема пристрою пружинного манометра

Основні частини манометра: 1 – шкала; 2 – стрілка; 3 – вісь; 4 – зубчасте колесо; 5 – сектор; 6 – трубка; 7 – тяга; 8 – пружинний волосок; 9 – штуцер.

Принцип дії пружинного манометра полягає в наступному: один кінець трубки 6 упаяний в штуцер 9, через який подається тиск всередину трубки. Інший кінець запаяний і забезпечений вушком для приєднання до передавального механізму 7. Під дією внутрішнього тиску попередньо вигнута трубчаста пружина розкручується завдяки зміні її перетину, яке прагне прийняти форму кола. При цьому мала вісь перетину збільшується, а велика зменшується, в результаті чого пружина манометра зменшує свою кривизну, розвиваючись в певному напрямку. Зміна кута закручування пружини 6 викликає переміщення її вільного кінця. Глухий кінець за допомогою передавального механізму 7 пов'язаний зі стрілкою приладу, що показує величину надлишкового тиску.

Технічні параметри манометра:

- діаметр корпусу  $D$  (мм): 40, 50 і 63;
- клас точності: 2,5;
- діапазон виміру (МПа) від 0 до 0,25...25;

Виконання:

- корпус – сталь, пофарбована у відповідний колір;
- скло – органічне;

- циферблат – алюмінієвий сплав, пофарбований у білий колір, або полістирол;
- трубчаста пружина – мідний сплав;
- штуцер – мідний сплав;
- механізм приводу стрілки - мідний або алюмінієвий сплав, синтетичні маси.

Зовнішній вигляд манометра показаний на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд манометра МТ 100

Дані манометри змонтовані на місці і підключені до процесу через демпфіруючі патрубки, які послаблюють температурне розширення металів трубопроводу.

### **3.5 Вибір і обґрунтування мікропроцесорної техніки**

#### **Вибір і обґрунтування інтелектуальних датчиків**

Як згадувалося вище, фільтрація пива використовується для збільшення терміну зберігання продукту. Цей фактор безпосередньо залежить від якості фільтрації і від дотримання співвідношення витрат фільтрованого і нефільтрованого пива. Тому було прийнято рішення застосувати для вимірювання витрат інтелектуальні датчики.

Застосуємо електромагнітний витратомір Promag 50 P фірми Endress + Hauser.

Особливості та переваги витратоміра Promag 50 P фірми Endress + Hauser:

- номінальні діаметри Ду 25...2000;
- футеровка: ебоніт або поліуретан;
- простота експлуатації і обслуговування. Можливість перевірки на місці без демонтажу сенсора. Оптимальна адаптація до існуючих процесів;
- роздільне виконання з корпусом IP 67 для настінного монтажу;
- налаштування без відкривання корпусу;
- меню Quick Setup для швидкого налаштування на місці установки.

Основні технічні характеристики сенсора:

- номінальні діаметри: DN 15...600 (1...24);
- підключення до процесу: фланці: DIN, ANSI, JIS;
- матеріал футеровки: PTFE, PFA;
- температура процесу: -20 ... + 150 ° C;
- ступінь захисту: IP 67 (вар. IP 68).

Основні технічні характеристики трансмітера:

- дисплей/елементи налаштування: 2 – рядковий, з підсвічуванням, кнопки;
- напруга живлення: 85...260В AC, (45...65Гц), 20...55В AC, (45...65Гц), 16...62 В DC;
- навколишня температура: -20 ... + 60 ° C -20 ... + 60 ° C -20 ... + 60 ° C;
- виконання: компактне/роздільне;
- гальванічна ізоляція: входи і виходи ізолювані від живлення, сенсора і між собою;
- струмовий вихід: 0/4...20 мА, активний/пасивний;
- цифрові технології: HART®, PROFIBUS-PA, PROFIBUS-DP / PA, FOUNDATION Fieldbus;
- похибка вимірювання:  $\pm 0,5\%$ ;
- Ех нормативи: ATEX II2G EEx d/EExde, FM / CSA CI I Div.1.

Принцип дії електромагнітних витратомірів заснований на вимірюванні ЕРС, індукованої в потоці електропровідної рідини під дією зовнішнього магнітного поля. Схема роботи електромагнітного витратоміра представлена на рисунку 3.8.

Трубопровід з магнітною (фторопласта, ебоніту тощо) 1 з переміщається в ньому рідиною розташований між полюсами магніту 2 та 3, перпендикулярно напрямку силових ліній магнітного поля. В стінки трубопроводу діаметрально протилежно (урівень з внутрішньою поверхнею труби) закладені вимірювальні електроди.

Під дією магнітного поля іони, що знаходяться в рідині, переміщуються і віддають свої заряди вимірювальним електродам, створюючи в них ЕРС  $E$ , пропорційну швидкості течії рідини. До електродів підключається вимірювальний прилад 4, шкала якого градується в одиницях витрати.

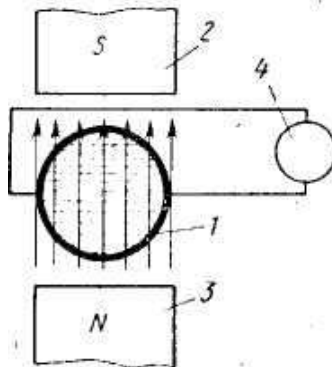


Рисунок 3.8 – Схема роботи електромагнітного витратоміра

Зовнішній вигляд приладу представлений на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 – Електромагнітний витратомір Promag 50 P

## Вибір і обґрунтування ПЛК

До складу комплексу технічних засобів АСУ ТП у загальному випадку входять такі компоненти: первинні перетворювачі, нормуючі перетворювачі, регулятори, вимірювальні та реєструвальні прилади, пристрої сигналізації та локальних блокувань, контролери та операторські станції (автоматизовані робочі місця). Серія ADAM-8000 (рис.3.10) складається з кількох ПЛК-процесорів. Вони запрограмовані у STEP<sup>®</sup>5 від Siemens та сумісні з існуючими програмами, які виконуються на серіях Siemens від 90U до 115U, STEP<sup>®</sup>7 від Siemens або відповідно до IEC 61131-3. Процесори, оснащені вбудованими інтерфейсами Ethernet або додатковими послідовними інтерфейсами, що спрощують інтеграцію ПЛК в існуючу мережу або з'єднання з додатковим периферійним обладнанням. Прикладна програма зберігається у флеш-пам'яті або додатковому модулі пам'яті. З відповідним інтерфейсом розширення ADAM-8000 може підтримувати до 4 рядків.



Рисунок 3.10 – ADAM-8000

### Структура / розміри

- Стандартна DIN-рейка 35 мм.
- Периферійні модулі з утопленим маркуванням.
- Розміри основного корпусу: ширина 1 слота: (В x Ш x Г) у мм: 76 x 25,4 x 76 дюймів: 3 x 1 x 3 Ширина 2 слотів: (В x Ш x Г) у мм: 76 x 50 8 x 76 дюймів: 3 x 2 x 3.

### Розглянемо надійність ADAM-8000.

- Проведення за допомогою пружинних з'єднань на передній панелі, манометр 0, 8...2,5 мм<sup>2</sup> або 1,5 мм<sup>2</sup> (18-полюсний роз'єм).

- Повна ізоляція проводки під час заміни модулів.
- Кожен модуль ізолюваний від шини задньої панелі.
- EMC-опір ESD/Burst відповідно до IEC 801-2/IEC 801-4 до рівня 3: 8 кВ/2 кВ.

- Ударостійкість відповідно до IEC 68-2-6 / IEC 68-2 -27 (1G / 12G).

Умови навколишнього середовища.

- Робоча температура: 0...+55°C.
- Температура зберігання: -40...+85°C.
- Відносна вологість: 95% без конденсації.

Не потрібна вентиляція за допомогою вентилятора.

Магістерська робота обмежується проектуванням комплексу технічних засобів АСУ ТП на основі контролера та операторської станції.

Контролером називається набір технічних засобів, до складу якого входять модуль процесора, модулі УСО (пристроїв зв'язку з об'єктом) та інші компоненти, об'єднані між собою загальною стандартною або спеціалізованою системною шиною. Контролер є проектно-компонованим виробом, склад та конфігурація якого визначається проектом для конкретного об'єкта та технологічного процесу (специфікацією проекту). Контролер призначений для прийому та обробки інформації, що надходить від первинних перетворювачів і дискретних датчиків, видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми та пристрої сигналізації, а також для передачі інформації на операторську станцію. Отже, основними функціями контролера є:

- Збір інформації про хід технологічного процесу та сигналізація про відхилення від технологічного регламенту.
- Управління ходом технологічного процесу.

Опис модуля ADAM 8231-1BD52

Даний модуль (рис.3.11) універсальний, тому може бути використаний для підключення до нього аналогових вхідних сигналів, термопар і

термометрів опору Pt100. На рисунку 3.12 представлені схеми підключення різних елементів, тоді як таблиці 3.1 наведено його технічні характеристики.

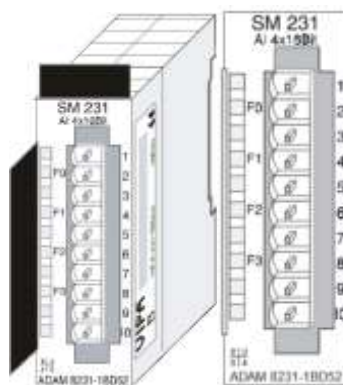


Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд ADAM 8231-1BD52

Таблиця 3.1 – Технічні дані

Електричні дані	ADAM 8231-1BD52
Число входів	4 диференціальні входи
Вхідний опір	індуктивний: 10 М (діапазон напруги), ємнісний: 100 К (діапазон напруги), 50 Ом (діапазон струму)
Джерело живлення	5 В через шину задньої панелі
Споживання струму	240 мА через шину задньої панелі
Ізоляція задньої панелі	є
Індикатори стану	світлодіоди на передній панелі
Специфікації програмування	
Вхідні дані	8 байт (1 слово на канал)
Вихідні дані	–
Дані параметрів	10 байт
Діагностичні дані	4 байт
Вага та розмір	
Вага	100 г
Розмір	25,4 x 76 x 76 мм

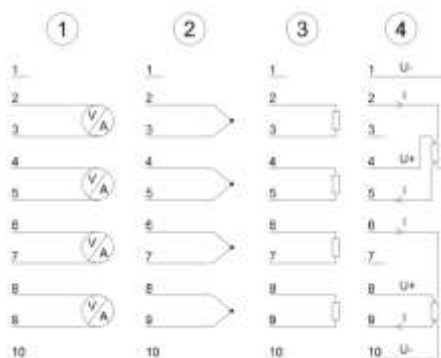


Рисунок 3.12 – Електричні схеми підключення ADAM 8231-1BD52

Для підключення діапазону вхідного струму 0..20 мА (5 шт.), необхідно взяти 2, для 4..20 мА (8 шт.) необхідно взяти 2, для підключення діапазону вхідної напруги 0..10 В (3 шт.) необхідно взяти 1, для підключення термопар (6 шт.) необхідно взяти 3 даних модуля і для підключення термометра опору Pt100 (7 шт.) необхідно взяти 2 даних модуля.

Опис модуля ADAM 8232-1BD50.

Цей модуль (рис.3.13) може бути використаний для підключення до нього аналогових вихідних сигналів. На рисунку 3.14 представлена схема підключення елементів до даного модуля, а у таблиці 3.2 наведені його технічні характеристики.

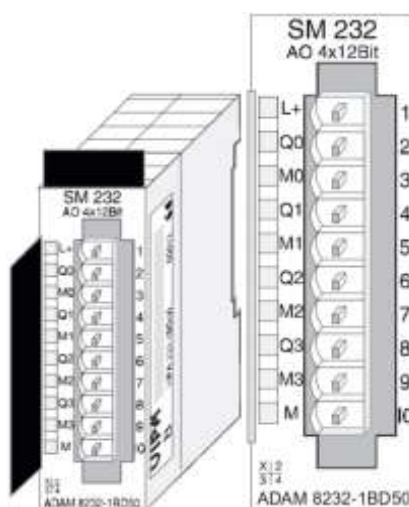


Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд ADAM 8232-1BD50



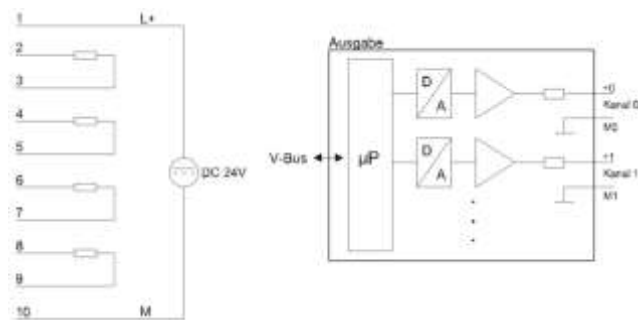


Рисунок 3.14 – Схема підключення та принципова схема ADAM 8232-1BD50

Таблиця 3.2 – Технічні дані

Електричні дані	ADAM 8232-1BD50
Число входів	4
Діапазон напруг	$\pm 10$ В, 1...5 В, 0...10 В
Діапазон струмів	$\pm 20$ мА, 4...20 мА, 0...20 мА
Опір пускача	хв. 500 (діапазон напруги) макс. 500 (діапазон струмів)
Струм короткого замикання	30 мА
Джерело живлення	5 через шину задньої панелі 24 В $\pm 20\%$ зовні
Споживання струму	через шину задньої панелі 20 мА 24 В <sub>пост.струм.</sub> зовні 200 мА
Ізоляція	Є
Індикатори стану	світлодіоди на передній панелі
Специфікації програмування	
Вхідні дані	
Вихідні дані	8 байт (1 слово на канал)
Дані параметрів	6 байт
Діагностичні дані	4 байт
Вага та розмір	
Вага	100 г
Розмір	25,4 x 76 x 76 мм

Для підключення діапазону вихідного струму 0..20 мА (3 шт.), необхідно взяти 1, для 4..20 мА (9 шт.) необхідно взяти 3, для підключення діапазону вихідних напр. шт.) необхідно взяти 1.

### Опис модуля ADAM 8221-1BH10

Цифровий вхід приймає двійкові керуючі сигнали від процесу та забезпечує електрично ізольований інтерфейс із центральною системою шин. Він має 16 каналів, що відображають відповідний статус за допомогою світлодіодів. Даний модуль представлений рисунку 3.15, але на рисунку 3.16 представлена його схема підключення та принципова схема. В таблиці 3.3 подано технічні характеристики модуля ADAM 8221-1BH10.

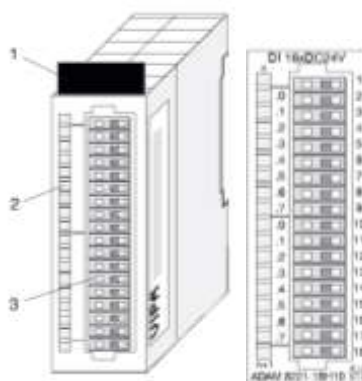


Рисунок 3.15 – Зовнішній вигляд ADAM 8221-1BH10

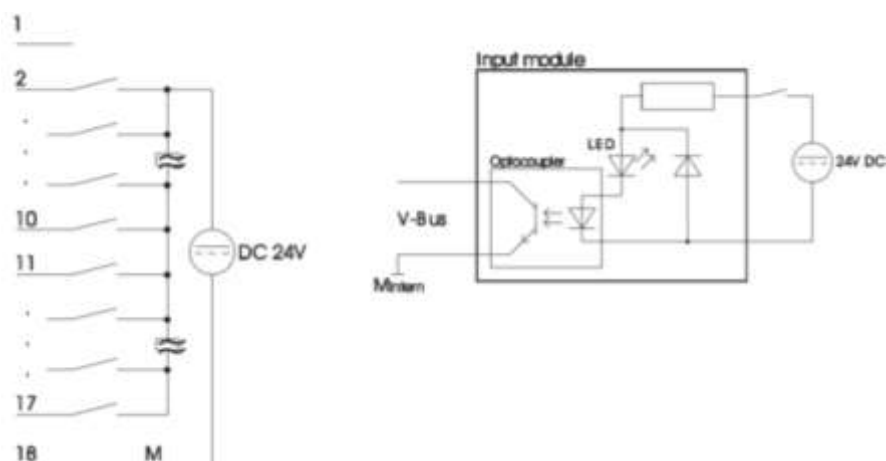


Рисунок 3.16 – Схема підключення та принципова схема  
ADAM 8221-1BH10

Таблиця 3.3 – Технічні дані

Електричні дані	ADAM 8232-1BD50
Число входів	16
Номинальна вхідна напруга	$\pm 24$ В (18 ... 28, 8 В)
Напруга сигналу «0»	0 ... 5 В
Напруга сигналу «1»	15 ... 28, 8 В
Затримка вхідного фільтра	3 мс
Вхідний струм	7 мА
Джерело живлення	5 В через шину задньої панелі
Струм через шину задньої панелі	20 мА
Ізоляція	Є
Індикатори стану	за допомогою світлодіодів, розташованих на передній панелі
Специфікації програмування	
Вхідні дані	2байта
Вихідні дані	–
Дані параметрів	–
Діагностичні дані	–
Вага та розмір	
Вага	50 г
Розмір	25, 4 x 76 x 76 мм

Для підключення діапазону дискретних входів (9шт) необхідно взяти 1 даний модуль.

### Опис модуля ADAM 8222-1BF00

Цей модуль цифрового виведення (рис. 3.17) приймає двійкові керуючі сигнали від системи центральної шини та передає їх на рівень процесу через

виходи. Модуль вимагає живлення 24 В постійного струму через роз'єм на передній панелі. Він забезпечує 8 каналів і статус кожного каналу відображається за допомогою світлодіода.

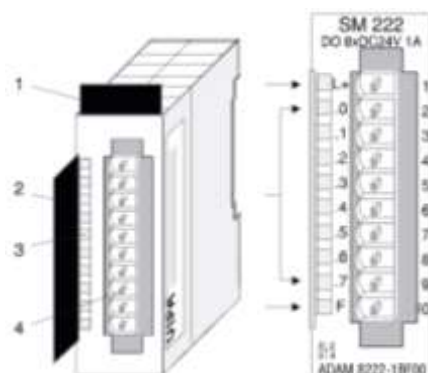


Рисунок 3.17 – Зовнішній вид ADAM 8222-1BF00

На рисунку 3.18 представлена схема підключення приладів до модулю.

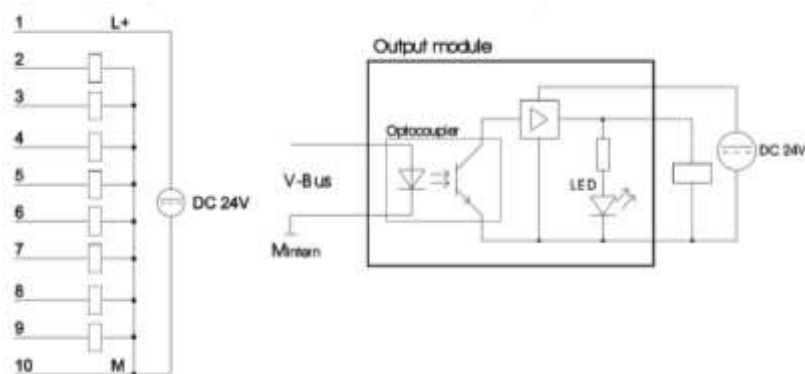


Рисунок 3.18 – Схема підключення і принципова схема ADAM 8222-1BF00

В таблиці 3.4 предсталені технічні характеристики модуля 8222-1BF00.

Таблиця 3.4 – Технічні дані

Електричні дані	ADAM 8232-1BD50
Число виходів	8
Номінальна напруга навантаження	24 В постійного струму (18...35 В) від дод. джерело живлення
Струм холостого ходу при L + (всі А.х = викл.)	10 мА

Вихідний струм на канал	1 А, захищений від тривалих коротких замикань
Струм через шину задньої панелі	50 мА
Напруга живлення	5 В через шину задньої панелі
Індикатори стану	за допомогою світлодіодів, розташованих на передній панелі
Специфікації програмування	
Вхідні дані	–
Вихідні дані	1 байт
Дані параметрів	–
Діагностичні дані	–
Вага та розмір	
Вага	50 г
Розмір	25,4 x 76 x 76мм

Для підключення діапазону дискретних виходів (3шт) необхідно взяти 1 даний модуль.

### **Опис промислового панельного комп'ютера PPC-6151C-RMAE.**

PPC-6171C, корпус для ПК з 17-дюймовим TFT-екраном, спеціально розроблений для материнських плат Mini-ITX, який підтримує широкий спектр материнських плат Mini-iTX відповідно до вимог замовника за різними функціональними можливостями та ціною. PPC-6171C справжня плоска рамка, яка відповідає тенденціям ринку, що потребують стильного зовнішнього вигляду, і надає додатковий порт для резервного копіювання та розширення слот для задоволення різних потреб клієнтів. На рисунку 3.19 представлений зовнішній вигляд даного комп'ютера, а таблиці 6 наведено його характеристики.



Рисунок 3.19 – Зовнішній вигляд PPC-6151C-RMAE

Таблиця 3.5 – Технічні дані

Технічні дані	PPC-6151C-RMAE
Місце зберігання	2 x 2,5" відсіку для жорстких дисків SATA
Порти введення/виведення	1 x вхід змінного струму; 1 x вимикач живлення; 1 x порт DP (вхід, для підключення панелі M/B та LVDS); 1 x USB 2.0 (вхід, для підключення M/B та сенсорного контролера); зарезервований отвір: на основі M/B специфічний
Розширення	1 x PCIe x4 або 1 x PCI (у коробці з приладдям)
Спікер	2 x 1 Вт
Fan	2 x 12 В, 60 x 60 x 15 мм
Підтримка ОС	Відповідно до специфікації материнської плати
Вхідна напруга	100 ~ 240 В змінного струму, 250 Вт
<b>ЖК Дисплей</b>	
Тип дисплея	17" TFT світлодіодна панель
Макс. дозвіл	1280x1024
Кут огляду	80 (ліворуч), 80 (праворуч), 60 (вгору), 80 (вниз)
Яскравість (кд/м <sup>2</sup> )	350
Контрастність	800:1
Час роботи	50000 год.
<b>Вага та розмір</b>	
Вага	5.4 кг
Розмір	437 x 357 x 107.6 мм (17.2" x 14.06" x 4.2")

### Джерело живлення ADAM 8207-1BA00

Джерело живлення ADAM 8207-1BA00 оснащений широкодіапазонним входом, який можна підключити до 100...240 В змінного струму. Вихідна напруга становить 24 В постійного струму при 2 А/48 Вт.

Оскільки всі входи та виходи розташовані на передній панелі пристрою, а корпус ізолюваний від шини задньої панелі, ми можете встановити блок живлення разом із модулями на тій же Т-рейці або використовувати його як окреме зовнішнє джерело живлення. На рисунку 3.20 представлений його зовнішній вигляд, а таблиці 3.6 представлені його технічні характеристики.

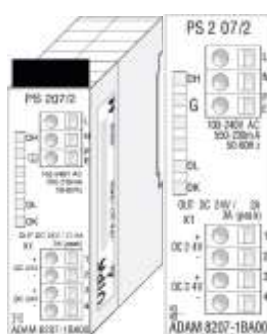


Рисунок 3.20 – Зовнішній вигляд джерела живлення ADAM 8207-1BA00

Таблиця 3.6 – Технічні дані

Електричні характеристики	
Номінальна вхідна напруга та частота	100 ... 240 В <sub>перем</sub> , 50 Гц / 60 Гц
Номінальний вхідний струм	0,24 А / 230 В <sub>перем</sub>
Номінальна вихідна напруга	24 В <sub>пост</sub> ±5%
Номінальний вихідний струм	2 А (50 Вт), 3 А (пік)
Фізичні характеристики	
Вага	250 г
Розмір	25,4 x 76 x 76 мм

### Опис мережевого майстра та мережевого веденого

Для розширення кількості слотів нам необхідно підключити додаткову рейку, це можна здійснити за допомогою ProfibusDP (відкрита промислова мережа) модулів які поділяються на майстрів і ведених.

У даному випадку ми маємо мережевого майстра ADAM8208-1DP01 та мережевого веденого ADAM8253-1DP00, які пов'язують основну рейку з додатковою за допомогою інтерфейсу RS-485. На рисунку 3.21 представлені обидва екземпляри, а таблиці 3.7 наведено їх технічні параметри.

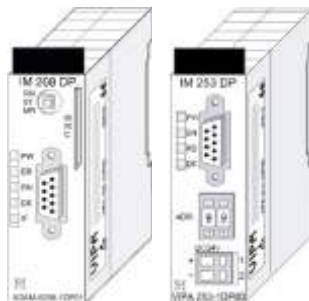


Рисунок 3.21 – Зовнішній вигляд ADAM8208-1DP01 и ADAM8253-1DP00

Таблиця 3.7 – Технічні дані

ADAM8208-1DP01 – Мережевий майстер	
Інтерфейс	RS-485
Швидкість передачі даних	9,6 кбіт/с до 12 Мбіт/с
Підлеглі пристрої, що підключаються	122 (без ретранслятора макс. 32)
Максимальний вхід	1024 байта
Максимальний вихід	1024 байта
Напруга живлення від шини	5 В <sub>пост</sub>
ADAM8253-1DP00 – Мережевий ведений	
Інтерфейс	RS-485
Швидкість передачі даних	9,6 кбіт/с до 12 Мбіт/с
Максимальний вхід	152 байта
Максимальний вихід	152 байта
Напруга живлення	24 В <sub>пост</sub>

### Опис перетворювача інтерфейсів

Сервер MOXA NPort 5130 добре підходить для передачі сигналу більшості типів промислових приладів, з послідовними інтерфейсами, в мережі Ethernet. Конструкцією конвертера інтерфейсів передбачено комбінований COM-порт RS-



422/485. Зовнішній вигляд перетворювача представлений рисунку 3.22, яке технічні характеристики у таблиці 3.8.



Рисунок 3.22– Зовнішній вигляд перетворювача NPort 5130

Таблиця 3.8 – Технічні дані

Мережеві порти	
Ethernet	1
RS-485/422	1
Швидкість	921,6 кбіт/с
Електроживлення	
Вимоги щодо напруги DC	12...48 В
Споживаний струм	106 мА (24 В)
Фізичні характеристики	
Розмір	75,2 x 80 x 22 мм

### Опис CPU з Ethernet модулем

Процесор ADAM8215-2BT01 з інтерфейсом крученої пари RJ-45 для Ethernet. Зовнішній вигляд CPU представлений рисунку 3.23, яке технічні характеристики у таблиці 3.9



Рисунок 3.23– Зовнішній вигляд ADAM8215-2BT01

Таблиця 3.9 – Технічні дані

Електричні дані	
Напруга живлення	24 В <sub>пост</sub>
Індикатори стану	за допомогою світлодіодів, розташованих на передній панелі
Максимальне споживання струму	1,5 А
Системні дані	
Робоча пам'ять	64 кбайт
Завантаження пам'яті	80 кбайт
Буфер батареї	Є
Годинник реального часу	Є
Таймер / Лічильник	128/256
Команди Ethernet	
Роз'єм	RJ-45
Швидкість передачі	10 Мбіт
Загальна довжина	макс. 100 м на сегмент

Підключення засобів автоматизації до модулів контролера наведено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Підключення засобів автоматизації до контролера

Позиційне позначення	Літерне позначення	Місце установки (підключення)	Позначення каналу вводу / виводу	Найменування модуля вводу / виводу	Кількість модулів
1	2	3	4	5	6
Перелік вхідних аналогових сигналів					
1a	TE	Трубопровід подачі пива в танк I	A11	ADAM-8231	2
2б	LE	Танк I	A12		
4a	FE	Трубопровід подачі пива в фільтр II	A13		

4б	FE	Трубопровід подачі пива в обхід фільтра II	A14		
5а	LE	Танк II	A11		
7а	QF	Трубопровід подачі пива в збірник V	A12		
8а	LE	Збірник V	A13		
Перелік вхідних дискретних сигналів					
2г	NS	Двигун M1	DI1	ADAM-8221	1
5г	NS	Двигун M2	DI2		
Перелік вихідних дискретних сигналів					
–	HL1	Щит КІПіА	DO1	ADAM-8222	3
2б	NS	Клапан 2в	DO2, DO3		
2г	NS	Двигун M1	DO4		
–	HL2	Щит КІПіА	DO5		
4в	NS	Клапан 4г	DO6,DO7		
–	HL3	Щит КІПіА	DO8		
5б	NS	Клапан 5в	DO1, DO2		
5г	NS	Двигун M2	DO3		
–	HL4	Щит КІПіА	DO4		
7б	NS	Клапан 7в	DO5, DO6		
–	HL5	Щит КІПіА	DO7		
8б	NS	Клапан 8г	DO1, DO2		
8г	NS	Клапан 8е	DO3		
–	HL6	Щит КІПіА	DO4		

Отже, підсумовуючи вищенаведене зазначимо, що було розглянуто принцип роботи процесу фільтрації пива. Виходячи з вимог по автоматизації, був розроблений алгоритм керування, який ілюструє логіку роботи виконавчих механізмів. На підставі алгоритму керування розроблена функціональна схема автоматизації, для основних технологічних параметрів підібрані засоби вимірювання, які відповідають запропонованим до них вимогам точності і надійності. Також, здійснено попередній вибір і обґрунтування мікропроцесорної техніки. Для вимірювання найбільш важливих технологічних параметрів підібрані інтелектуальні датчики, обґрунтовано вибір програмованого логічного контролера та підібраний комплект модулів введення-виведення.

## РОЗІДЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування

У цій роботі була розроблена система автоматизації технологічного процесу фільтрації пива на базі мікропроцесорної техніки, а саме із застосуванням (крім стандартних датчиків) інтелектуальних датчиків, а керування процесом здійснюється за допомогою програмованого логічного контролера ADAM-8000. Застосування мікропроцесорної техніки покликане підвищити надійність системи, і навіть скоротити роботу оператора, у яких полягає мета автоматизації.

### 4.2 Визначення витрат на удосконалення САК фільтрації напоїв

Для удосконалення САК фільтрації напоїв закуплені комплектуючі, перелік яких зведений у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік необхідних комплектуючих

Найменування	Тип	Од. виміру	К-ть	Ціна за одиницю грн.	Ціна грн.
Двигун	BA 180 M4	шт.	2	37000	74000
ПЧ	ІРБІ 823-30	шт.	2	40000	77000
Датчик температури	Rosemount-3051	шт.	1	1000	1000
Буйковий рівнемір	249С	шт.	1	1000	1000
Манометр	MT 100	шт.	1	350	350
Електромагнітний витратомір	Promag 50 P	шт.	1	41000	41000
Контролер	ADAM-8000	шт.	1	8000	8000
Модуль	ADAM 8231-1BD52	шт.	1	8000	8000
Комп'ютер	PPC-6151C-RMAE	шт.	1	30000	30000
Всього:					240350

Таким чином, витрати на придбання комплектуючих для удосконалення САК фільтрації напоїв дорівнюють:

$$З_k = 240\,350 \text{ грн.}$$

Розрахунок заробітної платні з нарахуваннями.

Для встановлення системи необхідно виконати роботи по встановленню, монтажу системи керування, демонтажу старого обладнання, налагодці та пуску системи. Вказані роботи будуть проводити бригада з 3-х слюсарів 5-го розряду протягом 5-и днів.

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями визначимо за формулою:

$$S_{зпм} = K_{нз} \cdot \lambda \cdot t \cdot \sum_{i=1}^m C_{ti} (1 + H); \quad (4.1)$$

де:  $K_{нз}$  – коефіцієнт, який враховує накладні витрати на заробітну плату,  $K_{нз} = 1,3$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує премії,  $\lambda = 1,25$ ;

$t$  – час виконання робіт, год;

$C_{ti}$  – часова тарифна ставка працівника  $i$ -го розряду.

$H$  – норма нарахування на заробітну плату,  $H = 0,22$ ;

$m$  – кількість робочих, чол.

$$S_{зпм} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 5 \cdot (37,87 \cdot 3) \cdot (1 + 0,22) = 9009,27 \text{ грн.}$$

Визначення загальної суми витрат.

Витрати на удосконалення САК фільтрації напоїв як суму витрат на купівлю комплектуючих та витрат на заробітну плату з нарахуваннями робітникам, які проводять модернізацію:

$$З_m = З_k + З_{зпм}; \quad (4.2)$$

$$З_m = 240\,350 + 9009,27 = 249359,27 \text{ грн.}$$

### 4.3 Розрахунок річного фонду роботи вузла фільтрації напоїв

Розрахунок річного фонду часу роботи вузла фільтрації напоїв проведемо за формулою:

$$T_p = \frac{T_\Phi}{\frac{1}{t_{cm} \cdot K_{cm}} + D_p}; \quad (4.3)$$

де:  $T_\Phi$  – річний фонд робочого часу,  $T_\Phi = 251$  днів;

$t_{cm}$  – тривалість зміни в машино-годинах,  $t_{cm} = 8$ ;

$K_{cm}$  – коефіцієнт змінності роботи устаткування,  $K_{cm} = 2$ ;

$D_p$  – простої в машино-днях у всіх видах технічного обслуговування і ремонту, який приходить на одну машино-годину, визначимо за формулою:

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pi} \cdot a_i}{T_{ц}}; \quad (4.4)$$

де:  $n$  – число різновидів технічних обслуговувань та ремонтів за міжремонтний період;

$d_{pi}$  – тривалість перебування в  $i$ -му ремонті чи технічному обслуговуванні;

$a_i$  – кількість  $i$ -х ремонтів чи технічних обслуговувань за міжремонтний період;

До та після модернізації час міжремонтного циклу складає 8760 годин. До удосконалення САК проводилось 15 оглядів впродовж 1,0 години, а після 5 оглядів впродовж 1,0 години. Враховуючи наведене, розраховуємо простої в машино-днях при всіх видах технічного обслуговування до та після модернізації:

$$D_{p1} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 24}{8760} = 0,0027 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}}$$

$$D_{pl} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 15}{8760} = 0,0017 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}}$$

Тоді річний фонд часу роботи вузла фільтрації напоїв дорівнюватиме відповідно:

$$T_{pl} = \frac{251}{\frac{1}{8 \cdot 2} + 0,0027} = 3849,69 \text{ год},$$

$$T_{pl} = \frac{251}{\frac{1}{8 \cdot 2} + 0,0017} = 3909,66 \text{ год},$$

#### 4.4 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності

Річна експлуатаційна продуктивність вузла фільтрації напоїв визначається за формулою:

$$B = B_{E.G.P} \cdot T_p \cdot K_{ПР}; \quad (4.5)$$

де:  $B_{E.G.P}$  – годинна експлуатаційна продуктивність, (120 бар/год),

$K_{ПР}$  – коефіцієнт, що враховує простій, не враховане в годинній експлуатаційній продуктивності.

Після удосконалення САК фільтрації напоїв та встановлення сучасного вимірювального обладнання продуктивність підвищиться на 2,5 %.

Таким чином до та після удосконалення САК фільтрації напоїв річна продуктивність складає:

$$B_1 = 5 \cdot 3849,69 \cdot 0,9 = 17323,61 \text{ бар/рік.}$$

Після модернізації:

$$B_2 = 5,5 \cdot 3909,66 \cdot 0,9 = 19352,82 \text{ бар/рік.}$$



#### 4.5 Розрахунок поточних річних витрат

Поточні річні експлуатаційні витрати визначаються для вузла фільтрації напоїв до та після модернізації.

За процесом роботи вузла фільтрації напоїв спостерігає 6-ть операторів 5-го розряду, після модернізації вузла фільтрації напоїв можливо оптимізувати кількість операторів до 5-х.

Витрати на заробітну плату до та після модернізації складають:

$$S_{ЗП} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 3849,69 \cdot 37,87 \cdot 6 \cdot (1 + 0,22) = 1734145,41 \text{ грн.}$$

$$S_{ЗП} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 3909,66 \cdot 37,87 \cdot 1 \cdot (1 + 0,22) = 1467633,09 \text{ грн.}$$

Визначення витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт вузла фільтрації напоїв.

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт САК визначимо за формулою:

$$S_{ТО} = S_{ТОЗ} + S_{ТОМ}; \quad (4.6)$$

де:  $S_{ТОЗ}$  – витрати на заробітну плату ремонтників з нарахуваннями;

$S_{ТОМ}$  – витрати на матеріали та запасні частини.

Витрати на заробітну плату ремонтних робітників з нарахуваннями визначаються за формулою:

$$S_{ТОЗ} = \frac{T_P}{T_{Ц}} \cdot K_{НЗ} \cdot \lambda \cdot C_P \cdot \sum_{i=1}^m a_{pi} \cdot \tau_{pi} \cdot (1 + H); \quad (4.7)$$

де:  $C_P$  – середня тарифна ставка ремонтного робітника, що обслуговують установку, грн/год;

$a_{pi}$  – кількість техобслуговувань і поточних ремонтів без капітального ремонту;

$\tau_{pi}$  – трудємкість  $i$ -го технічного обслуговування та поточного ремонту, до і після –  $\tau_{pi} = 31,26$ ;  $\tau_{pi} = 29,64$ .

Витрати на матеріали та запасні частини визначаються за формулою:

$$S_{ТОМ} = K_{Ш} \cdot \frac{S_{ТОЗ} \cdot (1 - H)}{K_{НЗ}} \cdot K_{ЗР}; \quad (4.8)$$

де:  $K_{\text{III}}$  – норма накладних розходів за всіма видами витрат, крім заробітної плати,  $K_{\text{III}} = 1,1$ ;

$K_{\text{ЗР}}$  – коефіцієнт переходу від витрат на заробітну плату до витрат на матеріали та запасні частини,  $K_{\text{ЗР}} = 1,25$ .

До модернізації для технічного огляду та поточного ремонту необхідно один слюсар КВПіА 5-го розряду. Після модернізації їх склад не змінився. Огляд проводиться 24 разів на рік до модернізації та 15 після.

$$S_{\text{ТОЗ1}} = \frac{3849,69}{8760} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 24 \cdot 31,26 \cdot 37,87 \cdot (1 + 0,22) = 24753,14 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{ТОЗ2}} = \frac{3909,66}{8760} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 15 \cdot 29,64 \cdot 37,87 \cdot (1 + 0,22) = 14897,48 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини до модернізації складають:

$$S_{\text{ТОМ1}} = 1,1 \cdot \frac{24753,14 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 20421,34 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини після модернізації:

$$S_{\text{ТОМ2}} = 1,1 \cdot \frac{14897,48 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 12290,42 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт вузла фільтрації напоїв до модернізації склали:

$$S_{\text{ТО1}} = 24753,14 + 20421,34 = 45174,48 \text{ грн.}$$

після модернізації:

$$S_{\text{ТО2}} = 14897,48 + 12290,42 = 27187,90 \text{ грн.}$$

Величину витрат на електроенергію визначимо за формулою:

$$S_{\text{ЕЛ}} = K_{\text{III}} \cdot W_{\text{ЕЛ}} \cdot V_{\text{ЕЛ}} \cdot T_{\text{Р}}; \quad (4.9)$$

де:  $V_{\text{ЕЛ}}$  – ціна 1 кВт/год електроенергії – 5,5 грн;

$W_{\text{ЕЛ}}$  – витрата за годину енергії, кВт/год.

Споживання електроенергії вузлом фільтрації напоїв складало 60 кВт/год, після удосконалення САК фільтрації напоїв енергоспоживання зменшиться на 5 %.

Виходячи з цього витрати на електроенергію до модернізації склали:

$$S_{\text{ЕЛ1}} = 1,1 \cdot 60 \cdot 5,5 \cdot 3849,69 = 1397437,47 \text{ грн.}$$

після модернізації:

$$S_{\text{ЕЛ2}} = 1,1 \cdot 60 \cdot 0,95 \cdot 5,5 \cdot 3909,66 = 1348246,25 \text{ грн.}$$

Розрахунок суми річних витрат на експлуатацію вузла фільтрації напоїв зведений у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Сума річних витрат на експлуатацію

Найменування статті витрат	Величина витрат	
	До впровадження САК, грн.	Після впровадження САК, грн.
Зарплата з нарахуваннями	1734145,41	1467633,09
ТО та поточний ремонт	45174,48	27187,90
Електроенергія	1397437,47	1348246,25
Разом	<b>3176757,36</b>	<b>2843067,24</b>

#### 4.6 Розрахунок вартості машино–години роботи вузла фільтрації напоїв

Розрахунок вартості машино–годин розраховуємо за формулою:

$$S_{\text{МГ}} = \frac{S}{T_p}. \quad (4.10)$$

До модернізації вартість однієї машино-години складала:

$$S_{\text{МГ1}} = \frac{3176757,36}{3849,69} = 825,20 \text{ грн. / год}$$

Після модернізації вартість однієї машино-години змінилась і складає:

$$S_{\text{МГ2}} = \frac{2843067,24}{3909,66} = 727,19 \text{ грн. / год}$$

#### 4.7 Розрахунок вартості технологічної операції на одиницю продукції

Вартість технологічної операції визначається за формулою:

$$S_{\Pi} = \frac{S}{B}. \quad (4.11)$$

До модернізації вартість складала:

$$S_{\Pi 1} = \frac{3176757,36}{17323,61} = 183,38 \text{ грн. / бар. .}$$

Після модернізації вартість складає:

$$S_{\Pi 2} = \frac{2843067,24}{19352,82} = 146,91 \text{ грн. / бар.}$$

#### 4.8 Розрахунок економічного ефекту від проведення модернізації

Річний економічний ефект від проведення модернізації визначається за формулою:

$$E = (S_{\Pi 1} - S_{\Pi 2}) \cdot B; \quad (4.12)$$

$$E = (183,38 - 146,91) \cdot 19352,82 = 705797,35 \text{ грн / рік.}$$

Термін окупності витрат по модернізації розрахуємо за формулою:

$$T = \frac{Z_M}{E}; \quad (4.13)$$

$$T = \frac{249359,27}{705797,35} = 0,35 \text{ років} \approx 5 \text{ місяців.}$$

Отже, термін окупності приблизно 5 місяців.

Висновки за розділом

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електрообладнання зменшились на 39,82 %.

Витрати на електроенергію електропривода зменшились на 3,52 %.

Вартість машино-години роботи електропривода зменшились на 11,88%.

Вартість технічної операції для одиниці продукції після модернізації знизилась на 19,89 %.

Економічна ефективність від проведеної автоматизації склала 705797,35грн.

Строк окупності витрат складає 5 місяців.

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники удосконалення вузла фільтрації напоїв

Показники	Одиниці виміру	Значення		
		до модернізації	після модернізації	абсолютне відхилення
1. Капітальні витрати на модернізацію	грн.	х	249359,27	х
2. Річний фонд часу роботи	год.	3849,69	3909,66	-59,97
3. Річна експлуатаційна продуктивність	бар	17323,61	19352,82	-2029,21
4. Річні експлуатаційні витрати, усього:	грн.	3176757,36	2843067,24	+333690,12
у тому числі: витрати на оплату праці	грн.	1734145,41	1467633,09	+266512,32
витрати на ТО та ТР	грн.	45174,48	27187,90	+17986,58
витрати на електроенергію	грн.	1397437,47	1348246,25	+49191,22
5. Вартість однієї машино-години роботи	грн./год.	825,20	727,19	+98,01
6. Вартість технологічної операції	грн./ бар	183,38	146,91	+36,47
7. Річний економічний ефект	грн.	х	705797,35	х
8. Строк окупності капітальних вкладень	місяців	х	5	х

## ВИСНОВКИ

Таким чином, в першому розділі було розглянуто принцип роботи процесу фільтрації пива. Виходячи з вимог по автоматизації, був розроблений алгоритм управління, який ілюструє логіку роботи виконавчих механізмів. На підставі алгоритму управління розроблена функціональна схема автоматизації, для основних технологічних параметрів підібрані засоби вимірювання, які відповідають пропонованим до них вимогам точності і надійності.

Були зроблені необхідні розрахунки, відповідно до яких для приводу було обрано асинхронний двигун марки ВА180М4 та перетворювач частоти марки ІРБІ 823-30. Здійснено будівництво природних механічної та електромеханічної характеристик. Було обрано закон регулювання  $Uf3$ , а також побудовано сімейства механічних та електромеханічних характеристик для цього закону регулювання. За допомогою моделей у середовищі Matlab Simulink були змодельовані перехідні процеси під час прямого пуску двигуна та із застосуванням частотного регулювання.

В третьому розділі було здійснено вибір і обґрунтування мікропроцесорної техніки: для вимірювання найбільш важливих технологічних параметрів підібрані інтелектуальні датчики, зроблено обґрунтований вибір програмованого логічного контролера, а також йому в комплект підібрані модулі введення-виведення.

В четвертому розділі була доведена економічна ефективність запропонованих заходів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Галай М. В. Імпульсні, цифрові та релейні системи автоматичного керування: навчальний посібник: – Полтава: ПолтНТУ, –2002. – 222 с.
2. Галай М. В. Лінійні неперервні системи автоматичного керування: навчальний посібник: – Полтава: ПолтНТУ, – 2001. – 140 с.
3. Грабко В. В. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Розрахунок цифрової системи керування електроприводом постійного струму. Курсове та дипломне проектування : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, В. В. Грабко. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 97 с.
4. Грабко В. В. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом постійного струму. Курсове та дипломне проектування : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, В. В. Грабко. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 89 с.
5. Грищук Ю.С. Мікропроцесорні пристрої :Навчальний посібник. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – 280 с.
6. Костинюк, Л.Д. Мікропроцесорні засоби та системи [Текст] / Л.Д. Костинюк, Я.С. Парганчук. – Львів.: Львівська політехніка, 2001. – 200 с.
7. Мікропроцесорна техніка [Текст]: навч. посібник/В.В. Ткачов, Г. Грулер, М-59 Н. Нойбергер та ін. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 188 с.
8. Невзоров А.В. Мікропроцесорні системи управління в галузі: Методичний посібник. Ч.1 – Основи роботи в системах автоматизованого проектування цифрових та мікропроцесорних пристроїв – Умань: УНУС – 2011 р. – 53 с.
9. Півняк Г. Г. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією/ Г.Г. Півняк, О. В. Волков. – Дніпропетровськ, НГУ, 2006. – 470 с.

# ДОДАТКИ



**Метою** магістерської роботи є розробка системи автоматизації технологічного процесу фільтрації пива на базі мікропроцесорної техніки.

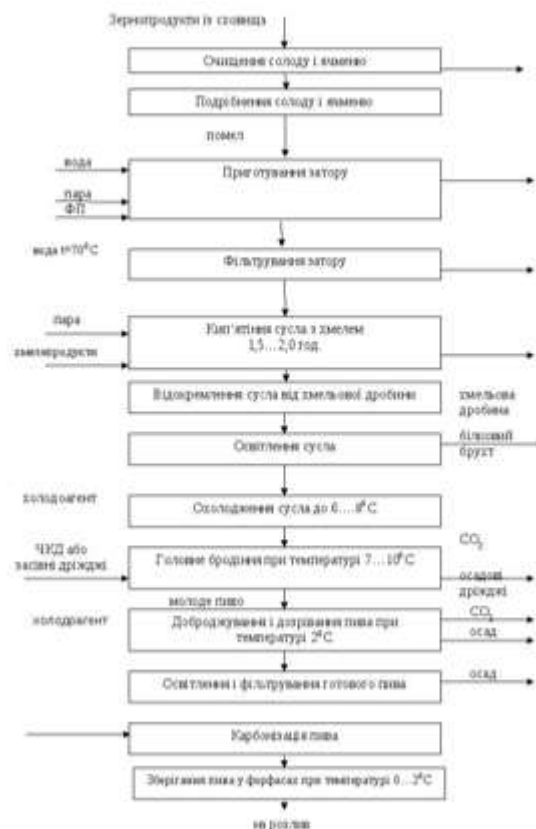
Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- вивчити технологічний процес;
- розробити алгоритм керування;
- розробити функціональну схему автоматизації;
- вибрати і обґрунтувати засоби вимірювання;
- вибрати і обґрунтувати інтелектуальні датчики;
- вибрати і обґрунтувати ПЛК і модулі введення-виведення.

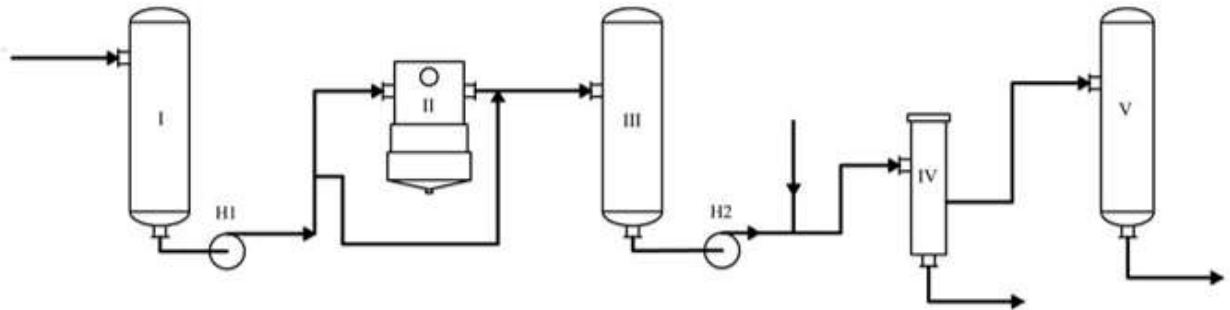
**Об'єктом** магістерської роботи є технологічний процес фільтрації пива.

**Предметом** магістерської роботи є система керування технологічним процесом фільтрації пива.

Структурна схема виробництва пива

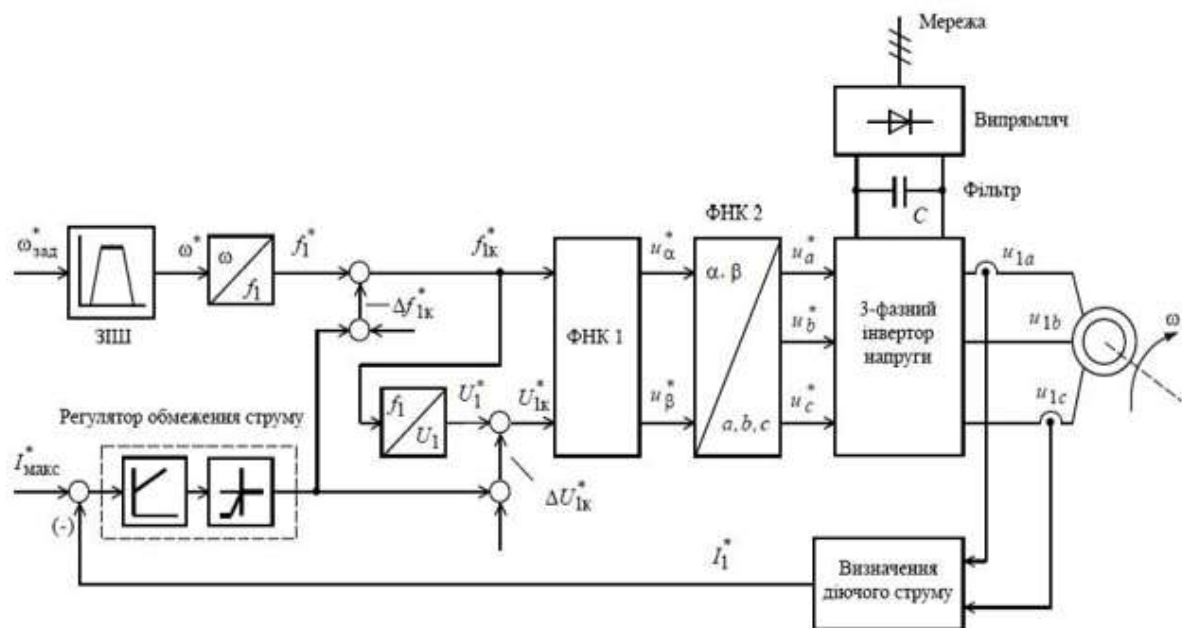


## Технологічна схема процесу фільтрації пива



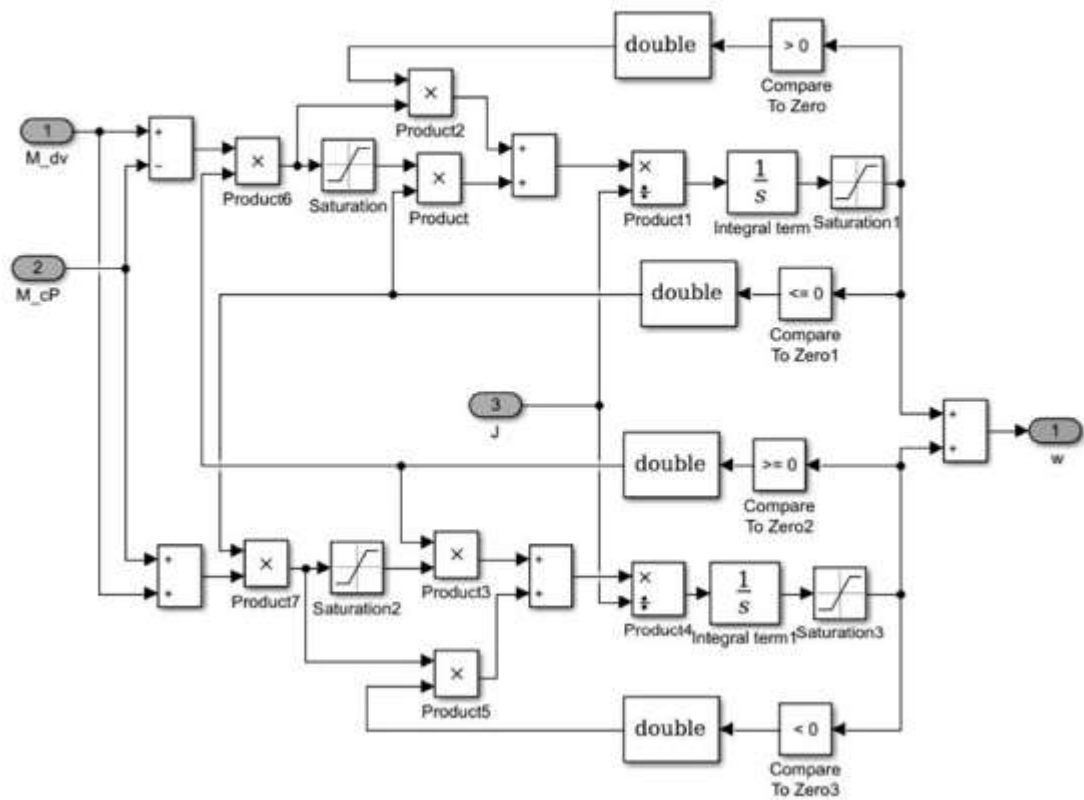
Буферний танк I; фільтр II; буферний танк III; карбонізатор IV; збірник V

## Функціональна схема електропривода насоса

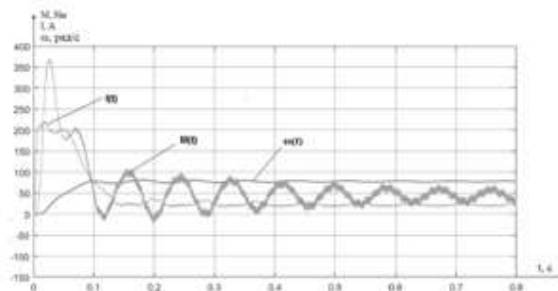
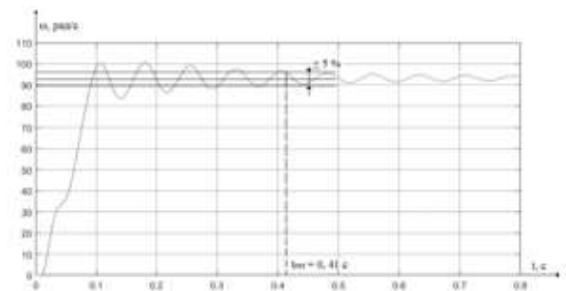
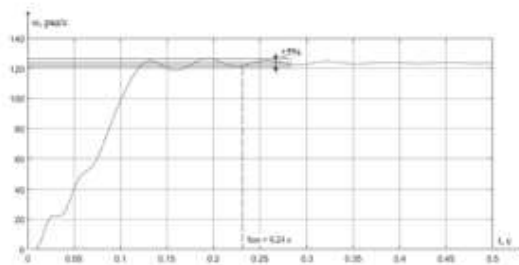
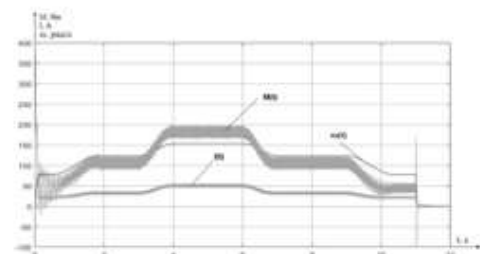


ЗШ – задатчик інтенсивності швидкості; ФНУ 1 – формувач напруги керування; ФНУ 2 – перетворювач напруги керування

## Імітаційна модель насоса в системі Matlab Simulink



## Графіки перехідних процесів

Характеристики  $\omega(t)$ ,  $M(t)$  та  $i(t)$  при пуску на частоті 25 ГцХарактеристика  $\omega(t)$  під час пуску на частоті 30 ГцХарактеристика  $\omega(t)$  під час пуску на частоті 40 Гц

Діаграма відпрацювання циклу плавний пуск – ступінчастий розгін до номінальної швидкості – робота на номінальній швидкості – гальмування – зупинка

Схема підключення витратоміру

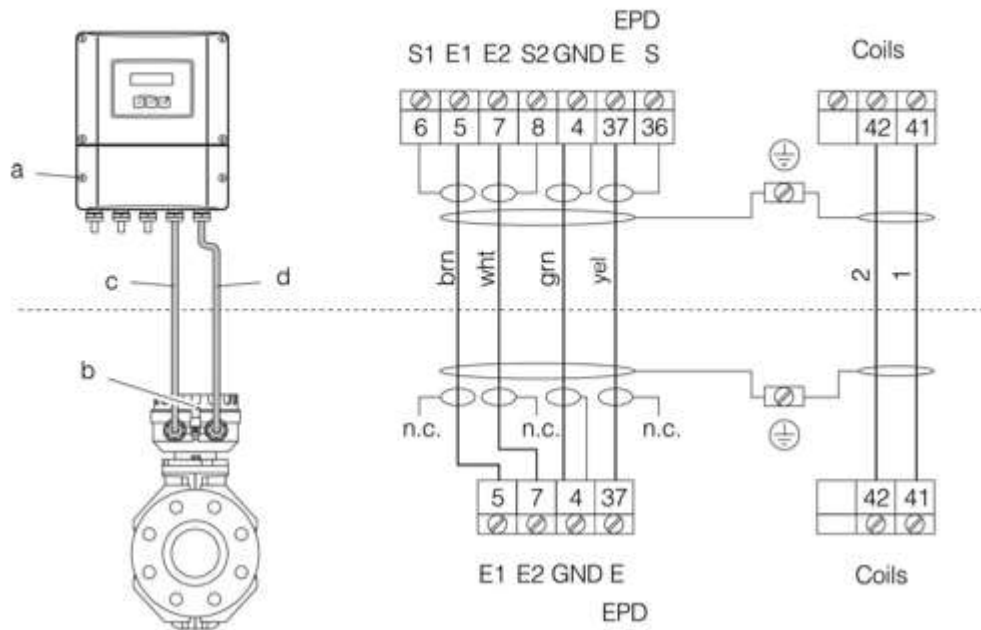
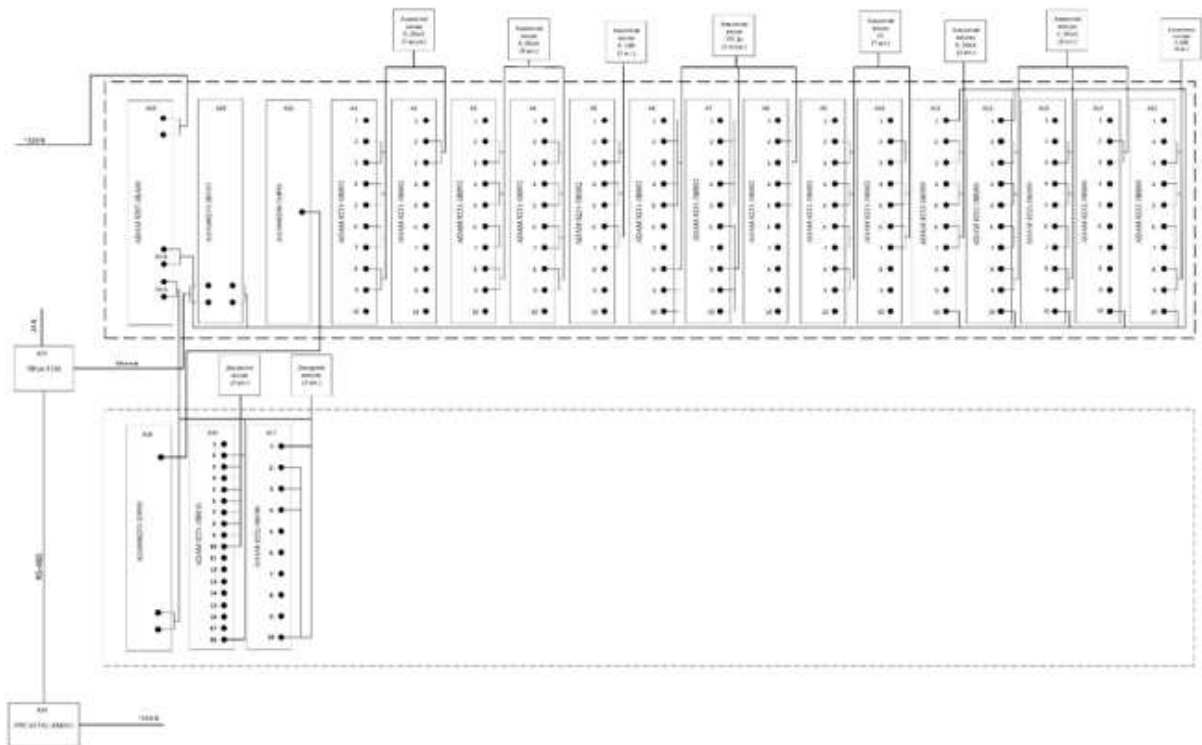
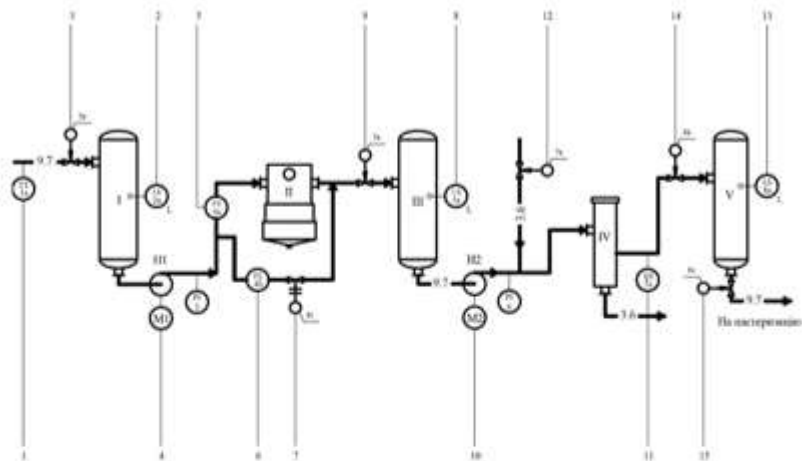


Схема електричних з'єднань програмованого логічного контролера – ADAM 8000

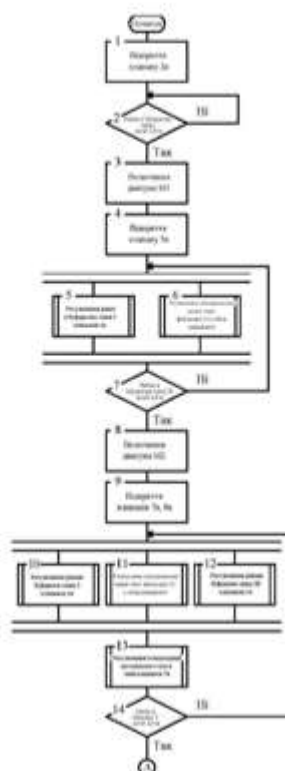


### Функціональна схема автоматизації фільтрації пива



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
За місцем		4 °C	2,2 м	нагрівання	нагрівання	5 м³/год	1 м³/год		2,2 м	нагрівання	нагрівання	4,0 м	2,2 м				
На щитку		PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	
Локальний УВК	ADAM-5000	Y															
		C															
		S															
		A															
	Робочі станції	Y															
		I															
		R															
Z																	

### Алгоритм фільтрації пива



Таблиця техніко-економічних показників

Показники	Одиниці виміру	Значення		
		до модернізації	після модернізації	абсолютне відхилення
1. Капітальні витрати на модернізацію	грн.	x	249359,27	x
2. Річний фонд часу роботи	год.	3849,69	3909,66	-59,97
3. Річна експлуатаційна продуктивність	бар	17323,61	19352,82	-2029,21
4. Річні експлуатаційні витрати, усього:	грн.	3176757,36	2843067,24	+333690,12
у тому числі:				
витрати на оплату праці	грн.	1734145,41	1467633,09	+266512,32
витрати на ТО та ТР	грн.	45174,48	27187,90	+17986,58
витрати на електроенергію	грн.	1397437,47	1348246,25	+49191,22
5. Вартість однієї машино-години роботи	грн./год.	825,20	727,19	+98,01
6. Вартість технологічної операції	грн./бар	183,38	146,91	+36,47
7. Річний економічний ефект	грн.	x	705797,35	x
8. Строк окупності капітальних вкладень	місяців	x	5	x