

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва та транспорту

Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою АВП
к.т.н., доцент
_____О.К. Дідик
“ ____ ” _____ 2022 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА за ступенем вищої освіти «Магістр»

на тему:

**«Дослідження процесу регулювання температури в
камері промислового холодильника»**

**«Study of the process of temperature regulation in the
chamber of an industrial refrigerator»**

Виконав студент VI курсу групи АК-21МЗ
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
_____В.І. Мікіньов
« ____ » _____ 2022 р.

Керівник роботи
доц, канд.техн.наук
_____О.М. Сербул
« ____ » _____ 2022 р.

Рецензент _____
_____« ____ » _____ 2022 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Призначення та область застосування виробу.....	6
1.1 Фізичний принцип дії холодильного обладнання.....	6
1.2 Особливості і типи холодильників	9
1.3 Узагальнені завдання автоматизації холодильних установок.....	14
2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування вибору прийнятого принципу побудови виробу.....	15
2.1 Основне завдання автоматизації холодильної установки.....	15
2.2 Статична характеристика холодильної установки.....	15
2.3 Способи рішення основної задачі автоматизації холодильної установки.....	18
2.4 Шляхи вдосконалення систем автоматизації холодильних установок.....	21
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій.....	29
3.1 Вибір схеми підтримки температури в об'єкті охолодження.....	29
3.2 Проектування системи автоматизації холодильної установки.....	33
3.3 Ступінь і об'єм автоматизації.....	35
3.4 Розробка принципів схем, вибір приладів і засобів автоматизації	36
3.5 Обґрунтування підходу зміни холодопродуктивності компресора.....	41
3.5.1 Зміна холодопродуктивності компресора зміною частоти обертання приводу.....	42
3.5.2 Порівняння способів зміни холодопродуктивності компресора.....	47
3.6 Обґрунтування вибору компресора.....	47
3.6.1 Характеристика електромеханічних систем.....	48
3.6.2 Вибір електродвигуна.....	49
3.6.3 Обґрунтування вибору частотного перетворювача.....	49
4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу.....	53

4.1 Опис системи стабілізації температурного режиму промислового холодильника.....	54
4.2 Побудова математичної моделі об'єкта керування.....	56
4.2.1 Методи математичного опису об'єктів керування.....	56
4.2.2 Експериментальні дані.....	57
4.2.3 Визначення коефіцієнта підсилення.....	58
4.2.4 Побудова математичної моделі ланки геометричним методом.....	58
4.2.5 Побудова моделі ланки другого порядку методом площ.....	60
4.2.6 Вибір найкращої апроксимуючої моделі.....	63
4.3 Дослідження залежності сигналу датчика від температури повітря у холодильній камері.....	64
4.3.1 Визначення виду лінії регресії.....	65
4.3.2 Визначення коефіцієнта кореляції.....	67
4.3.3 Оцінка істотності коефіцієнта кореляції та лінії регресії.....	68
4.4 Синтез коректуючого пристрою.....	70
4.4.1 Визначення передаточних функцій системи.....	70
4.4.2 Дослідження системи на стійкість та визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова.....	72
4.4.3 Дослідження системи на стійкість та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра.....	74
4.4.4 Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи.....	75
4.4.5 Побудова перехідного процесу замкнутої системи.....	76
4.4.6 Побудова бажаної ЛАЧХ системи.....	78
4.4.7 Синтез коректуючого пристрою САР за логарифмічними частотними характеристиками.....	80
4.4.8 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої САР та визначення прямих показників якості.....	81
5 Опис організації робіт, що пов'язані із застосуванням виробу.....	83

5.1 Експлуатація холодильного устаткування.....	83
5.2 Експлуатація та організація обслуговування пристроїв холодильної автоматики.....	84
5.3 Уставки приладів захисту.....	87
5.4 Налагоджувальні прилади.....	88
Висновок.....	89
Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів.....	91
Список літератури.....	92
Додатки.....	93

ВСТУП

Холодильні камери – це споруди, призначені для зберігання продуктів в охолодженому та заморожуваному стані. У камерах холодильника підтримуються досить низькі температури ($+12-40^{\circ}\text{C}$) при досить великій відносній вологості (85-95 %). До приміщень в холодильних камерах пред'являються підвищені санітарні вимоги. В даній роботі розглядається холодильна камера маслосиркомбінату схема виробництва та зберігання масла на якому наведена на кресленні 1.

Обов'язковою умовою збереження високої якості харчових продуктів є створення неперервного холодильного ланцюга, що забезпечує вплив на харчові продукти низьких температур впродовж усього терміну з моменту виробництва або заготовки продукту до моменту споживання.

Холодильники, розташовані в різних районах країни, є ланками безперервного холодильного ланцюга, а зв'язок між ними здійснюється холодильним транспортом.

Зі зростанням холодильної місткості розвиваються і холодильне машинобудування і приладобудування. Холодильне обладнання випускають у вигляді автоматизованих агрегатів. Значну увагу приділяють конструюванню та виготовленню малих холодильних машин автоматизованого типу.

Для збереження і переробки всебільш зростаючої кількості продуктів харчування необхідно збільшувати об'єми і зменшувати строки будівництва холодильників і холодильного устаткування, а також здійснювати технічне удосконалення існуючих холодильних агрегатів. Нині намічено значно збільшити місткість холодильників в харчовій промисловості. Збільшуються холодильні ємкості також і в системі торгівлі, в сільському господарстві. Їх доцільно оснащувати новітнім холодильним устаткуванням з забезпеченням автоматизації і механізації процесів виробництва. А це свідчить про актуальність даної роботи.

В даній випускній кваліфікаційній роботі пропонується вирішення актуальної задачі дослідження можливості вдосконалення системи стабілізації температурного режиму промислового холодильника. Проте слід відмітити, що для отримання якісного продукту, зменшення кількості відбракованих виробів вирішення такої задачі не можливе без зв'язування особливостей роботи вказаного агрегату.

Об'єктом дослідження є процес стабілізації температури в приміщенні промислового холодильника.

Предмет дослідження – система стабілізації температурного режиму промислового холодильника.

В роботі основну увагу слід приділити стабілізації технологічного параметра, для чого необхідно розглянути значимість підтримування даного параметра, підходи до реалізації подібних систем, вибрати найкращий. Необхідно розробити функціональну та структурну схеми системи, визначити її показники якості, побудувавши перехідний процес, а у випадку невідповідності заданим значенням провести синтез коректуючого пристрою.

Також необхідно розглянути питання охорони праці, техніки безпеки при роботі на вказаному обладнанні.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВИРОБУ

1.1 Фізичний принцип дії холодильного обладнання

Охолодження – процес пониження температури охолоджуваного тіла. Знизити температуру речовини можна шляхом зменшення її внутрішньої енергії. Тому для штучного охолодження створюють такі умови, при яких теплова енергія (тепло) відводиться від охолоджуваного тіла (охолоджуваного середовища) і сприймається іншим, холоднішим тілом. Для тривалого охолодження необхідно, щоб сприйняття тепла тілом, що охолоджує, відбувалося без підвищення його температури, оскільки інакше температури обох тіл (охолоджуваного і охолоджувача) стануть однаковими і охолодження припиниться. Таку властивість мають тіла при деяких змінах свого стану, наприклад, тверді тіла можуть сприймати зовнішнє тепло без підвищення своєї температури при плавленні або таненні; рідкі – в процесі випарювання або кипіння [1-3].

В основі сучасних промислових способів охолодження лежать процеси випарювання або кипіння, плавлення або танення і сублімації. Усі ці процеси протікають з поглинанням тепла з довкілля.

Під час переходу тіла з твердого стану в рідкий (плавлення або танення) тепло, що сприймається ним ззовні, витрачається на зміну зв'язків між молекулами речовини, на послаблення сил її молекулярного зчеплення. Коли тіло переходить з рідкого стану в пароподібний (випар або кипіння), тепло витрачається також на подолання сил молекулярного зчеплення рідкого тіла і роботу його розширення. У разі переходу тіла з твердого стану безпосередньо в газоподібний (сублімація), тепло витрачається на подолання сил зчеплення молекул речовини і зовнішнього тиску, що перешкоджає цьому процесу.

На властивості тіл поглинати зовнішнє тепло при плавленні або таненні засновано охолодження льодом і льодосоляними сумішами.

Охолодження за допомогою поглинання зовнішнього тепла при кипінні летких рідин здійснюється холодильними машинами. Властивість тіл поглинати

зовнішнє тепло при їх сублімації використовується для охолодження так званим сухим льодом. Найбільш поширеним нині являється охолодження холодильними машинами.

Застосування отримали різні способи машинного охолодження. Найпростішим з таких способів є спосіб дроселювання стислих газів. Якщо газ при температурі довкілля піддати сильному стискуванню, а потім забезпечити процес адіабатичного розширення при різкому пониженні тиску, то температура газу знизиться і його можна використовувати як охолоджувач. Проте отримання низьких температур у такий спосіб пов'язане з великими енергетичними витратами [4, 5].

Одним із способів машинного охолодження є охолодження вихровим ефектом. Цей спосіб здійснюється у вихровій трубці Ранка, яка є циліндричною трубкою невеликої довжини, внутрішня порожнина її розділена на дві порожнини діафрагмою з центральним отвором. Через сопло, розташоване в безпосередній близькості від діафрагми і спрямоване по дотичній до внутрішнього діаметру, в трубу подається стисле повітря температури довкілля. При завихренні повітря в центрі труби створюється розрідження і відповідно знижується температура. Холодне повітря з t_x через отвір діафрагми виходить в охолоджуване середовище.

Значна частина кінетичної енергії завихрення повітря витрачається на тертя в його зовнішніх шарах, внаслідок чого повітря в цих шарах нагрівається. Нагріте повітря виходить в довкілля через регулювальний дросельний вентиль. Температура холодного і гарячого потоків повітря залежить від конструкції і параметрів трубки, від початкових параметрів поступаючого повітря (його вологості, температури і тиску), від співвідношення мас потоків, регульованих дросельним вентилем. При роботі вихрової трубки на сухому повітрі з початковим тиском $0,5 \text{ мН/м}^2$, температурою 20°C і масовій долі холодного потоку $0,3\text{-}0,35$ температура холодного потоку може досягати 50°C .

Проте, низька економічність термодинамічних процесів, що відбуваються у вихровій трубці, внаслідок їх безповоротності і значних втрат на тертя,

обмежує практичну можливість використання вихрового ефекту в холодильниках.

Нині найбільшого поширення в холодильній техніці набули так звані парові холодильні машини (агрегати) компресійної і абсорбційної дії. Як робочі речовини в них використовують рідини, киплячі при від'ємних температурах [6, 7].

Принцип дії заснований на тому, що теплота охолоджуваної рідини передається рідкому холодоагенту і витрачається на його пароутворення при від'ємній температурі. Пари холодоагенту подаються в теплообмінний апарат, розташований в довкіллі, де вони віддають поглинене тепло і перетворюються на рідину. Рідкий холодоагент знову повертається в охолоджуване середовище і цей круговий процес повторюється.

Таким чином, в цих холодильних машинах робоча речовина не витрачається, а тільки циркулює в герметичній системі, змінюючи свій агрегатний стан. Це дозволяє отримувати необхідне охолодження впродовж тривалого часу при невеликій кількості робочої речовини.

Принципова відмінність компресійних парових холодильних машин від абсорбційних машин полягає в тому, що по-перше циркуляція робочої речовини здійснюється при роботі компресора, а по-друге – внаслідок процесу абсорбції і роботи термонасоса.

Все більш широке застосування отримує термоелектричне охолодження, засноване на явищі Пельтьє. Суть явища полягає в тому, що при пропусканні постійного струму через ланцюг, що складається з термоелементів, одні спаї охолоджуються, поглинаючи тепло з довкілля, а інші нагріваються, віддаючи тепло довкіллю. Таким чином, роль холодоагенту в термоелектричному холодильнику виконує електричний струм, який переносить тепло від холодних спаїв до гарячих. Простота процесу охолодження, а відповідно, і конструкції термоелектричних холодильників роблять термоелектричне охолодження дуже перспективним для застосування в побуті.

1.2 Особливості і типи холодильників

Розрізняють за призначенням виробничі, заготівельні, транспортні, перевалочні, базисні, торговельні та розподільні холодильники.

Виробничі холодильники будують при харчових підприємствах (м'ясокомбінатах, молочних заводах, рибоперероблювальних заводах і т. п.). Такі холодильники призначені для первинної холодильної обробки (заморожування, охолодження), а також для короткочасного зберігання сировини і готової продукції (10-20 днів).

Особливістю вказаних холодильників є велика продуктивність пристроїв для охолодження і заморожування продукції і порівняно невелика ємкість для зберігання. Найбільше розповсюдження отримали виробничі холодильники місткістю 500-5000 т та з продуктивністю морозильних камер порядку 20-100 т на добу.

Заготівельні холодильники будуються в районах заготівлі харчових продуктів (фруктів, яєць). В них здійснюють сортування, первинну холодильну обробку (заморожування чи охолодження), а також нетривале зберігання продуктів до відправки в райони споживання (10-20 днів). Заготівельні холодильники оснащені потужними холодильними установками. Вони являються першою ланкою безперервного холодильного ланцюга.

Далі розглянемо розподільні холодильники призначені для рівномірного постачання споживачів продуктами харчування протягом року. Їх розміщують в містах та у промислових центрах. На розподільному холодильнику у сезон заготівель створюють резервні запаси продуктів. Продукти на розподільні холодильники поступають з заготівельних і виробничих холодильників в охолодженому або у замороженому вигляді. Тому на розподільних холодильниках в лише зберігають охолоджені чи заморожені вантажі. Продукти зберігаються впродовж тривалого часу (до 3-6 місяців). Для вантажів, що розтанули в дорозі, передбачають невеликі камери для доморожування чи доохолодження. Місткість розподільних холодильників 500-35 000 т.

Розподільні холодильники поділяють на універсальні і спеціалізовані. До складу розподільних холодильників входять цехи по виробництву морозива, водного або сухого льоду, цехи для фасування і заморожування овочів і фруктів, а також для фасування м'яса, масла та інших продуктів. Такі підприємства носять назву холодокомбінати.

Окрім розподільних холодильників існують базисні холодильники ємкістю 2000-15000 т, які призначені для тривалого зберігання заморожених або охолоджених продовольчих вантажів.

Перевалочні холодильники використовують для короткочасного зберігання продуктів в місцях їх перевантаження з транспорту одного виду на інший. Їх зазвичай будують у вузлах шосейних і залізних доріг, в морських і річкових портах. Портові холодильники зазвичай виконують функції розподільних холодильників для того району, де вони розташовані.

Торговельні холодильники використовують для короткочасного зберігання продуктів, які надходять в торговельну мережу. Продукти на такі холодильники йдуть з розподільних холодильників. Розрізняють холодильні установки продовольчих баз (10-500 т) і підприємств торгівлі та холодильники громадського харчування (магазинів, ресторанів, їдалень, кафе) місткістю до 10 т.

На холодильниках продовольчих баз тривалість зберігання продуктів до 10-20 днів. У холодильниках підприємств громадського харчування і торгівлі створюють запаси продуктів на 1-5 днів. Тут зберігають продукти в широкому асортименті, але в невеликій кількості.

Транспортні холодильники використовують для перевезень заморожених або охолоджених харчових продуктів залізничним, водним і автомобільним холодильним транспортом (вагони, секції і потяги-холодильники, автомобілі-холодильники і судна-холодильники. Транспортні холодильники в окремих випадках використовують як заготівельні і виробничі.

Основним показником, який характеризує холодильник, являється його місткість, яка характеризується масою вантажу в тоннах, що можна одночасно зберігати в камерах.

Залежно від об'єму і маси вантажу, його способу укладання і упаковки різні продукти займають різний об'єм і різну площу. Для розміщення однієї і тієї ж кількості розміри камер для мороженого м'яса потрібно в 1,5-1,8 рази більше, ніж розміри камер для зберігання масла.

Тому, щоб по місткості можна було вести розмову про розміри холодильника, місткість виражають умовною місткістю.

За місткістю в умовних тоннах розрізняють такі групи холодильників: великі (понад 5000 т), середні (до 5000 т), малі (до 500 т), дрібні (до 10 т).

У камерах великих і середніх холодильників підтримують наступні температури: - 30-35°C підтримують в морозильних камерах, - 20°C підтримують в камерах схову заморожених вантажів і близько 0° С підтримують в камерах зберігання охолоджених вантажів. У холодильниках невеликих розмірів, де тривалість зберігання вантажів менше, температура зберігання вантажів може бути вищою (- 12-15°C). У холодильниках на торговельних підприємствах, призначених для короткострокового зберігання продуктів, температури в камерах підтримуються близько 0° С.

Огородження холодильників мають таку конструкцію, що перешкоджає проникненню тепла і вологи в середину приміщення, де температура нижча від температури довкілля.

Одноповерхові холодильники (рис. 1.1) мають просту будівельну конструкцію, адже основне навантаження від вмісту передається безпосередньо на ґрунт, а колони сприймають невелике навантаження, яке створюється верхнім покриттям і продуктами, розміщеними на підвісних шляхах. Це дає можливість збільшити навантаження на 1 м² площі підлоги до 5000 кг, а значить, і висоту камер [8].

В Україні нині будують одноповерхові холодильники висотою 4,8-6 м до низу балки покриття. У дрібних холодильниках, де здійснюються малі вантажні операції, висота камер не більше 3-4 м.

Стіни холодильника зазвичай самонесучі або підвісні. Вони додаткового навантаження не сприймають, окрім власної маси. Стіни виконуються із цеглини збірних залізобетонних плит або з профільованих листів з тепловою ізоляцією.

В Україні нині будують одноповерхові холодильники висотою 4,8-6 м до низу балки покриття. У дрібних холодильниках, де здійснюються малі вантажні операції, висота камер не більше 3-4 м.

Стіни холодильника зазвичай самонесучі або підвісні. Вони додаткового навантаження не сприймають, окрім власної маси. Стіни виконуються із цеглини збірних залізобетонних плит або з профільованих листів з тепловою ізоляцією.

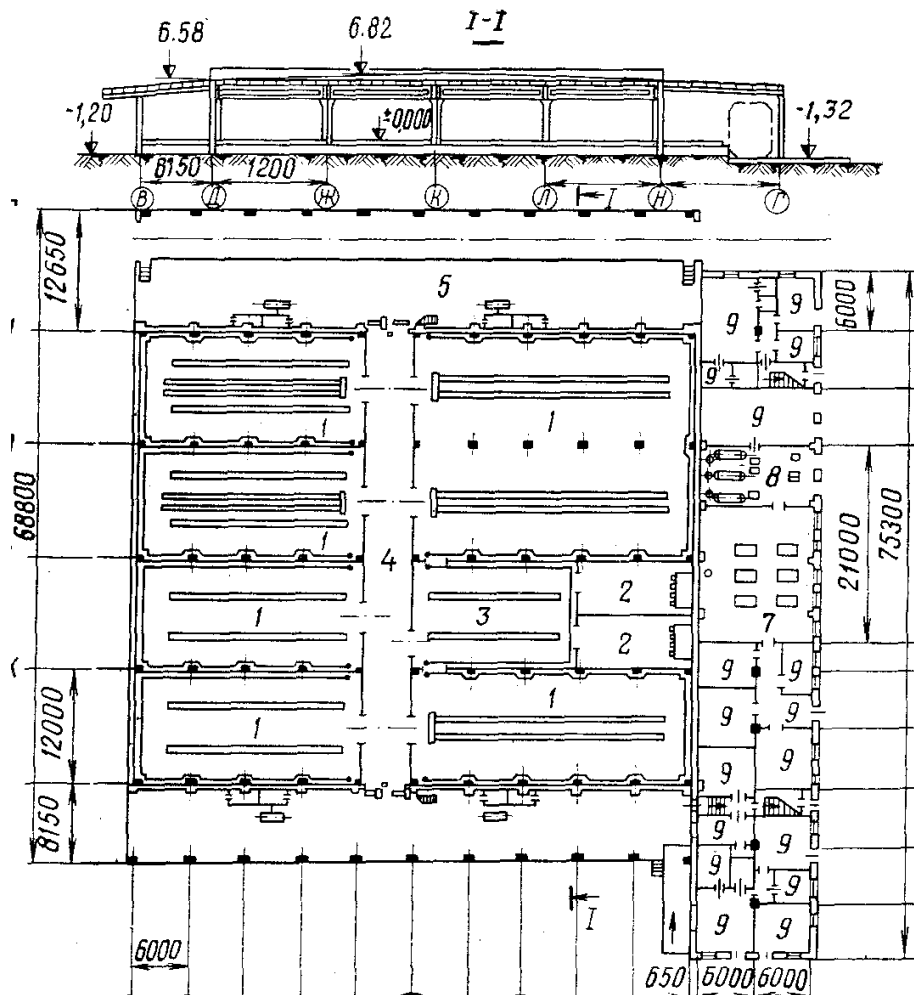


Рисунок 1.1 – Одноповерховий холодильник (3000 т):

1 – холодильна камера; 2 – морозилка; 3 – накопичувально-розвантажувальна; 4 – коридор; 5, 6 – автомобільні платформи; 7 – машинне відділення; 8 – апаратна; 9 – допоміжне і побутове приміщення

Перевагами одноповерхових холодильників є великий фронт вантажних робіт а також можливість використання комплексної механізації навантажувально-розвантажувальних робіт. Найбільш доцільно застосовувати одноповерхові холодильники для зберігання пакетованих продуктів. Недоліками одноповерхових холодильників є велика займана площа земельної ділянки, а також велика поверхня зовнішніх огорожень, що збільшують теплопритоки.

Багатоповерхові холодильники (рис. 1.2) можуть бути 5-6-поверховими з підвалами або без них. Будівля такого холодильника є залізобетонним каркасом, який складається з колон, міжповерхового перекриття і покриття.

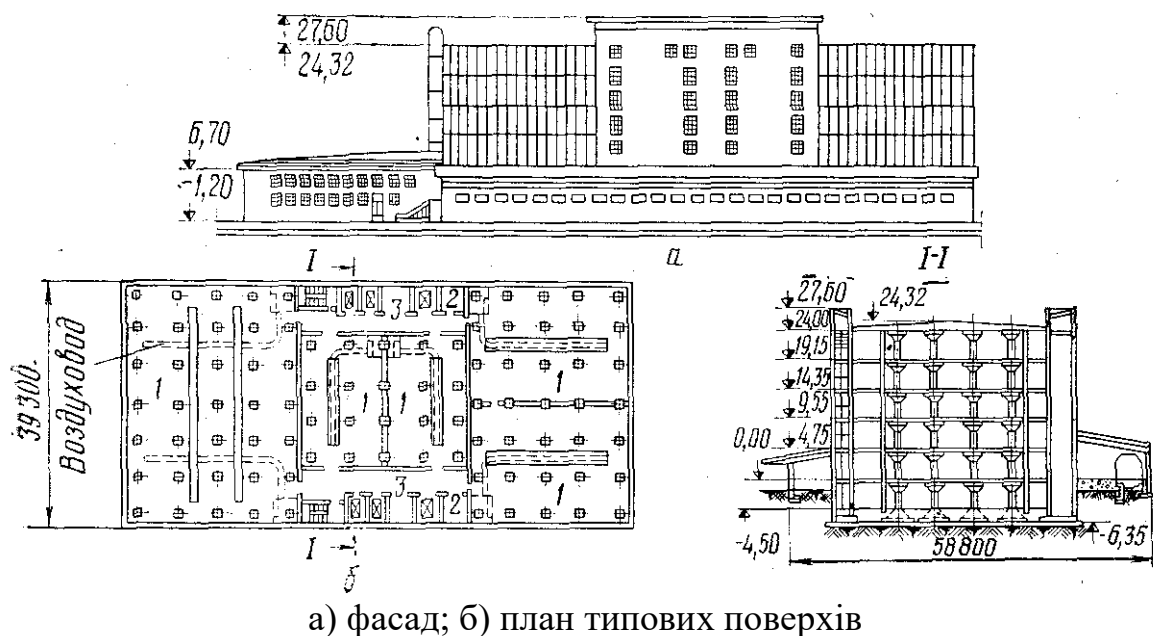


Рисунок 1.2 – Багатоповерховий холодильник:

1 – камера зберігання на 3, 4, 5-му поверхах; 2 – підсобні приміщення; 3 – вестибулі

У багатоповерхових холодильниках на облаштування міжповерхових перекриттів витрачається більше бетону, збільшується тривалість їх будівництва. Вартість загальнобудівельних робіт одноповерхового холодильника менша, ніж багатоповерхового. Тому перевага віддається одноповерховим холодильникам, вони проектується місткістю до 10 000 умовних тонн. Багатоповерховими холодильники проектується місткістю понад 10 000 умовних тонн.

1.3 Узагальнені завдання автоматизації холодильних установок

Під час удосконалення холодильної установки (наведено на кресленні 2) повинні вирішуватися наступні завдання:

- забезпечення високих теплозахисних властивостей конструкцій, що захищають шляхом використання сучасних ефективних теплоізоляційних матеріалів, герметизацією стиків панелей, дверей, введень труб і кабелів;
- розробка і впровадження прогресивних технологій холодильної обробки, зберігання, і транспортування продуктів при строгому нормуванні і підтримці температури і вологості на основі раціонального вибору енергозбережних систем, інженерного устаткування, у тому числі на базі мікропроцесорної техніки;
- досягнення мінімального питомого об'єму камер (3,5...4,5 м³/т) шляхом удосконалення об'ємно-планувальних і конструктивних рішень холодильників;
- під час проектування і будівництва має бути впроваджений принцип формування холодильників і холодильних комплексів обробки і зберігання продуктів на основі блокових автономних будівельно-технологічних секцій (модулів) комплектного постачання.

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПРИЙНЯТОГО ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ ВИРОБУ

2.1 Основне завдання автоматизації холодильної установки

Системи автоматизації вирішують комплекс завдань по управлінню роботою холодильної машини або установки. Ці завдання слід розділяти на основне і допоміжні.

Основним завданням автоматизації є підтримка заданої температури в об'єкті охолодження або температури холодоносія. Це завдання вирішується шляхом автоматичного регулювання температури.

До допоміжних завдань автоматизації відносять живлення випарників рідким холодильним агентом, підтримка тиску конденсації та ін. З постановкою і рішенням основної задачі тісно пов'язана статична характеристика холодильної установки.

2.2 Статична характеристика холодильної установки

Розглянемо просту установку (рис. 2.1, а), яка складається з об'єкту охолодження *Об*, випарника *И*, розташованого в об'єкті, компресора *Км*, конденсатора *Кд* і регулюючого вентиля *РВ*. Нехай установка призначається для підтримки в об'єкті температури t_g . При цьому об'єкт схильний до дії зовнішнього чинника - навколишньої температури t_n . Як видно з схеми, режим роботи установки характеризується значним числом термодинамічних і конструктивних параметрів: температурами холодоагенту в різних точках, температурою середовища, що охолоджує, витратами середовищ, розмірами і параметрами теплопередаючих поверхонь.

Для простоти умовимося, що добуток $k_u F_u = const$ для випарника і температура конденсації $t_k = const$. Обидві ці умови легко реалізуються на практиці: перша – шляхом застосування автоматичних регулюючих вентилів, що

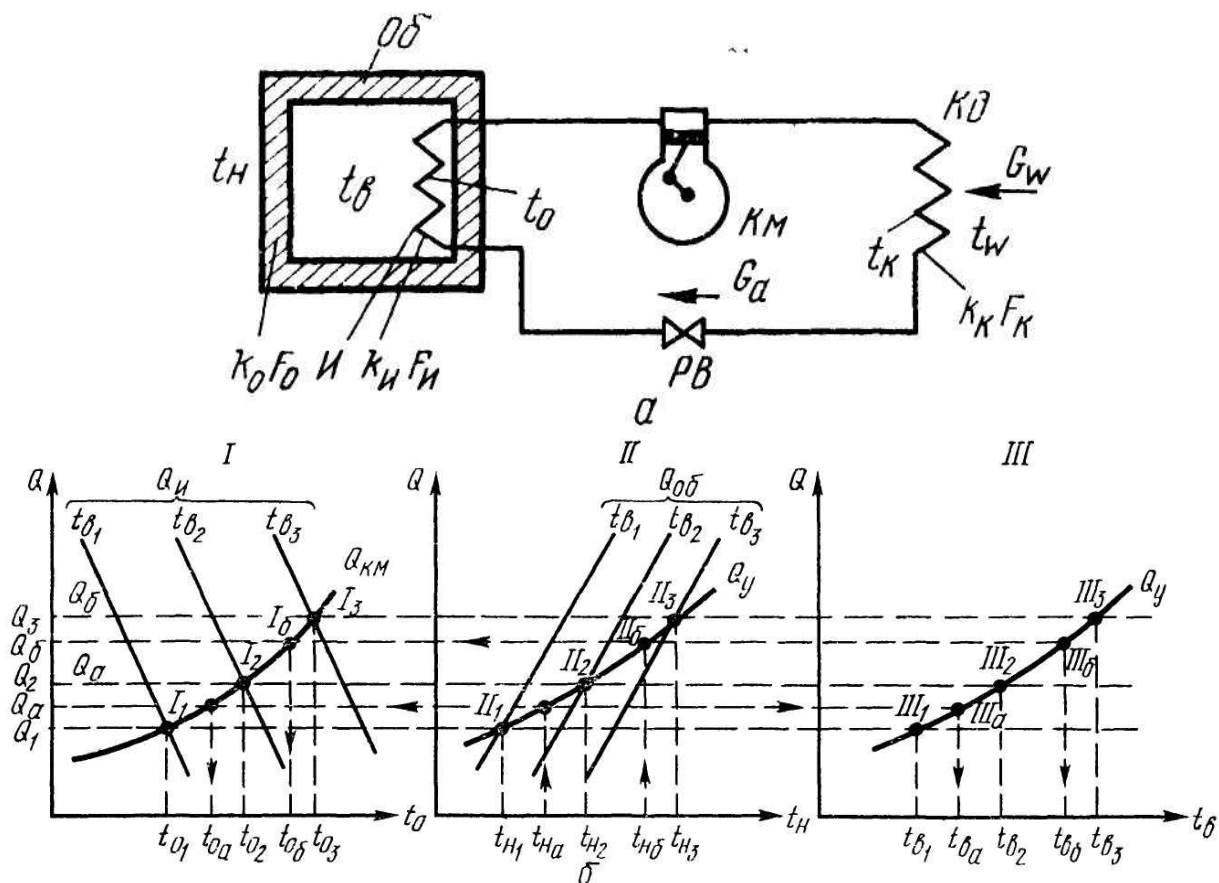


Рисунок 2.1 – Статичні характеристики найпростішої холодильної установки:
а – схема; б – побудова суміщених графіків

змінюють витрату холодоагенту G_a і забезпечують постійне заповнення випарника, друга – за допомогою автоматичного регулятора, який змінює витрату середовища G_w , що охолоджує, і підтримує t_k приблизно постійною.

Тепловий стан об'єкту в усталеному процесі описується системою з трьох рівнянь:

$$Q_{об} = k_o F_o (t_n - t_e), \quad (2.1)$$

$$Q_u = k_u F_u (t_e - t_0) \quad (2.2)$$

$$Q_{км} = f(t_0). \quad (2.3)$$

У цих рівняннях $Q_{об}$ і Q_u – кількість теплоти, що проходить в одиницю часу відповідно через обгороджування об'єкту і теплопередаючу поверхню випарника; $k_o F_o$ – величина, що характеризує теплопередачу через обгороджування об'єкту; $Q_{км}$ – холодопродуктивність компресора.

Рівняння (2.3) є характеристикою компресора, що отримується зазвичай експериментальним шляхом.

Помітимо, що в сталому стані $Q_{об} = Q_u = Q_{км}$.

З'ясуємо, яких значень набуватиме температура t_g при різних значеннях t_n і безперервно працюючому компресорі. Для цього побудуємо три поєднані графіки (рис. 2.1, б).

На графіку *I* сумістимо характеристики компресора $Q_{cm} = f(t_0)$ і випарника $Q_u = f(t_0)$ (остання побудована для трьох значень температури повітря t_{g1}, t_{g2}, t_{g3}). Точки I_1, I_2 і I_3 є робочими для вибраних значень t_g . На графіку *II* побудуємо характеристику $Q_{ob} = f(t_n)$ по рівнянню (2.1) для тих же значень t_g . Виходячи з умови усталеного стану $Q_{ob} = Q_u = Q_{cm}$, можна стверджувати, що точки II_1, II_2 і II_3 також відповідають тим же трьом сталим режимам. З'єднавши ці точки плавною кривою, отримуємо статичну характеристику установки $Q_y = f(t_n)$, яка дозволяє визначити фактичне теплове навантаження на об'єкт при різних значеннях зовнішньої температури t_n .

Графік *III* є допоміжним. Для значень t_{g1}, t_{g2} і t_{g3} і навантажень Q_1, Q_2 і Q_3 знайдені точки III_1, III_2 і III_3 , які належать статичній характеристиці установки у вигляді $Q_y = f(t_g)$.

З викладеного можна зробити наступні висновки. Холодильна установка є об'єктом з самовирівнюванням. Це означає, що кожному значенню навантаження, в даному випадку зовнішньої температури, відповідає певний усталений стан, що характеризується деяким набором параметрів. При цьому в досить широких межах зміни навантаження установка зберігає працездатність. Якщо з точки зору завдань зміни, що стоять перед установкою, температури, що виникають в об'єкті, є допустимими, то така установка в принципі не вимагає регулювання.

Проте в більшості випадків технологічні процеси, що використовують холодильні машини, пред'являють більш менш жорсткі вимоги до підтримки температури охолоджуваного середовища. Описані вище статичні характеристики дозволяють оцінити вплив навантаження на вихідну величину, в даному випадку температуру повітря в камері, і прийняти рішення про необхідність регулювання (ручного або автоматичного).

2.3 Способи рішення основної задачі автоматизації холодильної установки

Завдання підтримки температури з'являється тоді, коли на об'єкт діють зовнішні дії, що змінюються в часі. Температура в об'єкті t_6 має тенденцію змінюватися із зміною зовнішньої температури t_n . Таким чином, основне завдання полягає в тому, щоб компенсувати зміни зовнішніх дій і добитися постійності величини t_6 .

Прийmemo ті ж спрощуючі умови, що і в попередньому тексті, і додатково умовимося, що $t_6 = t_{63} = const$, тобто основне завдання вирішене (t_{63} – задане значення). Для опису поведінки установки скористаємося тією ж системою рівнянь (2.1 - 2.3). Очевидно, графіки цих функцій спростяться і матимуть вигляд (рис. 2.2). Елементи установки виберемо так, щоб при максимальному навантаженні Q_2 робоча точка I_2 розташовувалася на перетині характеристик $Q_{км}$ і Q_u . Отже, при менших навантаженнях для підтримки умови $t_6 = t_{63}$ мають бути вжиті спеціальні заходи для збереження умови $Q_{об} = Q_u = Q_{км}$. Цього можна досягти двома способами: штучним підвищенням теплового навантаження на об'єкт або зменшенням холодопродуктивності холодильної машини.

Суть першого способу полягає в тому, що в об'єкт вводять керований нагрівач. Якщо зовнішня температура t_{6a} нижче граничної t_{n2} , то що вноситься в об'єкт ззовні теплота $Q_{об} = Q_a < Q_2$. Бракуючу частину теплоти $Q_T = Q_2 - Q_a$

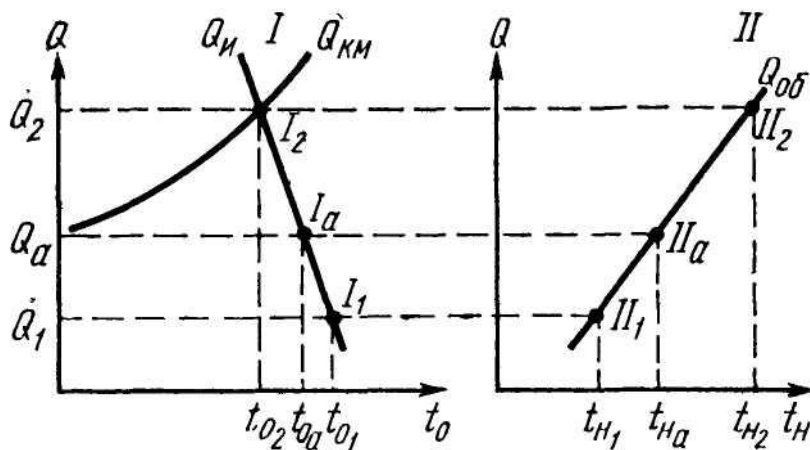


Рисунок 2.2 – Спрощені статичні характеристики

повинен дати нагрівач. Цей спосіб знаходить дуже обмежене застосування через високі енергетичні втрати і тому в даній роботі не розглядається.

Суть другого способу полягає в тому, що робоча точка характеристики холодильної машини переміщається відповідно до навантаження на об'єкт, причому це переміщення відбувається по лінії Q_u (ця лінія залишається незмінною з раніше прийнятої умови $k_u F_u = \text{const}$). Так, при зовнішній температурі t_{na} режим холодильної машини визначається робочою точкою I_a . Звідси витікає, що завдання буде вирішено, якщо характеристика компресора $Q_{км}$ зміниться так, що точка її перетину з Q_u співпаде з I_a . Це означає, що при другому способі основне завдання вирішується зміною характеристики компресора, який є регульованим елементом холодильної установки. Цей спосіб енергетично досконаліший, оскільки в загальному випадку для виробництва меншої кількості холоду компресор витрачає менше енергії.

Приведені міркування відносяться і до некомпресійних холодильних установок, наприклад абсорбційних, в яких регульованим стає основний енергоспоживаючий елемент – генератор.

Розрізняють дві основні системи зміни холодопродуктивності: плавну і позиційну (ступінчасту). Плавна система може забезпечити будь-яке значення холодопродуктивності між максимальним і мінімальним. Позиційна система міняє холодопродуктивність стрибками (східцями). Залежно від числа східців розрізняють дво-, три- і багатопозиційні системи.

Існує також позиційне регулювання, що наближається за своїми властивостями до плавного. Це має місце, коли розмах коливань дуже малий, а їх частота відносно велика. Плавна зміна холодопродуктивності в компресійних установках може реалізовуватися за допомогою зовнішніх і вбудованих пристроїв.

До зовнішніх відносять регулюючі пристрої (наприклад, регулюючі клапани), що встановлюються на всмоктуючій лінії компресора або на лінії перепускання з нагнітального боку на всмоктуючий. Клапани на всмоктуючих лініях дроселюють пару перед компресором, знижуючи його масову

продуктивність, а перепускні або байпасні клапани повертають частину стислої пари на всмоктування, внаслідок чого зменшується кількість пари, що відсмоктується з випарника. До зовнішніх пристроїв відносять також плавно регульовані приводи компресорів (наприклад, регульовані електродвигуни постійного або змінного струму, парові або газові турбіни і т.д.).

Вбудованими є пристрої, що змінюють внутрішні параметри компресорів. У поршневих компресорах можуть застосовуватися золотники, що поєднують порожнину циліндра зі всмоктуючою порожниною і плавно змінюють хід стискування, а також пристрої, що плавно змінюють мертвий об'єм циліндрів. У гвинтових компресорах регулюючі золотники змінюють хід стискування гвинтів. У відцентрових компресорах застосовують регульований вхідний направляючий апарат.

У тепловикористовуючих установках для плавної зміни холодопродуктивності використовують виключно регулюючі клапани, що змінюють витрату гріючих або охолоджуючих середовищ. Так, в абсорбційних установках регулюючі клапани встановлюють на лінії подачі пари або іншого гріючого середовища в генератор.

Позиційну зміну холодопродуктивності в основному використовують в установках з поршневими компресорами. Найбільш поширеним є спосіб "пуск-зупинка" компресора. Якщо в установці один компресор, то здійснюється двопозиційне регулювання, якщо декілька – багатопозиційне.

Широко поширений спосіб зміни холодопродуктивності відключенням частини циліндрів в багатоциліндрових компресорах. Залежно від числа циліндрів такий спосіб дозволяє створити системи з трьома, чотирма і більше східцями холодопродуктивності. Якщо перемикання циліндрів здійснюється з досить високою частотою, то така позиційна система за своїми властивостями виявляється близькою до плавної.

Одним з можливих способів є застосування багатошвидкісних електродвигунів з відповідними схемами управління.

Реалізація основного завдання автоматизації фактично зводиться до вибору способу зміни холодопродуктивності і створенню відповідних систем регулювання. При цьому беруть до уваги різні техніко-економічні чинники, що характеризують холодильні установки: первинна вартість, довговічність, простота, надійність в експлуатації, витрати праці на експлуатацію і ремонт, енергетична ефективність та ін.

2.4 Шляхи вдосконалення систем автоматизації холодильних установок

Подальше вдосконалення автоматизації промислових холодильних установок піде шляхом підвищення її економічної ефективності, яка досягається зниженням первинних витрат на автоматизацію і скороченням експлуатаційних витрат.

Зниження первинних витрат може бути отримане в результаті здешевлення вживаних елементів, спрощення систем, застосування індустріальних методів монтажу і наладки.

Перше з джерел зниження – здешевлення приладів і засобів автоматизації – залежить в основному від досконалості конструкції і технології виробництва елементів автоматики, від зростання кількості вживаних елементів. Велику роль грає тут ступінь уніфікації вузлів і деталей різних приладів. При проектуванні автоматизації слід по можливості зменшувати кількість типів вживаних приладів.

Важливим чинником зниження первинних витрат є спрощення автоматичних систем. При проектуванні системи автоматизації слід уникати використання зайвих приладів, усувати дублювання, в електричних схемах треба виключати зайві зв'язки і блокування. Таким вимогам відповідає система, яка досліджується в даній роботі (наведено на кресленні 3).

Велике значення має індустріалізація монтажних і налагоджувальних робіт. Якщо спочатку майже усі монтажні роботи проводили на місці, то останнім часом значну частину систем, особливо електричні схеми управління, монтують на спеціальних підприємствах. Надалі передбачається, що кожен

компресор, агрегат, апарат, насос і інше устаткування поступатиме на місце укомплектованим не лише усіма приладами і засобами автоматизації, але і електричними схемами управління. Монтаж на місці полягатиме в з'єднанні окремих вузлів автоматизації. Використання машин, що комплексно поставляються, і апаратів спростить також наладку систем.

Перераховані заходи дозволяють значно скоротити первинні витрати.

Економія експлуатаційних витрат також досягається різними шляхами. Один із способів – підвищення надійності окремих елементів і автоматичних систем в цілому. Системи високої надійності дозволяють зменшити витрати на обслуговування і ремонт приладів і засобів автоматизації; у зв'язку із збільшенням терміну служби скорочуються амортизаційні відрахування.

Економія експлуатаційних витрат може бути досягнута також при роботі установки в найбільш вигідному режимі. В результаті цього зменшуються витрати енергії на виробництво холоду, покращується якість продуктів і знижуються його втрати при зберіганні. Два останні показники, хоча і є важливими, але важко піддаються об'єктивній оцінці. Нині приймають, що якість продуктів зберігається при точній підтримці заданих технологічних режимів, а їх втрати при зберіганні знижуються при зменшенні температурних перепадів між повітрям і охолоджуючими поверхнями.

Розглянемо детальніше питання економної витрати електроенергії. При управлінні багатооб'єктною установкою основне завдання зводиться до узгодження продуктивності холодильної машини з фактичним тепловим навантаженням. Це узгодження виробляють шляхом автоматичної підтримки заданого значення температури кипіння холодильного агента або розсолу. Відхилення цих температур використовують як непрямі показники теплового навантаження. Температуру кипіння холодильного агента або розсолу задають виходячи з максимальних теплових навантажень, які можуть бути тільки в окремих випадках. При правильному ж виборі поверхні, що охолоджує, розрахункова різниця температур часто виявляється надмірно великою. При безперервній роботі пристроїв, що охолоджують, їх продуктивність перевищує потрібну, що призводить до необхідності

періодично відключати батареї, припиняючи подачу в них рідини або відсмоктування пари. Така система управління викликає додаткові втрати енергії внаслідок неповного використання поверхонь.

Продуктивність пристроїв, що охолоджують, для камери при їх безперервній роботі

$$Q_{oy.max} = kF(t_B - t_0) \quad (2.4)$$

де kF – добуток коефіцієнта теплопередачі на поверхню;

t_B і t_0 – відповідно температури повітря і кипіння.

При циклічній роботі продуктивність зменшується тобто:

$$Q_{oy} = bkF(t_B - t_0) \quad (2.5)$$

де $b < 1$ – коефіцієнт робочого часу. При цьому, якщо у формулі (2.4) величина t_0 не є в загальному випадку постійною і залежить від умов, що склалися, то у формулі (2.5) передбачається, що $t_0 = \text{const}$ і $t_B = \text{const}$ (з точністю до амплітуди коливань в результаті позиційного регулювання). Постійність t_0 досягається за допомогою автоматичного регулятора, що управляє роботою компресорів, або безпосередньо температурою кипіння шляхом дроселювання. Постійність t_B забезпечується регулятором температури в камері, який залежно від навантаження змінює величину t_B . Формула (2.5) показує, що коефіцієнт t_B зменшує фактичну поверхню, що викликає зниження енергетичних показників.

Аналіз показує, що в результаті зменшення поверхонь втрати енергії можуть досягати 10 ÷ 25 %. На рис. 2.3 показані додаткові втрати енергії ε при $t_B = 0^\circ$, температурі конденсації $t_K = 30^\circ$; система обслуговується компресором АУ-200. Втрати підраховані для випадку двопозиційного регулювання в об'єкті першого порядку. Таким чином можна зробити два висновки.

1. З формули (2.5) виходить, що найвигідніше в енергетичному відношенні мати $b = 1$. Це можливо тільки тоді, коли пристрій, що охолоджує, не відключається; при цьому його продуктивність визначається продуктивністю компресора. Для багатооб'єктних установок це означає, що кожен об'єкт повинен мати автономну холодильну машину. Децентралізоване постачання холодом зручно для повної автоматизації; останнім часом за кордоном воно застосоване

на ряді холодильників [9]. Однією з переваг такої системи є висока енергетична ефективність.

2. Найбільш вигідне, тобто оптимальне, управління центральною установкою полягає в тому, щоб підтримувати максимально високе значення t_0 , яке компенсує теплопритоки при цьому тепловому навантаженні.

У зв'язку з цим різними дослідниками запропонований ряд способів оптимального управління багатооб'єктними установками. Так, наприклад, відомий спосіб підтримки такої температури кипіння, яка була б достатньою для найбільш навантаженого об'єкту [9]. Проте визначення цього об'єкту представляє значні труднощі і вимагає застосування більш менш складних рахунково-рішальних пристроїв.

У Франції, на холодильнику у Витрі-на-Сені [9] для управління компресорами застосований електронний моделюючий пристрій (аналогова ОМ). Тут управління здійснене по фактичних температурах в камерах.

Оптимальне управління може бути здійснене також за допомогою "зворотної" ступінчастої системи, запропонованої автором [9].

Ідея такої системи пояснюється діаграмою, зображеною на рис. 2.4. У координатах (Q, t_0) проведена лінія $Q_{ou, max}$ побудована по рівнянню:

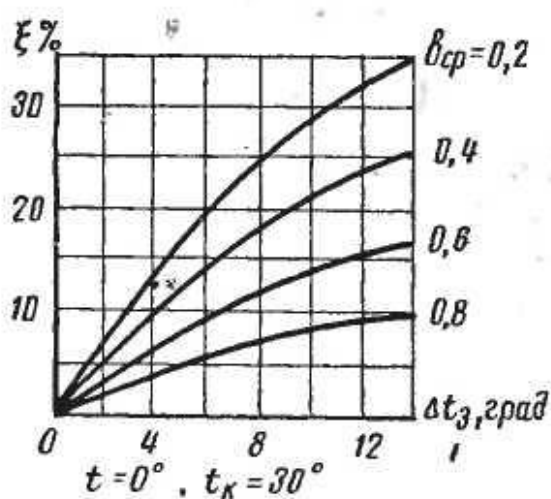


Рисунок 2.3 – Додаткові втрати енергії при відключенні батарей

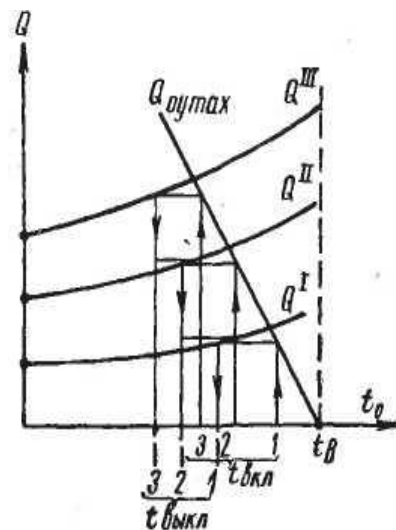


Рисунок 2.4 – діаграма налаштувань зворотної ступінчастої системи

$$Q_{oy.max} = \sum_{i=1}^n (kF\Delta t).$$

Якщо припустити, що об'єкти установки знаходяться в близьких теплових режимах, то лінія $Q_{oy.max}$ показує необхідну температуру кипіння при різних навантаженнях.

У випадку, коли випарна система обслуговується трьома компресорами (чи одним компресором з трьома ступенями продуктивності), одному працюючому компресору відповідає характеристика Q^I , двом компресорам, що одночасно працюють – Q^{II} і трьом – Q^{III} . Якщо припустити, що кожним ступенем управляє власне реле, що сприймає температуру t_0 .

Характерною особливістю "зворотної" системи являється те, що

$$\left. \begin{array}{l} t_{вкл.1} > t_{вкл.2} > t_{вкл.3} \\ t_{викл.1} > t_{викл.2} > t_{викл.3} \end{array} \right\} \quad (2.7)$$

З виразу (2.7) витікає, що якщо здійснити таку систему, то з підвищенням навантаження середня температура кипіння знижуватиметься, тоді як в статичній системі вона підвищувалася. Неважко дійти висновку, що якщо при цьому в зворотній системі реле будуть налагоджені так, що робоча точка знаходитиметься якомога ближче до лінії $Q_{oy.max}$ але завжди зліва від неї, то така

система і буде оптимальною.

Здійснення такої системи не представляє великої праці, якщо врахувати, що зміну теплового навантаження в будь-якій двопозиційній системі викликає зміна тривалості робочої і неробочої частин циклів.

Контролюючи цю тривалість, можна легко управляти компресорами.

У основу одного з можливих варіантів схеми, приведеного на рис. 2.5, покладений принцип контролю

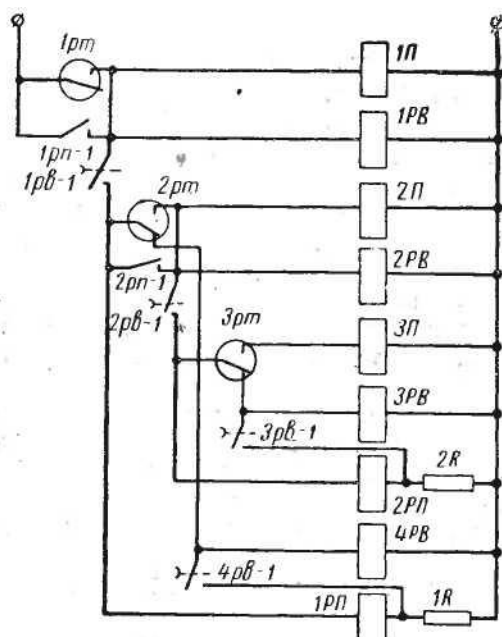


Рисунок 2.5 – Електрична схема зворотної ступінчатої системи.

тривалості обох частин циклу. При невеликому навантаженні циклічно може працювати тільки перший компресор. Два інших примусово відключені незалежно від положення їх температурних реле, що управляють. При зростанні навантаження до величини, що перевищує продуктивність першого компресора, він включається в безперервну роботу, а другий компресор може працювати циклічно по командах свого температурного реле. Нарешті, при великому навантаженні перший і другий компресори працюють в безперервному режимі, а третій – в циклічному. Зменшення навантаження викликає зворотний процес.

Розглянемо роботу електричної схеми (рис.2.5). До її складу входять: контакти трьох температурних реле - $1PT$, $2PT$ і $3PT$, що керують відповідно першим, другим і третім компресорами; чотири реле витримки часу – $1PB$, $2PB$, $3PB$ і $4PB$; проміжні реле – $1PP$ і $2PP$.

Схема управляє електроприводами компресорів через пускову апаратуру, позначену на схемі через $1П$, $2П$ і $3П$.

Якщо навантаження мале, то при підвищенні температури замкнеться контакт $1pt$, який включить перший компресор ($1П$). Одночасно отримує живлення обмотка реле $1PB$, яке з цієї миті починає відлік тривалості τ_{p1} робочої частині циклу. При малому навантаженні тривалості τ_{p1} менше, ніж настройка $1PB$. Отже, після пониження температури кипіння до $t_{\text{викл}}$ – розмикається контакт $1pt$. При цьому зупиняється перший компресор і реле $1PB$ повертається в початкове положення. Так само здійснюватиметься робота і в наступні цикли.

Із зростанням навантаження тривалість τ_{p1} збільшується і, нарешті, при деякому навантаженні стане рівною або більшою, ніж уставка $1PB$. Останнє спрацює і замкне свій контакт $1pv-1$. Це, у свою чергу, викличе спрацювання реле $1PP$, яке контактом $1pn-1$ надалі утримуватиметься і, крім того, житиме безперервно пусковий ланцюг $1П$ і реле $1PB$. Контакт $1pv-1$ підключає в роботу реле $2PT$, яке управляє приводом $2П$ другого компресора.

Таким чином, підвищення навантаження викликало автоматичне переведення першого компресора на безперервний режим і включення другого компресора в циклічну роботу.

Режим роботи другого компресора контролюють два реле часу: $2PB$, що сприймає тривалість τ_{p2} робочої частини циклів і $4PB$, - тривалості $\tau_{н2}$ неробочій частині. Якщо навантаження продовжує зростати, то спрацьовує $2PB$ і через реле $2PII$ переводить другий компресор на безперервний режим, а третій – в циклічний. Якщо ж навантаження падає, то в одному з циклів спрацює $4PB$ і своїм контактом $4pv-1$ накладе шунт на обмотку $1PII$. Воно відпустить і поверне схему в початкове положення, при якому перший компресор працює циклічно, а другий і третій – відключені.

При зростанні навантаження до більшого перший і другий компресори працюють безперервно, а третій – циклічно.

Розглянута схема може зробити систему оптимальною, якщо об'єкти близькі за характеристиками і тепловими режимами.

Перспективним є вдосконалення застосування на холодильниках обліково-інформаційний машини, що дає можливість управляти роботою камер по фактичних теплових припливах. В цьому випадку можна, наприклад, за відсутності надходження вантажів управляти компресорами за принципом зворотної ступінчастої системи. При надходженні вантажів в камеру за допомогою облікової машини визначається кількість тепла, внесеного в камеру з продуктом. Якщо воно більше заздалегідь розрахованої допустимої кількості тепла, машина подає сигнал на пониження температури кипіння з тим, щоб протягом заданого інтервалу часу довести температуру вантажу до нормальної температури камери.

Для підвищення економічності автоматичних систем необхідно своєчасно очищати охолоджуючі пристрої і їх теплопередаючі поверхні від інею, масла і бруду.

Відмова від батарейного охолодження і повний перехід до повітроохолоджувачів і кондиціонерів дасть можливість автоматизувати не лише основний процес підтримки режиму температури і вологості, але і процеси відтавання і очищення пристроїв, що охолоджують.

Децентралізація холодильного устаткування може полегшити експлуатацію камерних кондиціонерів. Індивідуальні автоматизовані машини можна легко переводити в режим теплового насоса, при якому здійснюється обігрів камери і відтавання іненою.

Підвищенню продуктивності праці обслуговуючого персоналу великою мірою сприяє раціональне розміщення і компонування приладів, засобів автоматики і сигналізації. Очевидно, основним способом компонування є місцевий. Як центральний пристрій залишиться невеликий сигнальний щиток, встановлений в компресорному цеху. Відмова від громіздких і дорогих центральних щитів, що розташовуються в спеціальному приміщенні, призводить не лише до економії первинних витрат, але і більшої зручності для обслуговуючого персоналу.

3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ТА КОНСТРУКЦІЙ

3.1 Вибір схеми підтримки температури в об'єкті охолодження

Схема автоматичного регулювання температури залежить від призначення і технологічних особливостей холодильної установки.

Розглянемо деякі найбільш типові схеми, що зустрічаються в практиці автоматизації компресійних холодильних установок.

У однооб'єктній установці (рис. 3.1) температура робочого середовища (повітря або рідини) підтримується шляхом безпосереднього випару холодоагенту в охолоджуючому пристрої - випарнику *И*. Така схема зустрічається найчастіше в установках, де об'єктами *Об* являються камера для зберігання продуктів, випробувальні камери і інші приміщення, в яких необхідно підтримувати температуру повітря.

При виборі системи регулювання слід враховувати теплову місткість об'єкту, допустимі відхилення температури від заданої, а також тип компресора.

Якщо спосіб "пуск-зупинка" можна застосувати, то таке рішення задачі прийнятніше. В цьому випадку регулюючий прилад, чутливий елемент якого розташований в об'єкті, має двопозиційну характеристику і через відповідні пристрої управляє включенням і виключенням електродвигуна компресора K_m .

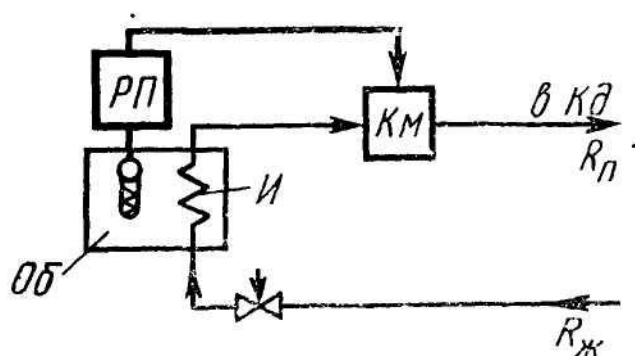


Рисунок 3.1 – Схема підтримання температури в однооб'єктній установці

Якщо спосіб "пуск-зупинка" неприйнятний, то застосовують багатопозиційне регулювання або в необхідних випадках плавне. У цих випадках регулюючий прилад повинен володіти відповідно багатопозиційною або пивною характеристикою і впливати на пристрої регулювання компресора.

На схемі показана установка (рис. 3.2), в якій до компресора (чи групи компресорів) приєднано декілька об'єктів, в кожному з яких підтримується задана температура. Установки з такими випарними системами широко поширені на різних холодильниках з великим числом камер зберігання. У кожному з об'єктів температура повітря регулюється власним приладом ($РП_1$, $РП_2$, $РП_3$), які в переважній більшості вибирають двопозиційними. Ці прилади управляють регулюючими органами, що відкривають або закривають подачу холодоагенту у відповідні випарники.

Для зміни холодопродуктивності компресора використовують додаткові пристрої. Найпростіше управління компресором здійснюється по командах тих же приладів $РП_1$, $РП_2$ і $РП_3$. Досить одному з них подати сигнал на відкриття регулюючого органу цієї камери, як одночасно включається в роботу компресор. Він зупиняється після того, як в останній з камер температура знизиться і буде подана команда на закриття подачі холодоагенту. Недолік такої системи регулювання полягає в тому, що один і той же компресор працює на одну і усі

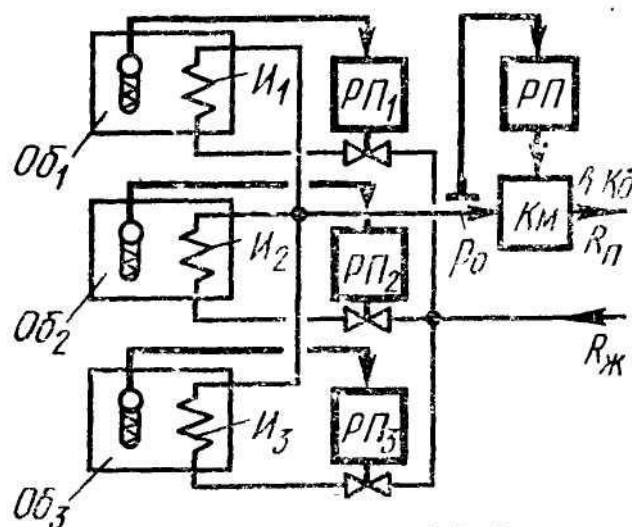


Рисунок 3.2 – Схема підтримування температури в установці з кількома об'єктами

камери разом. Це може викликати значні коливання температури кипіння і, отже, погіршити енергетичні показники установки і умови зберігання продуктів.

Доцільніше застосовувати компресор або групу компресорів із змінюваною холодопродуктивністю. Для цього необхідно створити додаткову систему регулювання, наприклад по температурі або тиску кипіння. Призначення додаткової системи з регулюючим приладом *РП* - підтримка необхідної температури кипіння (чи тиску p_o , як показано на рис. 3.2), тоді як призначення основних систем – підтримка температур в камерах шляхом відкриття або закриття подачі холодоагенту у випарники.

Додаткова система може бути дво- ("пуск-зупинка" компресора), багатопозиційною або пальною. Двопозиційне регулювання тиску кипіння можна застосовувати, якщо випарна система містить достатню кількість холодоагенту, щоб не викликати занадто часті пуски і зупинки компресора. Тому в деяких випадках доводиться вдаватися до досконаліших систем: багатопозиційної або пальної.

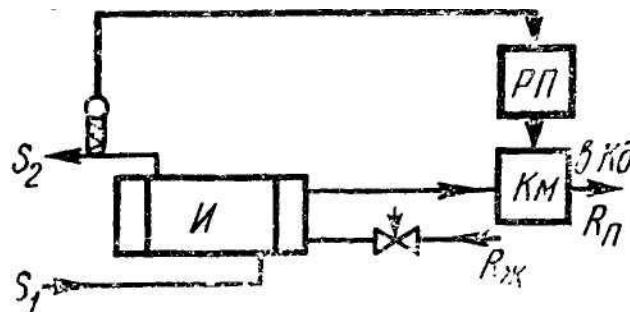


Рисунок 3.3 – Схема підтримування температури холодоносія, що виходить з випарника

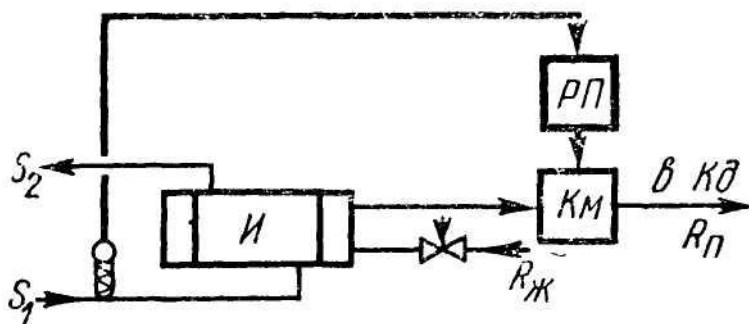


Рисунок 3.4 – Схема підтримування температури холодоносія, що входить у випарник

На схемі показана установка (рис. 3.3), в якій підтримується температура холодоносія, що виходить з випарника. Використання способу "пуск-зупинка" не приводить до бажаних результатів. Тут потрібні інші способи, що не використовують включення і виключення двигуна компресора.

Якщо замість холодоносія, що виходить з випарника, регулювати температуру на вході в нього (рис. 3.4) і якщо при цьому на стороні споживання є достатня місткість холодоносія, то завдання підтримки температури спрощується і можна використовувати двопозиційне регулювання.

У холодильних установках з проміжним холодоносієм (рис. 3.5) регулювання температури здійснюється так само, як і в багатооб'єктних установках безпосереднього випару. Створюються окремі системи регулювання в об'єктах $Об_1$, $Об_2$ і $Об_3$ які за допомогою двопозиційних регулюючих приладів $РП_1$, $РП_2$ і $РП_3$ підтримують температуру шляхом відкриття і закриття подачі холодоносія в охолоджувальні пристрої. Додаткова система з регулюючим приладом підтримує температуру холодоносія. Якщо в системі застосований бак $Б$ достатньої місткості, то регулювання можна здійснювати способом "пуск-зупинка" компресорів. За відсутності бака або при недостатній його місткості потрібно інші способи регулювання.

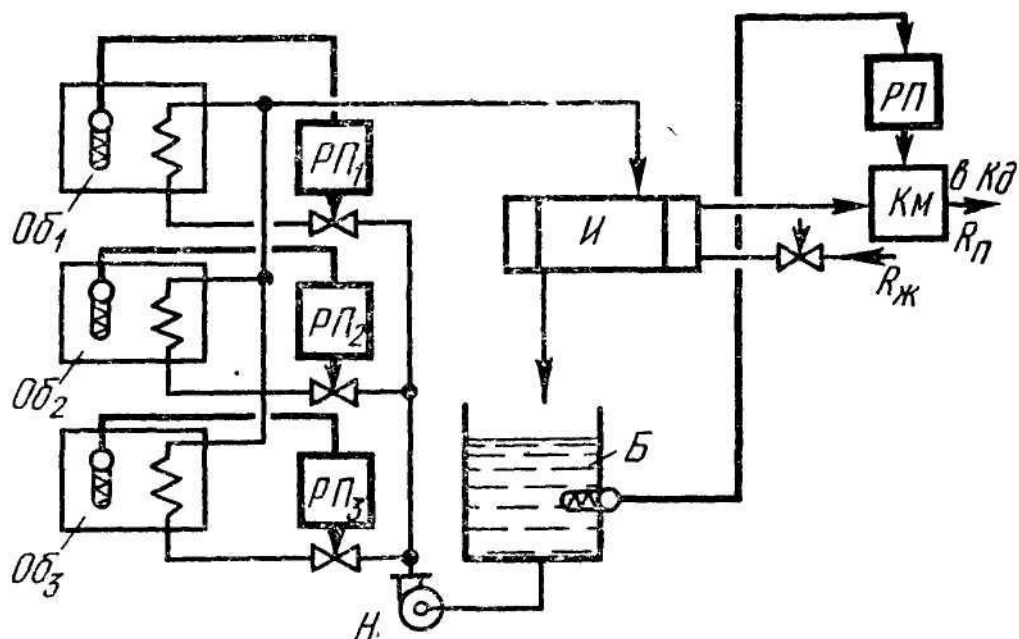


Рисунок 3.5 – Схема підтримування температури в установці з декількома об'єктами при охолодженні холодоносієм

3.2 Проектування системи автоматизації холодильної установки

Проектування – важливий етап автоматизації холодильних установок. При проектуванні мають бути прийняті і розроблені найбільш раціональні схеми, вибрані прилади і засоби автоматизації, вирішені питання компоновання автоматичних пристроїв [9].

Проект автоматизації холодильних установок для підприємств, що знову будуються, є складовою частиною проекту самої установки.

При розробці проекту автоматизації виходять із завдання на проектування, воно може бути представлене окремо або у вигляді розділу загального завдання на проектування усієї установки. У завданні на проектування приводяться: характеристики установки, що автоматизується, основні вимоги до системи автоматизації, техніко-економічне обґрунтування і особливі вимоги.

Характеристика установки включає: дані про систему охолодження, види споживачів холоду; технологічні вимоги до роботи споживачів холоду і найбільш характерні режими; перелік основного устаткування установки і технічні характеристики компресорів і насосів з електроприводами, апаратів і посудин; необхідні плани і розрізи основних приміщень з вказівкою місць установки устаткування; принципову схему холодильної установки з усіма основними трубопроводами.

Основні вимоги вказують: об'єкти автоматичного управління і захисту; регульовані технологічні параметри і зв'язки між ними; діапазони можливих заданих значень і точність підтримки цих значень; рекомендований спосіб управління основним устаткуванням; штат обслуговуючого персоналу; ступінь і об'єм автоматизації; слід також вказувати науково-дослідні роботи на базі яких проектується автоматизація.

Техніко-економічне обґрунтування складають на підставі досвіду автоматизації інших підприємств або за орієнтовним підрахунком. У техніко-

економічному обґрунтуванні визначається допустимий термін окупності капітальних витрат і очікувана річна економія.

Особливі вимоги включають умови по пожежо- і вибухонебезпечності, кліматичним даним, вібростійкості приладів та ін.

Якщо проектується автоматизація діючої холодильної установки, то завдання на проектування складають на підставі вивчення цієї установки на місці з урахуванням конкретних умов експлуатації.

Власне проектування проводиться в дві стадії: проектне завдання і робочі креслення.

Проектне завдання включає принципові схеми автоматизації технологічного устаткування: холодильних камер і інших споживачів холоду, випарних систем, компресорів, агрегатів та ін. На принципових схемах вказують вживані прилади і засоби автоматизації, місця установки чутливих елементів і датчиків, а також виконавчих механізмів і регулюючих органів. Принципові схеми автоматизації супроводжуються специфікаціями використовуваних приладів.

Окрім принципових технологічних схем, в проектне завдання включають основні принципові або елементні електричні схеми: управління камерним устаткуванням і груповими елементами випарних систем, програмного управління і захисту компресорів і агрегатів, регулювання рівнів в посудинах установки і т.п. У проектному завданні передбачається креслення щитів, пультів, мнемосхем, а також нестандартного устаткування, що вимагає виготовлення на заводах або на місці монтажу.

На планах холодного складу і машинного відділення вказуються місця установки приладів і засобів автоматизації, місцевих і головних щитів автоматики. На підставі цього орієнтовно визначаються траси прокладення кабелів і додаткових трубопроводів. До проектного завдання прикладається повна специфікація на необхідне устаткування і матеріали, кошторисно-фінансовий розрахунок і розрахунок економічної ефективності.

Усі креслення і схеми детально пояснюються в записці пояснення. У записці також приводяться необхідні розрахунки і обґрунтування.

Робочі креслення розробляють після затвердження проектного завдання. В робочі креслення вносять усі необхідні зміни і поправки, виявлені при розгляді проектного завдання. Тому в комплект робочих креслень входять і ті уточнені матеріали, які складали проектне завдання. Робочі креслення є основним документом, по якому виконуються монтажні і налагоджувальні роботи.

Крім того, на стадії робочого проектування розробляються усі необхідні монтажні схеми, схеми зовнішніх з'єднань окремих вузлів установки, креслення установки первинних приладів, реле-датчиків захисту, автоматичних регулюючих органів. Складають детальні креслення прокладення кабелів і установки розподільних і клемних коробок. У робочих кресленнях дають також установку щитів і пультів, розміщення вторинних приладів, планування щитових приміщень.

3.3 Ступінь і об'єм автоматизації

Ступінь і об'єм автоматизації визначають в завданні на проектування. За ступенем автоматизації промислові холодильні установки можуть бути частково або комплексно автоматизованими. Ступінь автоматизації залежить від вимог, що пред'являються до установки, і складу основного холодильного устаткування.

При частковій автоматизації пристрої автоматики управляють тільки деякими операціями. Інші операції виконуються обслуговуючим персоналом.

При комплексній автоматизації обслуговуючий персонал спостерігає за роботою автоматичних пристроїв і приладів і виконує допоміжні операції (поповнення компресорів маслом, випуск масла і очищення поверхонь батарей, що охолоджують, від інею і т.д.). Крім того, персонал повинен проводити профілактичні і ремонтні роботи по основному устаткуванню і пристроям автоматики. Саме така система розглядається в даній магістерській роботі.

Для частково автоматизованих установок передбачається наступний мінімальний об'єм автоматизації:

- підтримка заданих температур в холодильних камерах і в виробничих охолоджувачах; в необхідних випадках може бути здійснене автоматичне регулювання відносної вологості повітря;

- поповнення охолоджуючих пристроїв випарних систем, розсільних випарників і проміжних посудин рідким холодильним агентом;

- випуск повітря з системи;

- захист компресорів і апаратів від небезпечних режимів і аварій;

- робоча і аварійна сигналізація;

- вимір основних технологічних параметрів.

Експлуатація частково автоматизованих установок вимагає цілодобового чергування обслуговуючого персоналу.

У комплексно автоматизованих установках, окрім перерахованого об'єму автоматизації, передбачають:

- управління пуском і зупинкою компресорів і компресорних агрегатів, а також зміну їх продуктивності шляхом виключення окремих циліндрів, зміни швидкості електродвигуна або дроселювання на всмоктуванні;

- відтавання поверхонь повітроохолоджувачів;

- управління роботою насосів.

Автоматизацію проектують з урахуванням характеру роботи обслуговуючого персоналу (цілодобово або частина доби).

В деяких випадках комплексно-автоматизовані установки обслуговують тільки в денний час. Така система обслуговування доцільна на резервних і розподільних холодильниках в періоди зниження інтенсивності вантажних операцій.

3.4 Розробка принципів схем, вибір приладів і засобів автоматизації

При проектуванні на стадії проектного завдання складають принципові схеми автоматизації. Принципова схема автоматизації – це схема установки з вказівкою місць приєднання приладів і засобів автоматизації. На схемі

зображено основне устаткування, що автоматизується, і трубопроводи (наведено на кресленні 3).

Схему ділять на дві частини: на одній дають зображення автоматизації компресорного і апаратного відділень, на іншій – холодильних камер і інших споживачів холоду.

На схемі компресорного і апаратного відділень позначають прилади і пристрої автоматичного регулювання, управління і захисту компресорів, компресорних агрегатів, проміжних посудин, конденсаторів, випарників, ресіверів і насосів.

На схемі споживачів холоду показують пристрої автоматики холодильних камер з батареями і повітроохолоджувачами, а також морозильних камер і охолоджувачів (скороморозильні апарати, фризери, жирохолоджувачі, пастеризатори та ін.).

Якщо установка містить декілька однакових технологічних пристроїв, наприклад однотипних компресорів, камер і т.д., то рекомендується на схемі зображувати усі ці пристрої. Проте детально зображують автоматизацію одного пристрою кожного типу, вказуючи, що інші аналогічні об'єкти автоматизовані таким же способом.

Технологічне устаткування зображують за допомогою спрощених умовних позначень, які дають уявлення про конструкцію і принцип дії устаткування і про процеси, що протікають в ній.

Позначення різних трубопроводів повинні мати добре відмітні ознаки. Наприклад, рідинну аміачну лінію зображують тонкою суцільною лінією, парову – товстою суцільною, воду – штриховою і т.д. На зображеннях трубопроводів бажано давати стрілки, показуючі напрям руху рідини або пари.

При нанесенні приладів і засобів автоматизації показують чутливий елемент (датчик) регулятора або сигналізатора, власне автоматичний прилад, виконавчий механізм і регулюючий орган. Крім того, вказують зв'язки між ними, причому ці зв'язки дають в однолінійному зображенні, незалежно від того, який

вид зв'язку використовують: електричний, пневматичний, гідравлічний або механічний.

У складних схемах не наносять прилади безпосередньо на схему, оскільки це в сильній мірі утрудняє користування нею. У цих випадках на самій схемі зображують тільки чутливі елементи і виконавчі механізми з регулюючими органами. Регулюючі прилади і сигналізатори виносять в нижню частину креслення і поміщають в спеціальній таблиці. Таблиця дає уявлення про найменування приладу, його тип і характер роботи, а також вказує на місце, де цей прилад встановлюють. Зв'язки між елементами показують лініями; ці лінії можуть бути розірвані і пронумеровані в місцях розривів. Умовні позначення в принципових схемах автоматизації виконують відповідно до вимог ГОСТу [10].

Принципову технологічну схему супроводжують специфікацією на прилади і засоби автоматизації, в якій вказують точне найменування приладу, його марку або шифр, а також необхідну кількість.

Поява та швидке вдосконалення мікропроцесорних засобів призвело до їх широкого застосування у різних галузях народного господарства. Функціональна гнучкість, висока надійність, малі габарити та вартість мікропроцесорних засобів обумовлюють доцільність їх застосування в системах автоматичного керування.

Сучасна елементна база цифрової техніки відкриває широкі можливості побудови цифрових регуляторів з програмною реалізацією операцій в реальному масштабі часу на основі мікропроцесорів. Зокрема, однокристальні мікроконтролери представляють собою прилади, що конструктивно виконані у вигляді ВІС і вміщують в себе складові частини мікроЕОМ: мікропроцесор, пам'ять програм, пам'ять даних, а також програмуємі інтерфейси для зв'язку із зовнішнім середовищем. Використання мікроконтролерів в системах керування забезпечує досягнення виключно високих показників ефективності при низькій вартості, малих габаритах, вазі, енергоспоживанні, відносно високій обчислювальній потужності [11-15].

Структурна організація, набір команд та апаратурно-програмні засоби вводу/виводу інформації МК краще всього пристосовані для вирішення задач

керування і регулювання в приладах, пристроях і системах автоматики. На практиці при проектуванні мікропроцесорних САК слід враховувати ряд факторів – це забезпечення заданих показників якості керування, раціональний розподіл функцій САК між апаратними та програмними засобами, спряження цифрової і аналогової частин САК.

На такі показники якості керування, як динаміка, точність, вірогідність виконання функцій керування та ін., впливають особливості цифрової реалізації алгоритму керування в МК. Як відомо, при цифровому представленні інформації здійснюється дискретизація процесів в часі та квантування по рівню. Дискретизація в часі, що здійснюється у відповідності з деяким критерієм якості функціонування САК, пред'являє вимоги до швидкодії МК, а квантування по рівню приводить до виникнення шумів квантування.

Рішення задачі розподілу функцій САК на апаратно та програмно реалізуємі пов'язане із необхідністю аналізу багатьох факторів, першочерговими з яких, поряд із забезпеченням заданої потужності мікроконтролера, є структура системи, характер представлення вхідної і вихідної інформації та особливості цифрових алгоритмів обробки інформації.

Для спряження аналогової частини САК з мікроконтролером використовуються аналого-цифрові та цифроаналогові перетворювачі, до яких пред'являються високі вимоги по швидкодії, точності та лінійності перетворення [14]. Виникає необхідність схемотехнічного та програмного спряження АЦП іншої розрядності, в порівнянні з тією, яку має мікроконтролер. Однак останнім часом достатньо широкого розповсюдження отримали мікроконтролери з вбудованими АЦП достатньо високої розрядності, що дає можливість не використовувати додаткові мікросхеми, а це значно полегшує проектування схем електричних.

Враховуючи вище викладене для побудови мікропроцесорної частини системи таким вимогам задовольняє однокристальний мікроконтролер типу AT90S4433.

В порівнянні з апаратурно реалізованими цифровими регуляторами регулятори з програмною реалізацією є менш швидкодіючими, але більш універсальними, легко переналаштовувемими і мають кращі масогабаритні характеристики. Надійність мікропроцесорних систем автоматичного керування в порівнянні із системами на іншій елементній базі є більш високою.

ЦАП однозначно перетворює кодові комбінації цифрового сигналу в аналоговий сигнал. АЦП вирішує задачу пошуку однозначної відповідності аналоговому сигналу цифрового коду. Одна із основних вимог, що пред'являються до АЦП і ЦАП – це можливість їх спряження з мікропроцесором, що передбачає сумісність логічних рівнів цифрових сигналів перетворювачів і шини даних мікропроцесора, співпадання видів цифрових кодів і формату даних, програмну сумісність. Мікроконтролер AT90S4433 містить вбудовані ЦАП і АЦП.

В САР частоти обертання двигуна компресора можна виділити дві основні частини: слабкострумову (керуючу) та силову (енергетичну). Реалізація слабкострумової частини на одному мікропроцесорі підвищує надійність і універсальність САР, дозволяє просто реалізувати закони зміни керуючих діянь. Оскільки інформація про процес регулювання міститься в самому цифровому сигналі і не пов'язана з його енергією, то вона менш піддана дії перешкод та викривлень.

Слабкострумова частина мікропроцесорної САР повинна вирішувати задачі програмної реалізації цифрового регулятора і формування спеціальних кодових послідовностей для керування силовою частиною з метою отримання сигналу для керування приводом заслінки.

Принципальна схема слабкострумової частини системи представлена на (наведено на кресленні 7). Вона складається із мікроконтролера AT90S4433, який реалізує алгоритм керування, датчика тиску, вхідного масштабуючого пристрою для приведення вхідних сигналів до уніфікованого рівня, що сприймається МК, мультиплексора DD1 (AD7890), демультиплексора DD2 (K530 ИД7), рідкокристалічного індикатора. Мікросхема DD3 (AT90S4433) –

мікроконтролер з внутрішнім тактовим генератором G1, частота якого визначається зовнішнім кварцовим резонатором 12 МГц. Характеристики МК наступні: 131 операція за один такт; 32 регістра загального призначення; один машинний такт дорівнює двом машинним циклам; можливе підключення 64 кБайта розширеної внутрішньої пам'яті; два 8-бітних таймера лічильника з окремими режимами управління і установки; вмонтований аналоговий компаратор; 35 програмних входів і виходів; 40 вихідний корпус PDIP або 44 – TQFP; напруга живлення: від 2,8 до 5,5 В.

Вхідні масштабуючі підсилювачі, які перетворюють вхідні сигнали датчика та задавача до рівня, що сприймається мікропроцесорною системою, виконані на елементах DA3, DA4 (K140УД17 – це операційний підсилювач, який використовується для підсилення без викривлень сигналів з датчиків, подавляє синфазний сигнал, має малу напругу зміщення нуля, малий його дрейф, малий рівень шумів, великий вхідний опір), зміна масштабу виконується зміною коефіцієнта підсилення операційного підсилювача [16-18]; керуючий сигнал з порта PB1, PB2 МК надходить через демультимплексор DD2 на роз'єм, з якого на засоби зміни частоти обертання двигуна компресора.

3.5 Обґрунтування підходу зміни холодопродуктивності компресора

Зміна холодопродуктивності компресора необхідна при рішенні основної задачі автоматизації – підтримці заданої температури в об'єктах охолодження.

Відомі різні способи зміни холодопродуктивності. Одні з них здійснюються зовнішніми пристроями, інші реалізуються за допомогою спеціальних вузлів, конструктивно вбудованих в компресори. Нижче розглядаються способи зміни холодопродуктивності поршневих компресорів, що набули найбільшого поширення разом з гвинтовими і відцентровими. Детальний розгляд саме поршневих компресорів обумовлений фактом застосування на досліджуваному підприємстві такого типу агрегатів і недоцільністю внесення різких конструктивних змін.

Широкий діапазон холодопродуктивності поршневих холодильних компресорів (від сотень ватів до сотень кіловат), різні призначення і вимоги до установок, де вони застосовуються, обумовлюють використання різних способів зміни холодопродуктивності. Головними з них є "пуск-зупинка", зміна числа працюючих циліндрів, зміна частоти обертання валу компресора, дроселювання всмоктуваної пари, байпасування або перепускання стисненої пари на всмоктуючу сторону. В даній роботі акцент поставлено на забезпечення можливості плавного регулювання холодопродуктивності, а з попереднього аналізу літературних джерел можна прийти до висновку, що в такому випадку найкращий результат можна отримати, змінюючи холодопродуктивність зміною частоти обертання валу компресора. Саме тому нижче приведено опис різних підходів реалізації даного способу.

3.5.1 Зміна холодопродуктивності компресора зміною частоти обертання приводу

Цей спосіб зміни холодопродуктивності передбачає наявність у компресора регульованого приводу, тобто приводу, що має пристосування для зміни частоти обертання валу.

У переважній більшості поршневі компресори приводяться в дію асинхронними електродвигунами змінного струму. Тому нижче будуть розглянуті деякі схеми із зміною частоти обертання компресорів з цим типом приводу.

Залежно від видів вживаних електроприводів розрізняють позиційну і плавну зміну частоти обертання валу компресора.

Позиційну зміну частоти обертання здійснюють за допомогою дво- або багатошвидкісних асинхронних короткозамкнутих електродвигунів. У практиці застосовують електродвигуни з числом східців не більше чотирьох.

При заданій частоті живлячого струму частота обертання залежить від числа пар полюсів електродвигуна. Неважко розрахувати синхронну частоту обертання для різного числа пар полюсів при частоті живлячого струму 50 Гц.

p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n_c, \text{об/хв.}$	3000	1500	1000	750	600	500	429	375	333	300

Якщо припустити, що холодопродуктивність регульованого компресора лінійно залежить від частоти обертання валу електродвигуна, то вибір східців регулювання зводиться до підбору електродвигуна з потрібним числом пар полюсів. Так, чотиришвидкісний електродвигун з синхронними частотами обертання 1500, 1000, 750 і 500 об/хв забезпечує східці продуктивності 1, 2/3, 1/2 і 1/3 від максимальної.

Принципова схема управління трьохшвидкісним електродвигуном приведена на рис. 3.6. Перемикання з однієї швидкості на іншу здійснюється шляхом зміни з'єднання між частинами обмотки статора електродвигуна, а комутування – за допомогою пускачів Π_1 , Π_2 і Π_3 , число яких зазвичай дорівнює числу східців регулювання. Якщо ключ управління $KУ$ встановлений в положення "Автоматика", то управління роботою пускачів здійснюється за сигналами від приладу $РП$, регулюючого температуру в об'єкті охолодження. Цей прилад повинен мати релейну реверсивну (трипозиційну) характеристику (може також використовуватися група двопозиційних приладів).

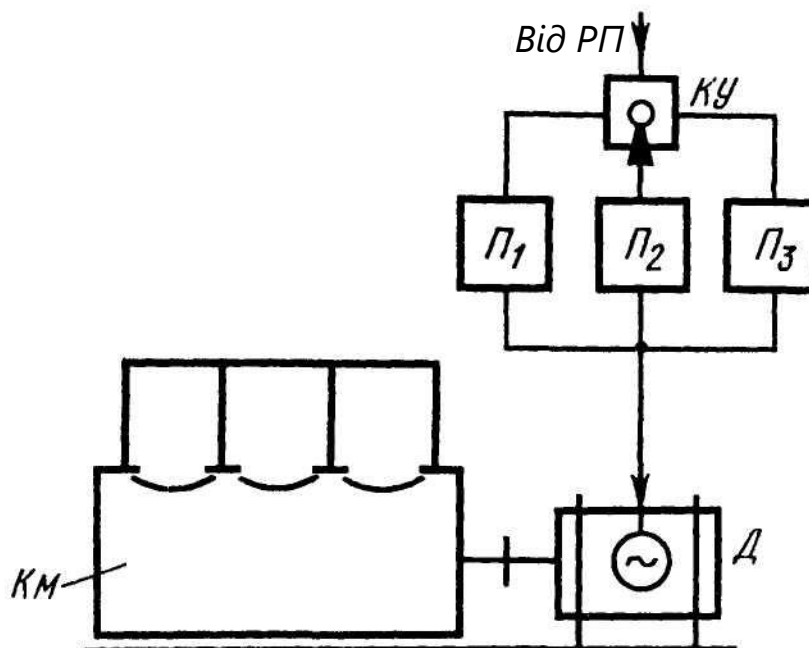


Рисунок 3.6 – Система керування трьохшвидкісним електродвигуном

Ключ управління має і декілька інших положень, що дозволяють вручну поворотом ключа перемикає частоти обертання.

Слід враховувати, що із зростанням числа східців різко ускладнюється електродвигун, збільшується число обмоток статора, що підлягають комутації, і число пускачів, зростають розміри і маса електродвигуна, ускладнюються схеми управління і погіршуються енергетичні показники електродвигуна.

Допустима частота перемикань східців в цій системі невелика, що пов'язано зі зносом комутаційної апаратури і додатковим нагрівом двигуна.

Розглянемо можливість плавної зміни частоти обертання. Зміну частоти обертання асинхронного електродвигуна здійснюють введенням додаткового опору в ланцюг ротора, зміною частоти живлячої напруги і введенням в ланцюг ротора керованої е.р.с. В першому і третьому випадках повинен використовуватися асинхронний електродвигун з контактними кільцями (з фазним ротором), а в другому – можна застосувати електродвигун з короткозамкнутим ротором.

Схема із змінюваним опором в ланцюзі ротора представлена на рис. 3.7. Компресор K_m приводиться електродвигуном Δ , пуск і зупинку якого

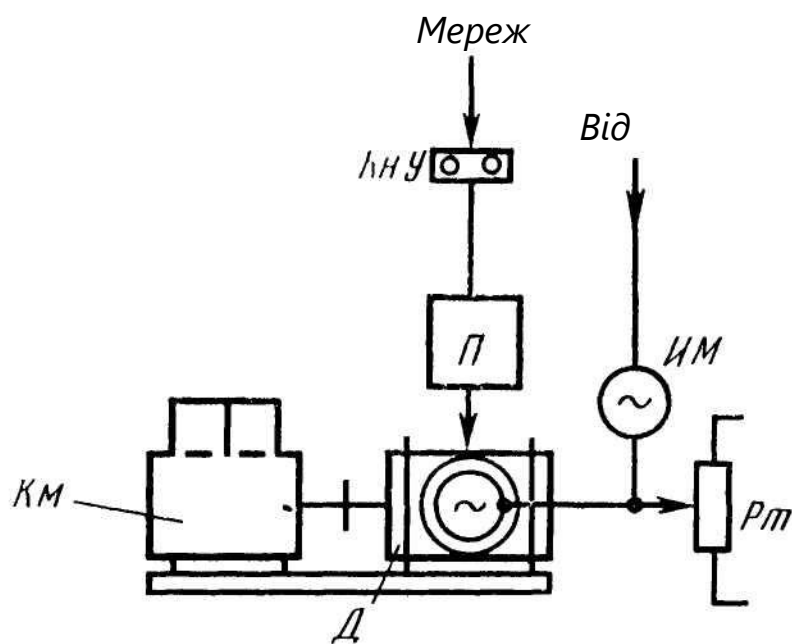


Рисунок 3.7 – Плавна зміна частоти обертання за допомогою змінних опорів в ланцюзі ротора

здійснюють вручну кнопками $KнУ$ через пускач $П$ (можна скласти схему і з автоматичним управлінням). У ланцюг ротора включений реостат $Rт$, положення движка якого змінюється виконавчим механізмом $ИМ$. Останній отримує сигнали управління від регулюючого приладу $РП$.

При необхідності зменшення частоти обертання опір збільшують, при збільшенні – зменшують. Цей метод знаходить обмежене застосування через високі енергетичні втрати, які збільшуються із зменшенням частоти обертання.

Схема із зміною частоти живлячого струму показана на рис. 3.8. Основним елементом цієї схеми є перетворювач частоти $ПЧ$, який отримує енергію від мережі промислової частоти і під дією управляючого сигналу, змінює частоту на виході в заданих межах. Струм від перетворювача частоти живить обмотку статора електродвигуна. Відповідно до виразу $n_c = 60f/p$ частота обертання пропорційна частоті живлячого струму (у цій формулі f – частота струму, Гц; p – число пар полюсів двигуна).

Живлення від мережі здійснюється через пускач $П$ і кнопку $KнУ$. Управляючий сигнал від регулюючого приладу $РП$ проходить через пристрій $УУ$.

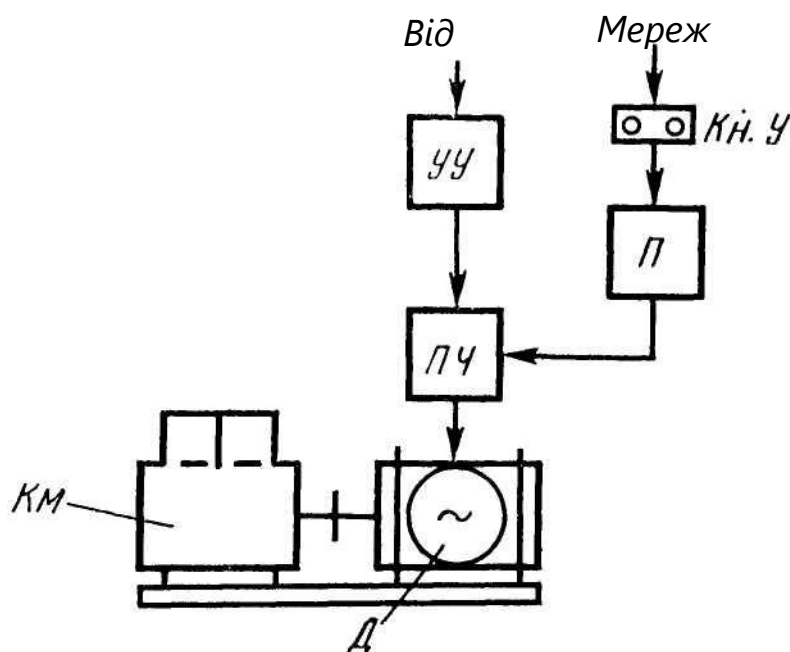


Рисунок 3.8 – Плавна зміна частоти обертання зміною частоти живлячого струму

Застосування в перетворювачі частоти і управляючому пристрої напівпровідникових елементів дозволяє виконувати їх в порівняно невеликих габаритах і невеликої маси.

На рис. 3.9 приведена схема, в якій е.р.с. e_p , що наводиться в роторі, протиставляється зустрічна опорна е.р.с., дія якої еквівалентна введенню додаткового опору. Особливість цієї схеми в тому, що відведена з ланцюга ротора енергія частково повертається назад в живлячу мережу. Для цієї мети струм ротора перетвориться випрямлячем B в постійний і подається на інвертор $Ин$. Роботою інвертора управляє пристрій $УУ$, який у свою чергу працює від сигналів регулюючого приладу $РП$. Інвертор перетворить постійний струм, отриманий із струму ротора, в трифазний промислової частоти, який повертається в мережу. Процес повернення енергії в мережу називають рекуперацією енергії. Чим більша частина енергії рекуперується в мережу, тим меншу частоту обертання розвиває електродвигун. Ця схема дозволяє змінювати частоту обертання в широких межах, при цьому в результаті рекуперації система має досить високі енергетичні показники. Як і схема з перетворювачем частоти, ця схема складна, і її застосування виправдане в тих випадках, коли основною є вимога плавної зміни холодопродуктивності.

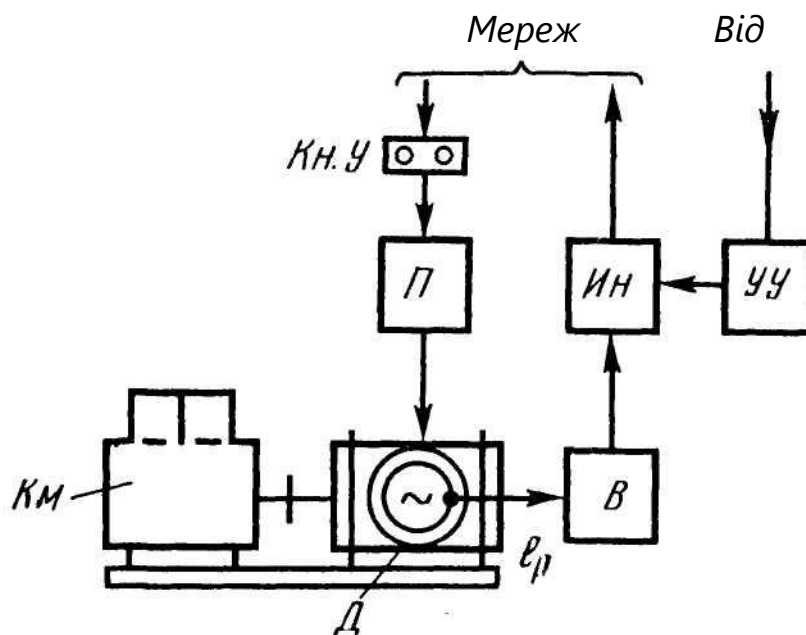


Рисунок 3.9 – Плавна зміна частоти обертання зміною частоти живлячого струму

3.5.2 Порівняння способів зміни холодопродуктивності компресора

Основним критерієм для порівняння різних способів є техніко-економічна ефективність їх застосування, яку розраховують виходячи з первинних і експлуатаційних витрат.

У первинні витрати включають вартість устаткування, призначеного для зміни холодопродуктивності, і його монтажу. Ці витрати в основному пов'язані із складністю вибраної системи. За розмірами первинних витрат розглянуті вище способи можна орієнтовно розташувати в наступній послідовності (в порядку зростання витрат): "пуск-зупинка", дроселювання всмоктуваної пари, байпасування стислого газу на всмоктуючу сторону, зміна числа працюючих циліндрів, зміна частоти обертання.

Експлуатаційні витрати складаються з вартості споживаної енергії, трудомісткості обслуговування і ремонту і деяких інших. За експлуатаційними витратами розглянуті способи можна розташувати в наступній послідовності (в порядку збільшення витрат): "пуск - зупинка", зміна числа працюючих циліндрів, зміна частоти обертання, дроселювання і байпасування.

3.6 Обґрунтування вибору компресора

Компресорні установки широко використовуються в пневматичних пристроях, в холодильних установках, а також в контрольно-вимірювальній апаратурі. Компресори складаються з електродвигуна, нагнітаючої установки, ємкостей для стиснутого газу, а також сполучних шлангів і труб.

Двигуни, які використовуються в компресорних установках можуть бути змінного і постійного струму. Двигуни змінного струму поділяються на синхронні і на асинхронні. Асинхронні двигуни бувають з короткозамкнутим ротором і з фазним ротором.

Нагнітаючими пристроями є пристрої, які під дією прикладеної від приводу сили нагнітають газ в спеціальні ємності, що здатні витримати той тиск який створює компресор.

3.6.1 Характеристика електромеханічних систем

Сукупність сполучених певним способом електричних і механічних ланок є електромеханічною системою (ЕМС).

Електродвигуни, як елементи ЕМС, по роду струму ділять на електродвигуни постійного струму та змінного струму (однофазні і трифазні). Двигуни змінного струму розділяють на: синхронні, асинхронні і лінійні.

З асинхронних найбільш поширені двигуни з короткозамкнутим ротором, адже вони мають високу надійність. Однак вони мають і серйозні недоліки, як, наприклад, малий пусковий момент та великий пусковий струм, який іноді в 5 - 7 разів перевищує номінальний струм двигуна.

Асинхронні двигуни з фазним ротором застосовують в компресорних машинах з масивним маховиком або в ЕМС при малопотужній мережі. Ці двигуни забезпечують великий пусковий момент при малому пусковому струмі. однак вони складніші у виготовленні, меншу надійність, дорожчі.

При роботі з ЕМС потужності більше 100 кВт використовують синхронні електродвигуни. Вони мають сталу частоту обертання, високий коефіцієнт потужності, вони не дуже чутливі до змін навантаження. Попри переваги синхронних двигунів, вони дорожче за асинхронні, до того ж у них при пуску спостерігаються такі ж недоліки, як і у асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором.

Достатньо високими показниками володіють системи з лінійним електроприводом. За принципом дії такі електродвигуни діляться на електромагнітні, електродинамічні, індукційні і магнітоелектричні. Найбільш широко в приводі компресорів і насосів використовують перші два типи. Системи з лінійним електроприводом, навіть незважаючи на їх низький ККД, ефективні через відсутність кривошипно-шатунного механізму і, як наслідок, втрат на тертя.

3.6.2 Вибір електродвигуна

Переваги асинхронних двигунів можуть бути повністю реалізовані за умови правильного їх вибору і застосування. Від правильного вибору асинхронного електродвигуна по потужності залежать його надійність роботи в складі ЕМС, а також енергетичні показники в процесі його експлуатації. При установці електродвигуна з зайвою потужністю габарити системи невиправдано зростають, зростає її вартість, маса, погіршуються енергетичні показники. Установка двигуна із зайвою продуктивністю призводить до збільшення втрат і часу виходу на робочий режим. Саме тому потужність електродвигуна має вибиратись у відповідності з навантаженням і режимом роботи.

Однак потужність, отримана при розрахунку, не завжди виявляється стандартною. В такому випадку досільно вибирати електродвигун найближчого більшого значення.

Таким чином, метою вибору електродвигуна є, визначення технічної можливості застосування двигуна і знаходження по каталогах найкращого варіанту з технічно можливих, з врахуванням роду струму і напруги, конструктивного виконання, рівня шуму і вібрації, а також режиму роботи.

3.6.3 Обґрунтування вибору частотного перетворювача

Частотно-регульований електропривод або частотний перетворювач – це статичний перетворювальний пристрій, який призначений для забезпечення зміни швидкості обертання асинхронних двигунів змінного струму.

Як відмічалось вище, асинхронні двигуни прості по своїй конструкції і зручні в обслуговуванні, мають перевагу перед електричними двигунами постійного струму. Це обумовлює їх повсюдне застосування і однозначне переважання практично в усіх галузях промисловості, енергетики і аграрного сектору.

Регулюють швидкість обертання виконавчого механізму за допомогою різних за складом і принципом дії пристроїв. Найбільш відомими пристроями є:

1. Механічний пристрій - механічний варіатор.

2. Гідравлічний пристрій - гідравлічна муфта.

3. Електричні пристрої: статичний перетворювач частоти; введення додатково в статор або фазний ротор опору; електромеханічний перетворювач частоти (це системи Генератор-двигун).

Використання частотних перетворювачів усуває усі недоліки, які присутні при використанні інших пристроїв, зокрема мова йде про: складність експлуатації і обслуговування; малий діапазон регулювання; низьку якість регулювання; низьку економічність; складнощі в застосуванні.

Регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна в такому випадку здійснюється зміною частоти і величини напруги живлення двигуна.

Коефіцієнт корисної дії такого перетворення складає близько 98 %. До того ж з мережі споживається лише активна складова струму навантаження.

Система на базі мікропроцесора , що управляє, забезпечує високу якість управління двигуном і контролює багато його параметрів, запобігаючи виникненню аварійних ситуацій.

Склад силової частини типового перетворювача наведений на рис. 3.10.

Частотний перетворювач забезпечує: економію енергоресурсів; збільшення терміну служби технологічного устаткування; зниження витрат на планові ремонти і капітальний ремонт; реалізацію оперативного управління і достовірний контроль за ходом виконання технологічного процесу.

Частотно-регульований електропривод або частотний перетворювач – це статичний перетворювальний пристрій, який призначений для забезпечення зміни швидкості обертання асинхронних двигунів змінного струму.

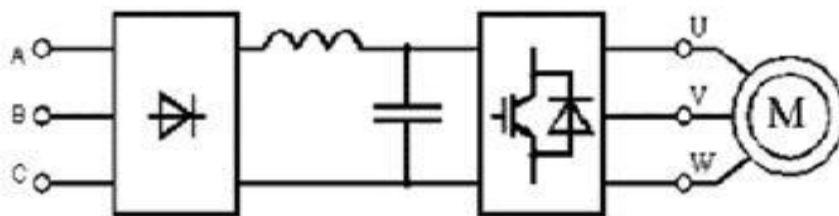


Рисунок 3.10 – Склад силової частини такого перетворювача:

- вхідний некерований випрямляч;
- ланка постійного струму з LC –фільтром;
- автономний інвертор напруги з ШИМ.

Як відмічалось вище, асинхронні двигуни прості по своїй конструкції і зручні в обслуговуванні, мають перевагу перед електричними двигунами постійного струму. Це обумовлює їх повсюдне застосування і однозначне переважання практично в усіх галузях промисловості, енергетики і аграрного сектору.

Регулюють швидкість обертання виконавчого механізму за допомогою різних за складом і принципом дії пристроїв. Найбільш відомими пристроями є:

1. Механічний пристрій - механічний варіатор.
2. Гідравлічний пристрій - гідравлічна муфта.
3. Електричні пристрої: статичний перетворювач частоти; введення додатково в статор або фазний ротор опору; електромеханічний перетворювач частоти (це системи Генератор-двигун).

Використання частотних перетворювачів усуває усі недоліки, які присутні при використанні інших пристроїв, зокрема мова йде про: складність експлуатації і обслуговування; малий діапазон регулювання; низьку якість регулювання; низьку економічність; складнощі в застосуванні.

Регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна в такому випадку здійснюється зміною частоти і величини напруги живлення двигуна.

Коефіцієнт корисної дії такого перетворення складає близько 98 %. До того ж з мережі споживається лише активна складова струму навантаження.

Система на базі мікропроцесора, що управляє, забезпечує високу якість управління двигуном і контролює багато його параметрів, запобігаючи виникненню аварійних ситуацій.

Склад силової частини типового перетворювача наведений на рис. 3.10.

Частотний перетворювач забезпечує: економію енергоресурсів; збільшення терміну служби технологічного устаткування; зниження витрат на планові ремонти і капітальний ремонт; реалізацію оперативного управління і достовірний контроль за ходом виконання технологічного процесу.

Економія електроенергії досягається за однієї умови, коли приводний механізм підтримує який-небудь технологічний параметр, мова в даному випадку йде про зміну холодопродуктивності.

Нині вже практично неможливо знайти асинхронний електричний двигун без перетворювача частоти.

Попри значну вартість перетворювачів, окупність за рахунок економії енергоресурсів вкладених коштів і інших складових ефективності не перевищує 1,5 років. Враховуючи багаторічний ресурс техніки, можна гарантувати економію на тривалий період.

При використанні частотного перетворювача з'являються такі технічні можливості:

- плавний розгін і гальмування;
- регулювання швидкості від нуля до і вище номінальної;
- збільшення терміну служби електричної і механічної частин устаткування;
- обмеження струму в пускових, робочих і аварійних режимах на рівні номінального;
- монтаж частотного перетворювача можливий на місці устаткування, що вивільняється, в стандартному осередку розподільчих пристроїв;
- вивільняється деяке устаткування.

Тобто можливо використати старе обладнання в умовах збільшення площі холодильника. Збільшення холодопродуктивності в даному випадку можливо досягти збільшивши кількість використовуваних одноступінчастих компресорів. Однак доцільнішим є використання двох двоступінчастих компресорів типу ДАУ50, замість трьох компресорів типу NF-611, а це за рахунок більшої ефективності вказаних агрегатів забезпечить зниження витрат електроенергії. Габаритні креслення ам'ячного компресора ДАУ 50, його основні технічні характеристики представлені на кресленні 4.

4 РОЗРАХУНКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

Сучасна теорія автоматичного керування містить результати багатолітніх напрацювань, застосовні для різних класів загальних багатомірних систем, включаючи системи, що задаються:

- лінійними диференціальними рівняннями з перемінними коефіцієнтами;
- нелінійними диференціальними рівняннями;
- диференційно-різницеви́ми й іншими рівняннями з післядією;
- рівняннями з частками похідними й інтегральними рівняннями.

Сучасна теорія керування включає так звану теорію оптимального керування, за допомогою якої можна розробляти оптимальні системи, тобто системи, при функціонуванні яких мінімізується чи максимізується деякий обраний заздалегідь критерій якості.

Автоматичне регулювання широко застосовується в електротермії. Можна перерахувати безліч реальних об'єктів, де необхідно регулювати температуру середовища, або підтримувати її на певному рівні. Одним з таких об'єктів є холодильна установка. Для регулювання температури у вказаному об'єкті необхідно автоматично регулювати частоту обертання двигуна компресора. У досліджуваному об'єкті слід застосовувати автоматичні регулятори, що стабілізують його режим і забезпечують підтримку температури на заданому рівні.

Деякі з електротермічних процесів взагалі не можуть бути здійснені в промислових масштабах без їхньої автоматизації. В інших випадках автоматизація знижує брак, поліпшує якість виробів, підвищує продуктивність праці, поліпшує якість технологічних показників виробництва, вивільнення обслуговуючого персоналу і полегшує умови його праці. В досліджуваному ж об'єкті автоматичне регулювання температури дасть можливість підвищити ефективність роботи холодильного обладнання.

Основна задача пристроїв автоматичного регулювання температури складається в забезпеченні підтримування температури на заданому рівні з

точністю, що відповідає вимогам технічного процесу. Ці вимоги можуть змінюватися в широких межах.

У процесі досліджень необхідно одержати математичну модель об'єкта керування у вигляді передаточної функції, а також здійснити вибір параметрів налаштування регулятора, при яких система задовольняє заданим вимогам по точності і якості.

4.1 Опис системи стабілізації температурного режиму промислового холодильника

Автоматичне регулювання температурного режиму здійснюється системами керування зі зворотним зв'язком, що виробляють керуючі впливи в залежності від величини знака відхилення регульованої величини від заданого значення.

Система автоматичного стабілізації температурного режиму промислового холодильника повинна містити задаючий пристрій, вимірювальний блок, мікроконтролер, підсилювач потужності, власне об'єкт регулювання і датчик температури. Її функціональна схема представлена на рис. 4.1 (наведено на кресленні 6). Сигнал з датчика температури ДТ надходить на вхід елемента порівняння, який є складовою частиною вимірювального блоку ВБ. У елементі порівняння формується сигнал неузгодженості, рівний різниці сигналу задавача і сигналу датчика температури.

Посилений сигнал помилки надходить на вхід регулятора, у якому можуть бути сформовані П, ПІ, ПІД закони регулювання.

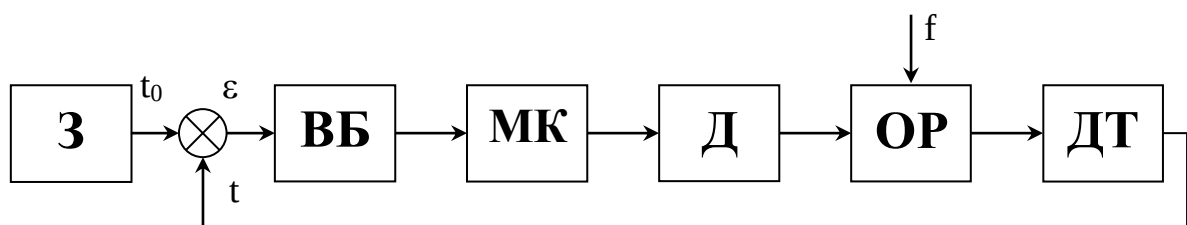


Рисунок 4.1 – Функціональна схема системи стабілізації температурного режиму промислового холодильника:

З – задаючий пристрій; ВБ – вимірювальний блок;
МК – мікроконтролер; Д – двигун; ОР – об'єкт регулювання;
ДТ – датчик температури .

Реалізація типових законів регулювання здійснюється на базі операційного підсилювача з використанням спеціально підключених опорів і ємностей на вхід виконавчого пристрою, яким є тиристорний підсилювач потужності.

В якості збурень виступають два види впливів. Один вплив – збурення, викликані зміною внутрішніх параметрів холодильної камери, імітуються зміною кількості і об'ємів продукції, що зберігається. Інший вплив – збурення, викликане зовнішнім середовищем, тобто зміна впродовж доби і більш тривалого періоду зовнішніх кліматичних умов.

Взагалі, розроблювана система може застосовуватися в електротехнічній, електронній, теплоенергетичній і іншій галузях промисловості. Принцип дії системи полягає в наступному. Вимірювальний блок являє собою перешкодозахищений підсилювач із задатчиком. У блоці відбувається компенсація ЕРС термопари і задатчика. У комплекті з термопарою і регулюючим пристроєм блок застосовується в системах високоточного регулювання температури. У вказаному блоці сигнал термопари компенсується сигналом від вбудованого задатчика, і різниця цих сигналів підсилюється попереднім підсилювачем.

З виходу вимірювального блоку посилений сигнал неузгодженості надходить на вхід регулятора. Пристрій формує закон регулювання і перетворює вхідний сигнал в уніфікований сигнал постійного струму 0-5 мА, що потім може бути використаний у тиристорних перетворювачах чи інших пристроях регулювання частоти обертання асинхронного двигуна. Регулятор в розроблюваній системі пропонується побудувати на базі мікропроцесора. В такому випадку регулятор може мати індикатори, по яких можна контролювати величину неузгодженості, органи динамічного настроювання, а також перемикач керування, що дозволяє перейти на ручне керування об'єктом.

В даній роботі вибрано мікропроцесор, в якому повинен бути аналоговий вихід, в такому випадку отримаємо аналоговий регулюючий прилад, що може здійснювати пропорційний (П), пропорційно-диференціальний (ПД), пропорційно-інтегральний (ПІ) чи пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закони регулювання.

4.2 Побудова математичної моделі об'єкта керування

4.2.1 Методи математичного опису об'єктів керування

Для побудови високоефективної системи керування необхідно мати опис об'єкта керування у вигляді математичної моделі.

Для опису об'єктів керування, у яких відсутня залежність перемінних стану, керування від просторових координат (лінійні багатомірні системи з зосередженими параметрами), використовуються системи лінійних звичайних диференціальних рівнянь чи відповідні зображення за Лапласом. Розглянемо багатомірну лінійну систему з m керуваннями, l збуреннями і k входами. Модель лінійної системи з зосередженими параметрами в часовій області:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + Df(t) & x(0) &= x_0 \\ y(t) &= Cx(t)\end{aligned}\tag{4.1}$$

де $x(t)$ – вектор стану системи, $x \in R^n$; $u(t)$ – вектор керувань (входів), $u \in R^m$; $y(t)$ – вектор виходів, $y \in R^k$;

$f(t)$ – вектор збурювань, $f \in R^l$;

A – матриця розмірності $n \times n$;

B – матриця розмірності $n \times m$;

D – матриця розмірності $n \times l$;

C – матриця розмірності $k \times n$.

Застосовуючи перетворення Лапласа до системи, одержимо еквівалентну модель у комплексній області:

$$\begin{aligned}y(s) &= C\Phi(s)x_0 + C\Phi(s)Bu(s) + C\Phi(s)Df(s) \quad \text{або} \\ y(s) &= W_{y0}(s)x_0 + W_{yu}(s)u(s) + W_{yf}(s)f(s)\end{aligned}\tag{4.2}$$

Частотне чи часове представлення вибираються з розуміння зручності, тому що у випадку постійних матриць A , B , C і D вони еквівалентні.

Для побудови подібних моделей можна використовувати два шляхи: застосовувати фундаментальні фізичні співвідношення у вигляді законів збереження речовини, енергії чи відновлювати параметри моделей по емпіричним даним, причому другий шлях більш часто застосовується на практиці.

4.2.2 Експериментальні дані

Для побудови математичної моделі об'єкта керування використовувався метод відновлення параметрів моделі по емпіричним даним. Для цього за допомогою лабораторної установки були отримані експериментальні дані для дослідження об'єкта керування і побудови його математичної моделі. Отримані дані були апроксимовані в середовищі наукових досліджень MatLab. У результаті отримано графік перехідного процесу, представлений на рис. 4.2.

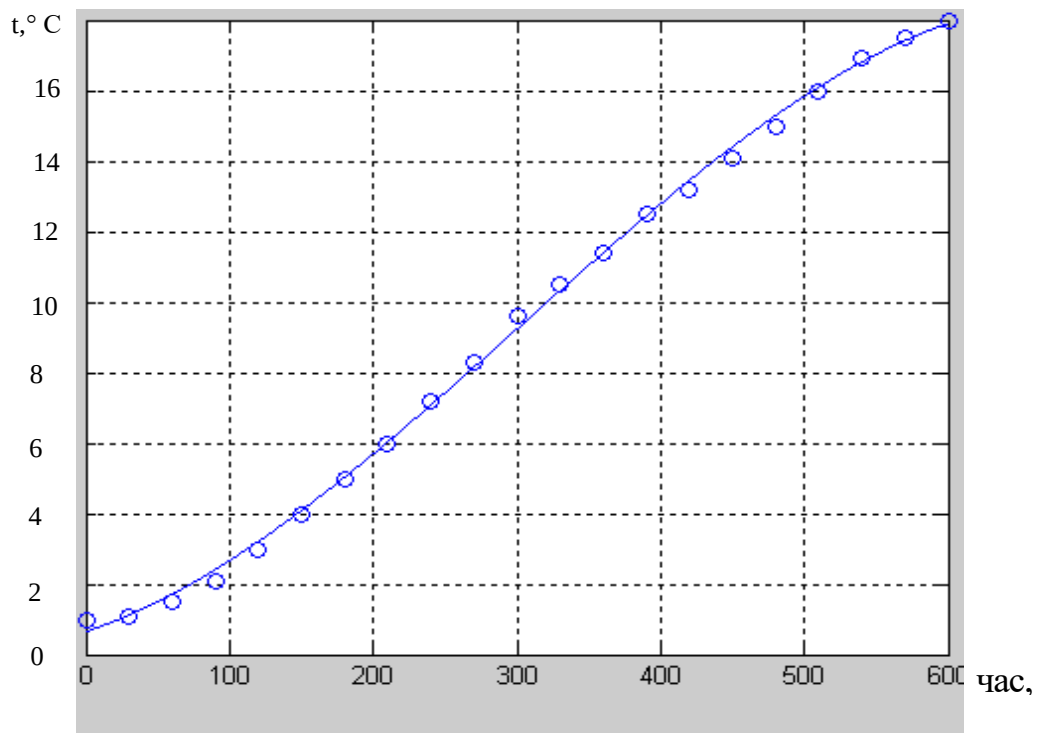


Рисунок 4.2 – Експериментальний перехідний процес

На рис 4.2 по осі ординат відкладена температура в °C, а по осі абсцис – час у секундах (наведено на кресленні 5). При цьому на самому графіку кружечками позначені безпосередньо експериментальні точки, визначені в дискретні моменти часу.

Нормований перехідний процес представлений на рис. 4.3.

Структура апроксимуючого виразу для передаточної функції об'єкта може бути обрана в загальному випадку у вигляді:

$$W_o(s) = \frac{K_o e^{-s\tau}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)^q} \quad (4.3)$$

Коефіцієнт підсилення об'єкта керування K_0 можна знайти за графіком перехідного процесу. Постійні часу передаточної функції можуть бути знайдені методом площ, геометричним методом.

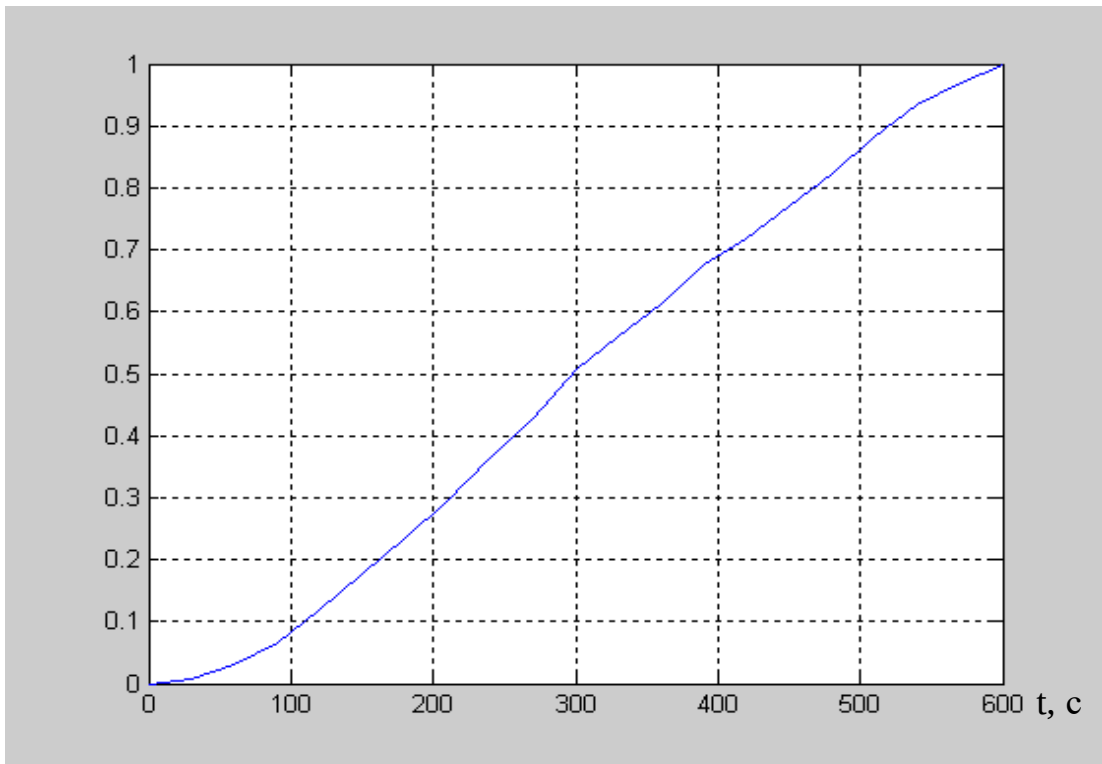


Рисунок 4.3 – Нормований перехідний процес

4.2.3 Визначення коефіцієнта підсилення

Коефіцієнт підсилення може бути визначений з наступного співвідношення:

$y_{\infty}(t) = k \cdot c$, де $c = 0,35(мА)$, а $y_{\infty}(t)$ – усталене значення виходу (температури).

Звідси одержуємо, $k = \frac{18}{0,35} = 51,43 \frac{^{\circ}C}{мА}$.

4.2.4 Побудова математичної моделі ланки геометричним методом

Ланка першого порядку з запізнюванням має наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{K e^{-s\tau}}{Ts + 1} \quad (4.4)$$

Для визначення величини запізнювання і постійної часу звернемося до графіка перехідного процесу (рис. 4.2). Для знаходження постійної часу

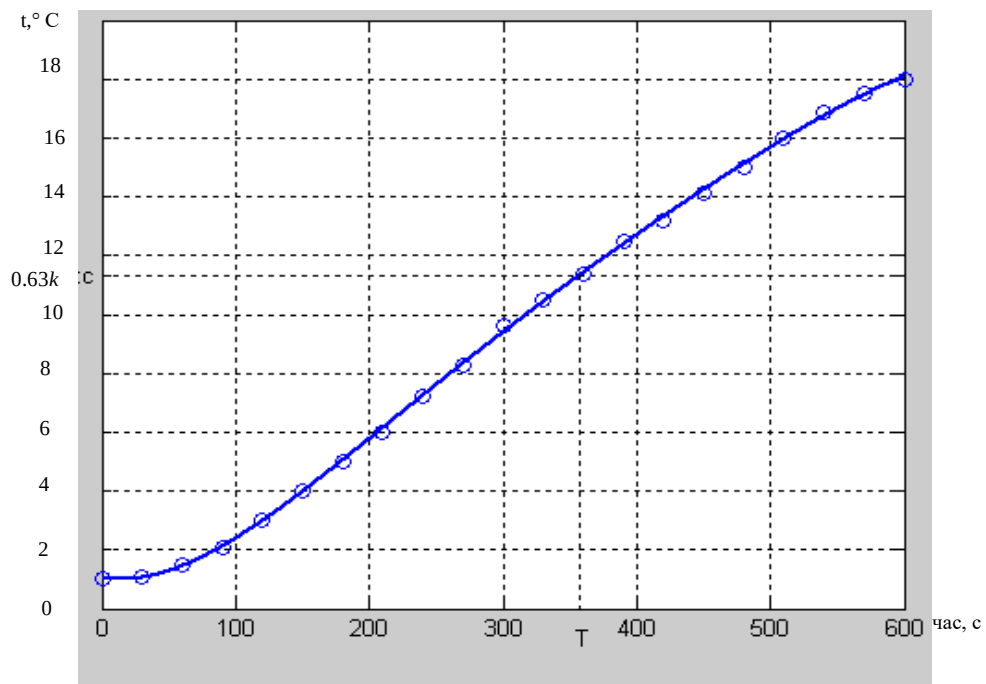


Рисунок 4.4 – Визначення постійної часу по графіку перехідного процесу

необхідно провести пряму до перетинання з графіком процесу паралельно осі абсцис на рівні $0,63k$ (рис. 4.4).

Постійна часу $T = 360,53$ (с). $T_1 = T - \tau$, де $\tau = 30$ с $\Rightarrow T_1 = 330,53$ с. Побудуємо перехідний процес для ланки і подивимося, як він збігається з експериментальним.

Схема моделі в середовищі MatLab представлена на рис. 4.5.

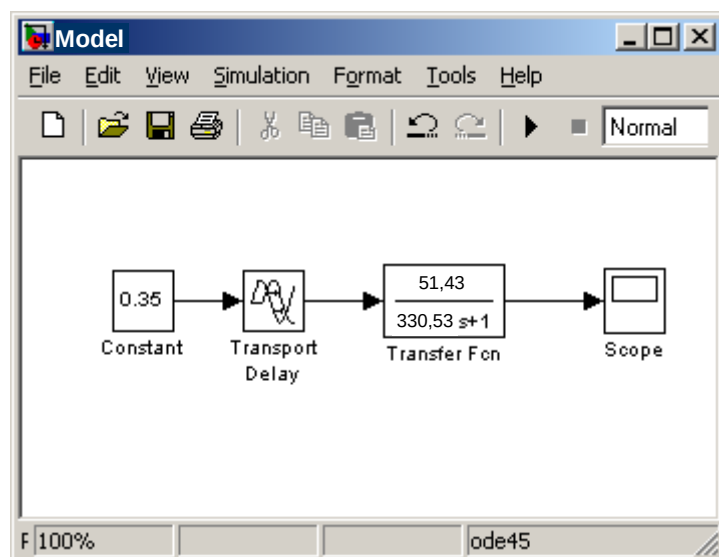


Рисунок 4.5 – Схема моделі в середовищі MatLab

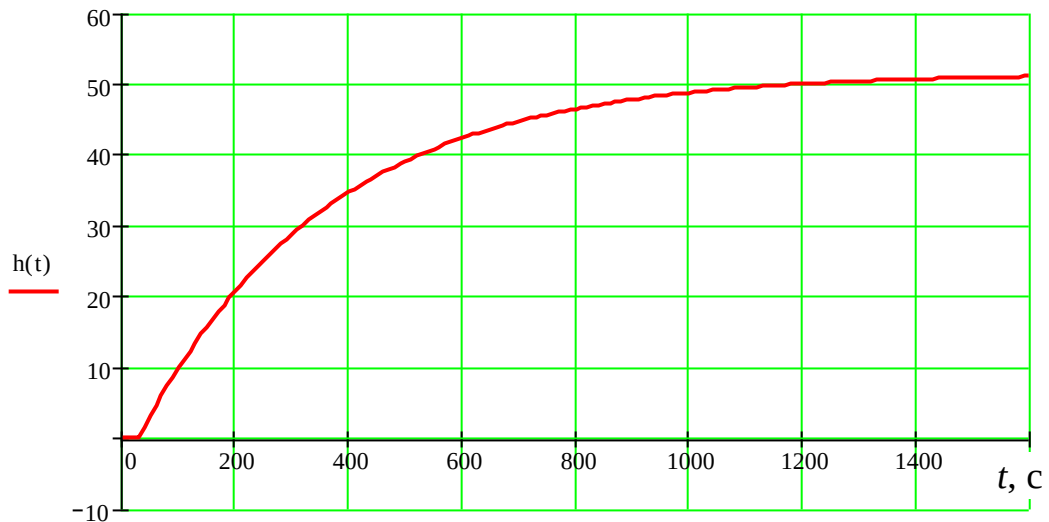


Рисунок 4.6 – Перехідний процес, отриманий за передаточною функцією аперіодичної ланки першого порядку

Отриманий перехідний процес представлений на рис. 4.6. (наведено на кресленні 5).

Таким чином, передаточна функція об'єкта в даному випадку має наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{51,43 e^{-30s}}{330.53s + 1} \quad (4.5)$$

4.2.5 Побудова моделі ланки другого порядку методом площ

При $q = 1$ і $\tau = 0$ одержуємо об'єкт другого порядку. Розрахуємо постійні часу T_1 і T_2 за допомогою методу площ:

$$W_o(s) = \frac{K_o}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} \quad (4.6)$$

Для визначення параметрів передаточної функції методом площ необхідно побудувати графіки функцій:

- 1) $\delta(t) = 1 - h(t)$;
- 2) $\delta_2(t) = t \cdot \delta(t)$, де $h(t)$ – значення з графіка рис. 4.3.

Тоді можна визначити площі під графіками даних функцій (S_1 і S_2 відповідно). Результати обчислень представлені нижче.

$$S_1 = 309.8824; \quad S_2 = 5.9162e+004$$

Графіки даних функцій приведені на рисунках 4.7 і 4.8 відповідно.

Тепер необхідно перевірити співвідношення $\frac{S_2}{S_1^2}$. Якщо $(S_2 / S_1^2) < 0.75$, то метод площ застосовувати не можна, необхідно використовувати метод грубих

площ. У нашому випадку $\frac{S_2}{S_1^2} = 0.6161$. Отже, застосуємо метод грубих площ.

Для цього потрібно знайти точку перегину графіка перехідного процесу.

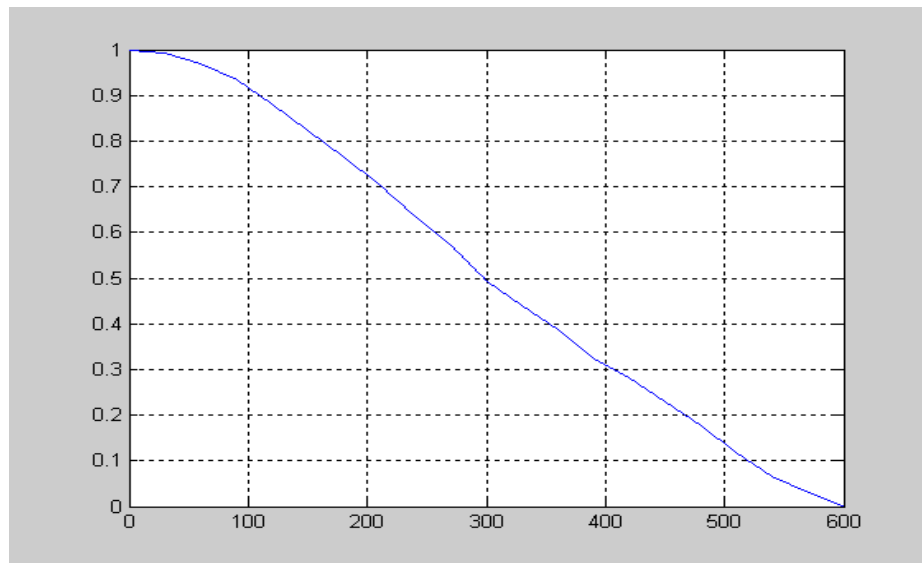


Рисунок 4.7 – Графік функції $\delta(t)$

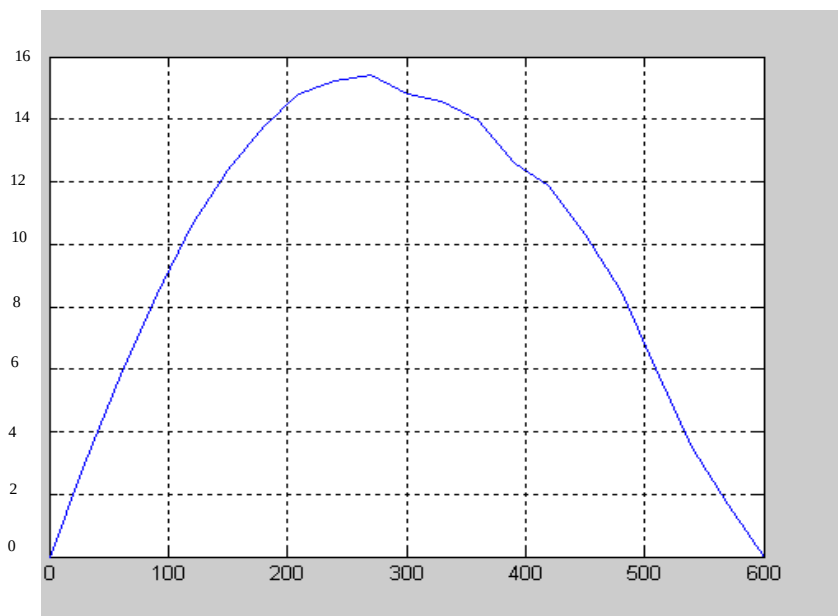


Рисунок 4.8 – Графік функції $\delta_2(t)$

Точка перегину має координати: $t = 90$ с, $y(t_n) = 0,09$.

Беремо точку t правіше точки перегину ($t > t_n$), скористаємося формулою:

$$T1 = \varepsilon(t)^{-1} \int_t^{\infty} \varepsilon(\tau) d\tau, \quad (4.7)$$

де $I_n = \int_t^{\infty} \varepsilon(\tau) d\tau$, площа кривої після точки перегину (межі інтегрування: від $90(t_n)$

до $600(\infty)$), причому, $\varepsilon(\tau) = k \cdot \delta(t)$, де $\delta(t) = 1 - h(t)$, отже: $T1 = \frac{1}{k \cdot \delta(t_n)} \cdot I_n$.

Таким чином, реалізуючи даний алгоритм, одержуємо наступні результати:

$$T_1 = 237,2624$$

$$T_2 = 72,6200$$

Отримаємо передаточну функцію

$$W_o(S) = \frac{51,43}{(237,2624S + 1)(72,62S + 1)} \quad (4.8)$$

Графік перехідного процесу для такої ланки наведений на рис. 4.9 (наведено на кресленні 5).

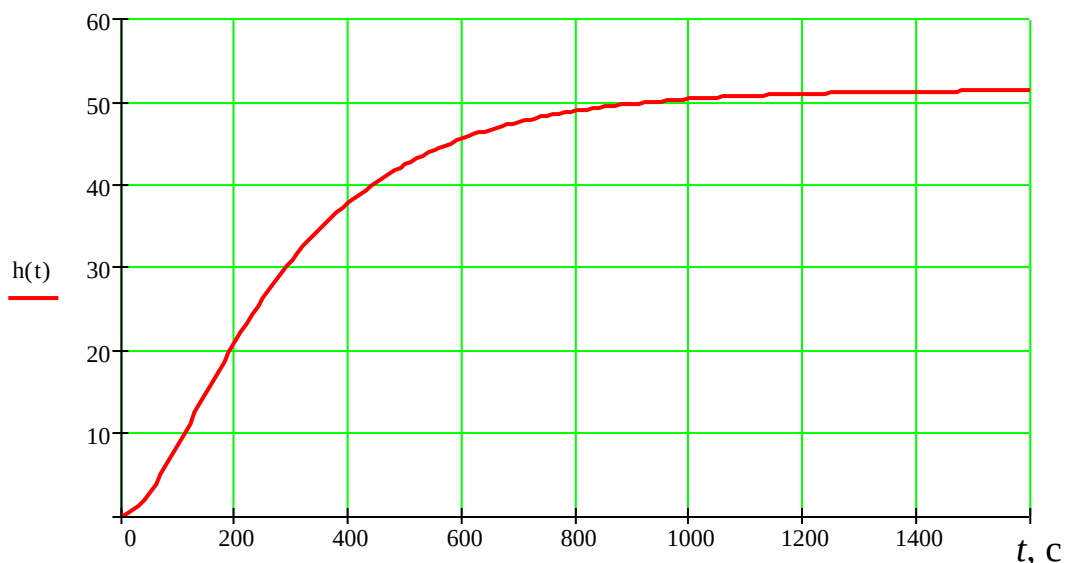


Рисунок 4.9 – Графік перехідного процесу для ланки другого порядку, розрахований за методом площ

4.2.6 Вибір найкращої апроксимуючої моделі

Для вибору кращої апроксимуючої моделі об'єкта керування серед знайдених моделей порівняємо теоретичні й експериментальний перехідні процеси. Для оцінки якості отриманих передаточних функцій, що описують об'єкт керування, обчислимо оцінку χ^2 за формулою:

$$\chi^2 = \frac{1}{k} \sqrt{\sum_1^6 (y_i - y_{i_real})^2} \quad (4.9)$$

Проведений розрахунок дає наступні результати:

Розрахунок погрешностей

$k = 51,43$;

$y_real = [24,44 \ 60 \ 93,33 \ 125,5 \ 154,44 \ 180]$;

$y1 = [32 \ 72 \ 101 \ 122 \ 136 \ 146]$;

$y2 = [31,1 \ 73,3 \ 106,67 \ 131,11 \ 148,89 \ 160]$;

$tmp = 0$;

for $i = 1:6$

$tmp = tmp + (y_real(i) - y1(i))^2$;

end

$x1 = \sqrt{tmp}/k$

$tmp = 0$;

for $i = 1:6$

$tmp = tmp + (y_real(i) - y2(i))^2$;

end

$x2 = \sqrt{tmp}/k$

$x1 = 0,0818$

$x2 = 0,0571$

$x1$ – відповідає оцінці ланки з запізнюванням; $x2$ – відповідає аперіодичній ланці другого порядку, розрахованій методом площ.

Оскільки найменша оцінка χ^2 отримана для аперіодичної ланки другого порядку, розрахованого інтегральним методом, то цю ланку і візьмемо як модель розроблюваної системи. Передаточна функція об'єкта керування має вигляд:

$$W_o(s) = \frac{51,43}{(237,2624s + 1)(72,62s + 1)} \quad (4.10)$$

4.3 Дослідження залежності сигналу датчика від температури повітря у холодильній камері

Використовувати систему автоматичного стабілізації температурного режиму промислового холодильника можливо лише при умові визначення залежності сигналу датчика від температури повітря. Тобто необхідно знайти аналітичний вираз, який визначає взаємозв'язок між вказаними параметрами.

З метою отримання такої математичної залежності необхідно провести експериментальні дослідження. Для чого проводилось під'єднання датчика до мережі живлення, фіксування значень його вихідного сигналу та вимірювання температури за допомогою термометра. Всього в процесі дослідження виконано 50 вимірювань.

Результати експериментальних досліджень як координати точок на площині показані на рис. 4.10 (наведено на кресленні 5). По осі y відкладались експериментально отримані значення сигналу датчика, а по осі x – експериментально отримані значення температури повітря у холодильній камері.

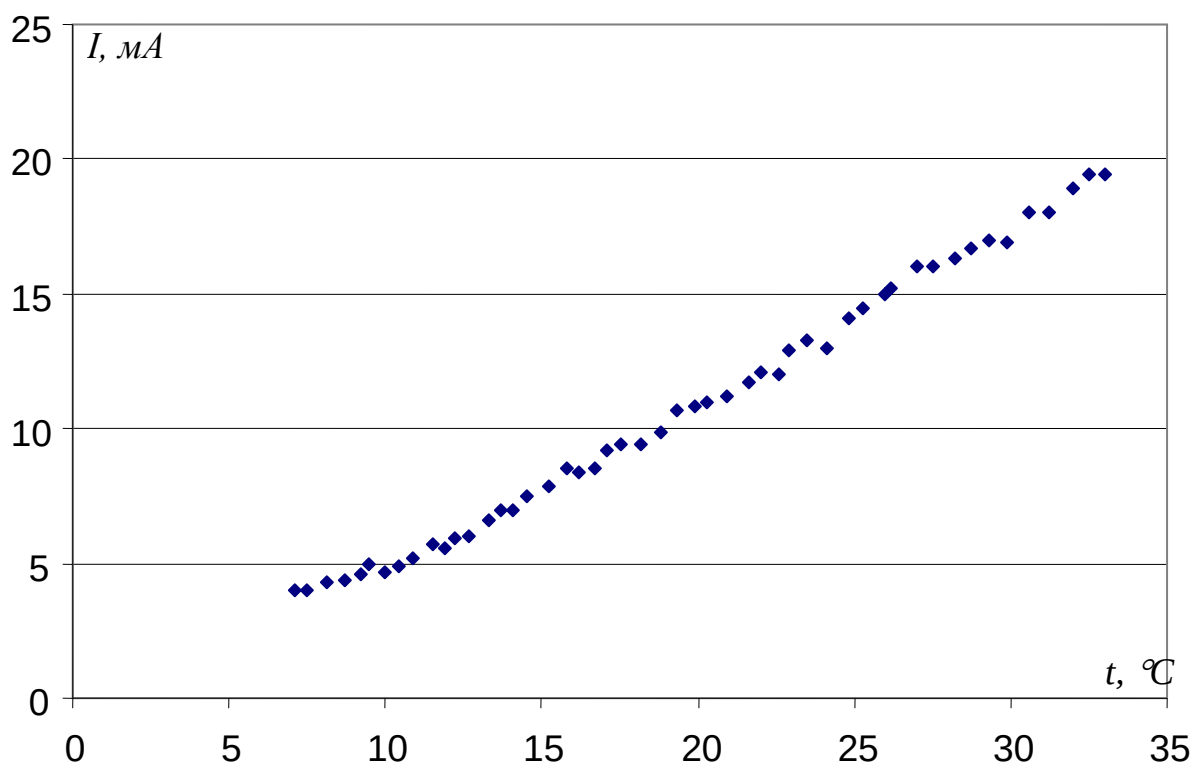


Рисунок 4.10 – Експериментально отримані значення вихідного сигналу датчика від температури повітря у холодильній камері

Експериментальні дані свідчать про те, що спостерігається певна функціональна залежність (скоріш за все вона є лінійною) сигналу датчика від температури повітря у камері, проте має місце певний розкид значень, який потребує уточнення і детального вивчення.

Таким чином, можна рахувати, що вихідний сигнал датчика прямо пропорційний температурі повітря у холодильній камері. Даний факт потребує строгого уточнення в кожному конкретному випадку. При цьому необхідно визначати як кількісні, так і якісні особливості даної залежності для конкретного типу холодильної установки.

4.3.1 Визначення виду лінії регресії

Розміщення точок на графіку рис. 4.10 свідчить про можливість використання лінійного рівняння:

$$y = b_0 + b_1x \quad (4.11)$$

Для визначення коефіцієнтів регресії b_0 та b_1 за формулами

$$b_0 = \frac{\Sigma y \cdot \Sigma x^2 - \Sigma(x \cdot y) \cdot \Sigma x}{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}, \quad (4.12)$$

$$b_1 = \frac{n \Sigma(x \cdot y) - \Sigma x \cdot \Sigma y}{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}. \quad (4.13)$$

Дані обчислень заносимо до табл. 4.1

За табл. 4.1 визначаємо середні значення ознак x та y

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{n} = \frac{970,1}{50} = 19,402, \quad \bar{y} = \frac{\Sigma y_i}{n} = \frac{533,7}{50} = 10,674.$$

Зробимо перевірку згідно рівняння

$$\sum_{i=1}^{50} (x_i + y_i)^2 = \sum_{i=1}^{50} x_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{50} x_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^{50} y_i^2. \quad (4.14)$$

$$\sum_{i=1}^{50} (x_i + y_i)^2 = 52844,38,$$

$$\sum_{i=1}^{50} x_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{50} x_i \cdot y_i + \sum_{i=1}^{50} y_i^2 = 21702,29 + 2 \cdot 12156,12 + 6829,85 = 52844,38.$$

Таблиця 4.1 – Методика обчислень коефіцієнтів регресії

експ.	$t, ^\circ\text{C}$	$I, \text{мА}$	t^2	I^2	$t \cdot I$	$t + I$	$(t + I)^2$	$t - \bar{t}$	$I - \bar{I}$	$(t - \bar{t})^2$	$(I - \bar{I})^2$	$(t - \bar{t}) \cdot (I - \bar{I})$
1	7,1	4	50,41	16	28,4	11,1	123,21	-12,302	-6,674	151,3392	44,54228	82,10355
2	7,5	4	56,25	16	30	11,5	132,25	-11,902	-6,674	141,6576	44,54228	79,43395
3	8,1	4,3	65,61	18,49	34,83	12,4	153,76	-11,302	-6,374	127,7352	40,62788	72,03895
4	8,7	4,4	75,69	19,36	38,28	13,1	171,61	-10,702	-6,274	114,5328	39,36308	67,14435
5	9,2	4,6	84,64	21,16	42,32	13,8	190,44	-10,202	-6,074	104,0808	36,89348	61,96695
6	9,5	5	90,25	25	47,5	14,5	210,25	-9,902	-5,674	98,0496	32,19428	56,18395
7	10	4,7	100	22,09	47	14,7	216,09	-9,402	-5,974	88,3976	35,68868	56,16755
8	10,4	4,9	108,16	24,01	50,96	15,3	234,09	-9,002	-5,774	81,036	33,33908	51,97755
9	10,9	5,2	118,81	27,04	56,68	16,1	259,21	-8,502	-5,474	72,284	29,96468	46,53995
10	11,5	5,7	132,25	32,49	65,55	17,2	295,84	-7,902	-4,974	62,4416	24,74068	39,30455
11	11,9	5,6	141,61	31,36	66,64	17,5	306,25	-7,502	-5,074	56,28	25,74548	38,06515
12	12,2	5,9	148,84	34,81	71,98	18,1	327,61	-7,202	-4,774	51,8688	22,79108	34,38235
13	12,7	6	161,29	36	76,2	18,7	349,69	-6,702	-4,674	44,9168	21,84628	31,32515
14	13,3	6,6	176,89	43,56	87,78	19,9	396,01	-6,102	-4,074	37,2344	16,59748	24,85955
15	13,7	7	187,69	49	95,9	20,7	428,49	-5,702	-3,674	32,5128	13,49828	20,94915
16	14,1	7	198,81	49	98,7	21,1	445,21	-5,302	-3,674	28,1112	13,49828	19,47955
17	14,5	7,5	210,25	56,25	108,75	22	484	-4,902	-3,174	24,0296	10,07428	15,55895
18	15,2	7,9	231,04	62,41	120,08	23,1	533,61	-4,202	-2,774	17,6568	7,695076	11,65635
19	15,8	8,5	249,64	72,25	134,3	24,3	590,49	-3,602	-2,174	12,9744	4,726276	7,830748
20	16,2	8,4	262,44	70,56	136,08	24,6	605,16	-3,202	-2,274	10,2528	5,171076	7,281348
21	16,7	8,5	278,89	72,25	141,95	25,2	635,04	-2,702	-2,174	7,300804	4,726276	5,874148
22	17,1	9,2	292,41	84,64	157,32	26,3	691,69	-2,302	-1,474	5,299204	2,172676	3,393148
23	17,5	9,4	306,25	88,36	164,5	26,9	723,61	-1,902	-1,274	3,617604	1,623076	2,423148
24	18,2	9,4	331,24	88,36	171,08	27,6	761,76	-1,202	-1,274	1,444804	1,623076	1,531348
25	18,8	9,9	353,44	98,01	186,12	28,7	823,69	-0,602	-0,774	0,362404	0,599076	0,465948
26	19,3	10,7	372,49	114,49	206,51	30	900	-0,102	0,026	0,010404	0,000676	-0,00265
27	19,9	10,8	396,01	116,64	214,92	30,7	942,49	0,498	0,126	0,248004	0,015876	0,062748
28	20,3	11	412,09	121	223,3	31,3	979,69	0,898	0,326	0,806404	0,106276	0,292748
29	20,9	11,2	436,81	125,44	234,08	32,1	1030,41	1,498	0,526	2,244004	0,276676	0,787948
30	21,6	11,7	466,56	136,89	252,72	33,3	1108,89	2,198	1,026	4,831204	1,052676	2,255148
31	22	12,1	484	146,41	266,2	34,1	1162,81	2,598	1,426	6,749604	2,033476	3,704748
32	22,6	12	510,76	144	271,2	34,6	1197,16	3,198	1,326	10,2272	1,758276	4,240548
33	22,9	12,9	524,41	166,41	295,41	35,8	1281,64	3,498	2,226	12,236	4,955076	7,786548
34	23,5	13,3	552,25	176,89	312,55	36,8	1354,24	4,098	2,626	16,7936	6,895876	10,76135
35	24,1	13	580,81	169	313,3	37,1	1376,41	4,698	2,326	22,0712	5,410276	10,92755
36	24,8	14,1	615,04	198,81	349,68	38,9	1513,21	5,398	3,426	29,1384	11,73748	18,49355
37	25,3	14,5	640,09	210,25	366,85	39,8	1584,04	5,898	3,826	34,7864	14,63828	22,56575
38	26	15	676	225	390	41	1681	6,598	4,326	43,5336	18,71428	28,54295
39	26,2	15,2	686,44	231,04	398,24	41,4	1713,96	6,798	4,526	46,2128	20,48468	30,76775
40	27	16	729	256	432	43	1849	7,598	5,326	57,7296	28,36628	40,46695
41	27,5	16	756,25	256	440	43,5	1892,25	8,098	5,326	65,5776	28,36628	43,12995
42	28,2	16,3	795,24	265,69	459,66	44,5	1980,25	8,798	5,626	77,4048	31,65188	49,49755
43	28,7	16,7	823,69	278,89	479,29	45,4	2061,16	9,298	6,026	86,4528	36,31268	56,02975
44	29,3	17	858,49	289	498,1	46,3	2143,69	9,898	6,326	97,9704	40,01828	62,61475
45	29,9	16,9	894,01	285,61	505,31	46,8	2190,24	10,498	6,226	110,208	38,76308	65,36055
46	30,6	18	936,36	324	550,8	48,6	2361,96	11,198	7,326	125,3952	53,67028	82,03655
47	31,2	18	973,44	324	561,6	49,2	2420,64	11,798	7,326	139,1928	53,67028	86,43215
48	32	18,9	1024	357,21	604,8	50,9	2590,81	12,598	8,226	158,7096	67,66708	103,6311
49	32,5	19,4	1056,25	376,36	630,5	51,9	2693,61	13,098	8,726	171,5576	76,14308	114,2931

50	33	19,4	1089	376,36	640,2	52,4	2745,76	13,598	8,726	184,9056	76,14308	118,6561
Σ	970,1	533,7	21702,29	6829,85	12156,12	1503,8	52844,38	0	-2,1E-14	2880,41	1133,136	1801,273

Таким чином, табличні обчислення зроблено вірно.

В формули коефіцієнтів регресії (4.15) та (4.16) підставляємо відповідні значення з табл. 4.1:

$$b_0 = \frac{533,7 \cdot 21702,29 - 12156,12 \cdot 970,1}{50 \cdot 21702,29 - 970,1^2} = -1,459, \quad b_1 = \frac{50 \cdot 12156,12 - 970,1 \cdot 533,7}{50 \cdot 21702,29 - 970,1^2} = 0,625.$$

Рівняння регресії, що визначає апроксимуючу лінійну функцію для експериментальних даних (рис. 4.11) має вигляд

$$y = -1,459 + 0,625x. \quad (4.15)$$

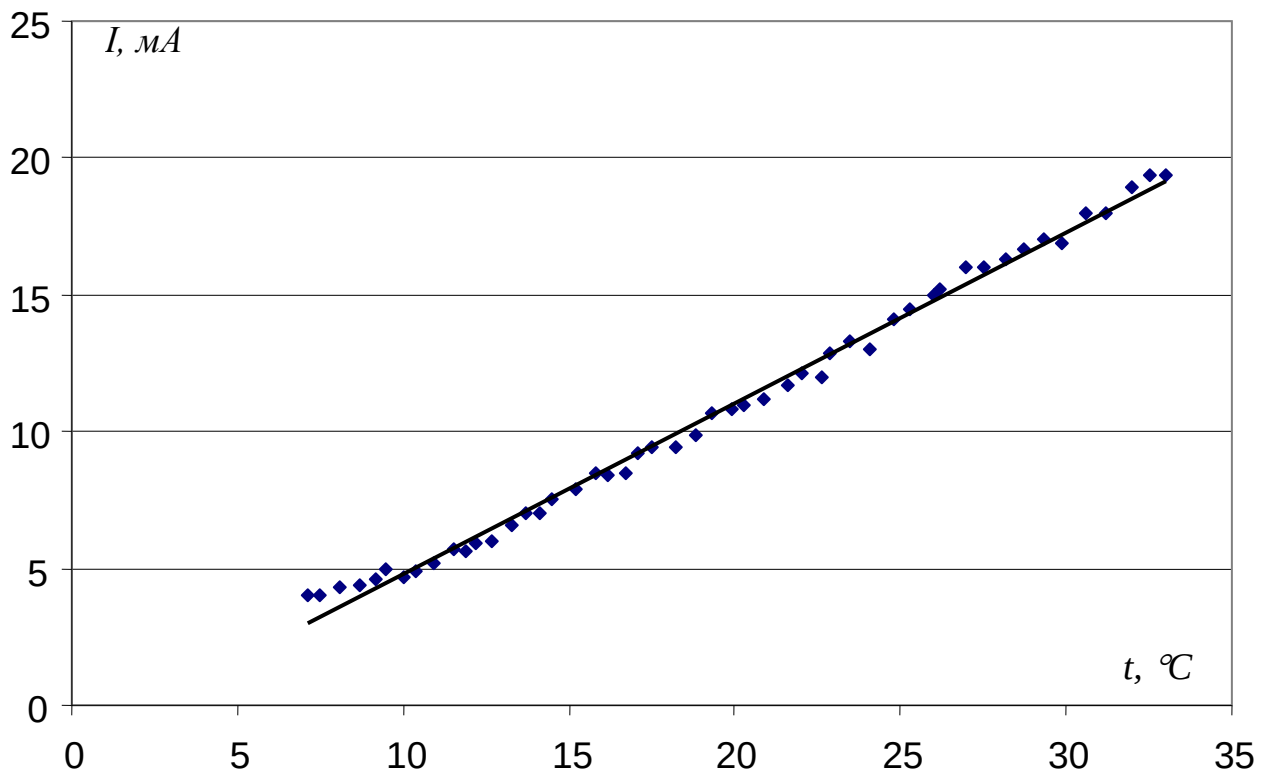


Рисунок 4.11 – Зображення лінії регресії

4.3.2 Визначення коефіцієнта кореляції

Коефіцієнт кореляції обчислюємо за формулою

$$r = \frac{\Sigma(x \cdot y) - (1/n) \cdot \Sigma x \cdot \Sigma y}{\sqrt{(\Sigma x^2 - (1/n) \cdot (\Sigma x)^2) \cdot (\Sigma y^2 - (1/n) \cdot (\Sigma y)^2)}}. \quad (4.16)$$

Підставивши відповідні значення з табл. 4.1, отримаємо

$$r = \frac{12156,12 - (1/50) \cdot 970,1 \cdot 533,7}{\sqrt{(21702,29 - (1/50) \cdot 970,1^2) \cdot (6829,85 - (1/50) \cdot 533,7^2)}} = 0,997.$$

Значення коефіцієнта кореляції показує, що змінні x та y мають прямий і тісний зв'язок.

4.3.3 Оцінка істотності коефіцієнта кореляції та лінії регресії

Для визначення істотності тобто не випадковості коефіцієнта кореляції скористаємось критерієм Стюдента, значення якого обчислюємо за формулою

$$t_{теор} = \frac{r \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}. \quad (4.17)$$

Підставивши відповідні значення, отримаємо

$$t_{теор} = \frac{0,997 \cdot \sqrt{50-2}}{\sqrt{1-0,997^2}} = 89,241.$$

Знайдемо за таблицями квантелів розподілу Стюдента за найбільш розповсюдженим в техніці рівнем значимості $\alpha = 0,05$ і числу ступенів свободи $k = n - 2 = 50 - 2 = 48$ квантиль $t_{\alpha/2; n-2} = t_{0,025; 48} = 2,02$. Оскільки $t_{теор} = 89,241 > 2,02$, то вибірковий коефіцієнт кореляції значимо відрізняється від нуля. А це означає, що лінійна регресійна модель $y = b_0 + b_1x$ вибрана вдало, тобто вона узгоджується з експериментальними даними.

Визначимо значимість рівняння регресії, використовуючи критерій Фішера. При цьому необхідно визначити загальну дисперсію, використовуючи вираз

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum y^2 - (1/n)(\sum y)^2}{n-1} \quad (4.18)$$

та залишкову дисперсію, використовуючи вираз

$$\sigma_{yz}^2 = \frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n-2}. \quad (4.19)$$

Фактичне значення критерію Фішера визначається за формулою

$$\hat{F} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{yz}^2} = \frac{\sum y^2 - (1/n)(\sum y)^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \cdot \frac{n-2}{n-1}. \quad (4.20)$$

Дані для обчислення залишкової дисперсії зводимо до табл. 4.2

Таблиця 4.2 – Дані для обчислення залишкової дисперсії з використанням виразу $y = -1,459 + 0,625x$

експ.	N	T , °C	I , мА	$\hat{y} = -1,459 + 0,625x$	$y - \hat{y}$	$(y - \hat{y})^2$
1		7,1	4	2,9785	1,0215	1,043462
2		7,5	4	3,2285	0,7715	0,595212
3		8,1	4,3	3,6035	0,6965	0,485112
4		8,7	4,4	3,9785	0,4215	0,177662
5		9,2	4,6	4,291	0,309	0,095481
6		9,5	5	4,4785	0,5215	0,271962
7		10	4,7	4,791	-0,091	0,008281
8		10,4	4,9	5,041	-0,141	0,019881
9		10,9	5,2	5,3535	-0,1535	0,023562
10		11,5	5,7	5,7285	-0,0285	0,000812
11		11,9	5,6	5,9785	-0,3785	0,143262
12		12,2	5,9	6,166	-0,266	0,070756
13		12,7	6	6,4785	-0,4785	0,228962
14		13,3	6,6	6,8535	-0,2535	0,064262
15		13,7	7	7,1035	-0,1035	0,010712
16		14,1	7	7,3535	-0,3535	0,124962
17		14,5	7,5	7,6035	-0,1035	0,010712
18		15,2	7,9	8,041	-0,141	0,019881
19		15,8	8,5	8,416	0,084	0,007056
20		16,2	8,4	8,666	-0,266	0,070756
21		16,7	8,5	8,9785	-0,4785	0,228962
22		17,1	9,2	9,2285	-0,0285	0,000812
23		17,5	9,4	9,4785	-0,0785	0,006162
24		18,2	9,4	9,916	-0,516	0,266256
25		18,8	9,9	10,291	-0,391	0,152881
26		19,3	10,7	10,6035	0,0965	0,009312
27		19,9	10,8	10,9785	-0,1785	0,031862
28		20,3	11	11,2285	-0,2285	0,052212
29		20,9	11,2	11,6035	-0,4035	0,162812
30		21,6	11,7	12,041	-0,341	0,116281
31		22	12,1	12,291	-0,191	0,036481
32		22,6	12	12,666	-0,666	0,443556
33		22,9	12,9	12,8535	0,0465	0,002162
34		23,5	13,3	13,2285	0,0715	0,005112
35		24,1	13	13,6035	-0,6035	0,364212
36		24,8	14,1	14,041	0,059	0,003481
37		25,3	14,5	14,3535	0,1465	0,021462
38		26	15	14,791	0,209	0,043681
39		26,2	15,2	14,916	0,284	0,080656
40		27	16	15,416	0,584	0,341056
41		27,5	16	15,7285	0,2715	0,073712
42		28,2	16,3	16,166	0,134	0,017956
43		28,7	16,7	16,4785	0,2215	0,049062
44		29,3	17	16,8535	0,1465	0,021462
45		29,9	16,9	17,2285	-0,3285	0,107912
46		30,6	18	17,666	0,334	0,111556
47		31,2	18	18,041	-0,041	0,001681
48		32	18,9	18,541	0,359	0,128881

49	32,5	19,4	18,8535	0,5465	0,298662
50	33	19,4	19,166	0,234	0,054756
Σ	970,1	533,7			6,707806

Підставляючи у формули (4.19), (4.20) відповідні значення із табл. 4.1 та табл. 4.2, отримаємо

$$\sigma_y^2 = \frac{6829,85 - (1/50)(533,7)^2}{50 - 1} = 23,125, \quad \sigma_{yz}^2 = \frac{6,707806}{50 - 2} = 0,14,$$

$$\hat{F} = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{yz}^2} = \frac{23,125}{0,14} = 165,179.$$

Табличне значення критерію Фішера $F_{49;48;0.005}^T = 1,5$ на 5 % рівні значущості менше фактичного значення. Таким чином, рівняння регресії адекватно відображає результати експерименту і його необхідно використовувати під час зчитування показань датчика температури.

Узагальнений порядок визначення вказаних вище рівняння і показників наведено на 5.

4.4 Синтез коректуючого пристрою

4.4.1 Визначення передаточних функцій системи

Для того щоб система задовольняла заданим вимогам по точності і якості (перерегулювання $\sigma \leq 5\%$, час регулювання $t \leq 420$ с), необхідно у вихідну систему ввести послідовний коректуючий пристрій.

Перед усім необхідно визначити передаточну функцію вихідної розімкнутої та замкнутої системи. Для цього, користуючись літературними джерелами виберемо передаточні функції елементів системи згідно функціональної схеми системи стабілізації температурного режиму промислового холодильника (рис. 4.1). Отримаємо структурну схему, наведено на рис. 4.14.

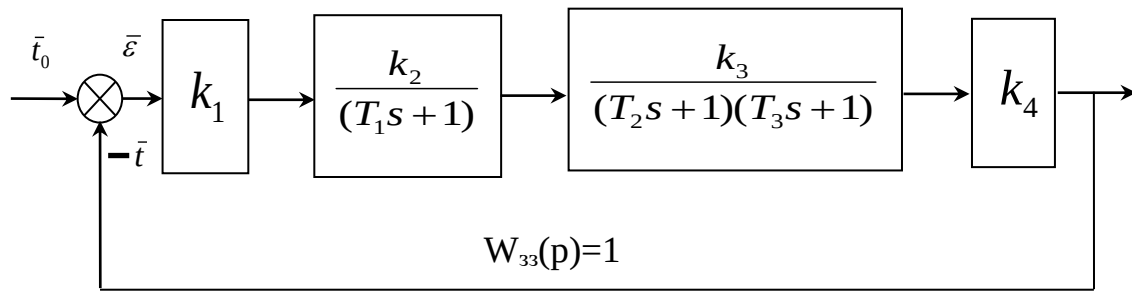


Рисунок 4.14 – Структурна схема системи стабілізації температурного режиму промислового холодильника

Знайдемо передаточну функцію розімкнутої системи. Всі елементи з'єднані послідовно, тому передаточна функція розімкнутої системи буде дорівнювати добутку передаточних функцій ланок, що входять в її склад, отже, матимемо:

$$W_p(s) = W_{BB}(s) \cdot W_d(s) \cdot W_o(s) \cdot W_{DT}(s) = \frac{k_1 k_2 k_3 k_4}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)} \quad (4.24)$$

де $W_{BB}(s) = k_1 = 0,08$ – передаточна функція вимірювального блока, в цей вираз включено і передаточну функцію мікроконтролера $W_{MK}(s) = 1$;

$$W_d(s) = \frac{k_2}{(T_1 s + 1)} = \frac{10}{(0,5s + 1)} \text{ – передаточна функція двигуна;}$$

$$W_o(s) = \frac{k_0}{(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)} = \frac{51,43}{(237,2624s + 1)(72,62s + 1)} \text{ – передаточна функція}$$

об'єкта керування;

$$W_{DT}(s) = k_4 = 0,625 \text{ – передаточна функція датчика температури.}$$

Підставивши відповідні значення коефіцієнтів підсилення елементів системи, отримаємо загальний коефіцієнт підсилення розімкнутої системи:

$$k = k_1 k_2 k_3 k_4 = 0,08 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 51,43 \cdot 0,625 = 25,72 \quad (4.25)$$

Передаточна функція розімкнутої системи буде мати вигляд:

$$W_p(s) = \frac{25,72}{(0,5s + 1)(237,2624s + 1)(72,62s + 1)} \quad (4.26)$$

Передаточна функція замкнутої системи, з врахуванням того, що $W_{zz}(s) = 1$, розраховується за формулою

$$W_3(s) = \frac{W_p(s)}{1 + W_p(s)} = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_3s + 1) + k} \quad (4.27)$$

Підставивши відповідні значення коефіцієнтів підсилення та сталих часу елементів системи, отримаємо:

$$W_3(s) = \frac{25,72}{(0,5s + 1)(237,2624s + 1)(72,62s + 1) + 25,72} \quad (4.28)$$

Характеристичне рівняння системи має вигляд:

$$T_1T_2T_3s^3 + (T_1T_2 + T_1T_3 + T_2T_3)s^2 + s(T_1 + T_2 + T_3) + 1 + k = 0 \quad (4.29)$$

Підставивши відповідні значення коефіцієнтів підсилення та сталих часу елементів системи, отримаємо:

$$8615s^3 + 17384,94s^2 + s310,38 + 26,72 = 0 \quad (4.30)$$

4.4.2 Дослідження системи на стійкість та визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

За цим критерієм стійкість замкнутої системи автоматичного регулювання визначають за амплітудно-фазовою частотною характеристикою стійкої розімкнутої системи. Розімкнута система автоматичного регулювання стійка в тому разі, коли складається тільки із стійких динамічних ланок (має не більше однієї інтегруючої ланки). Якщо розімкнута система автоматичного керування є стійкою, то для стійкості замкнутої системи необхідно і достатньо, щоб амплітудно-фазова частотна характеристика розімкнутої системи не охоплювала точку з координатами $(-1, j0)$ при зміні частоти від 0 до ∞ .

Для побудови амплітудно-фазової частотної характеристики розімкнутої системи необхідно у відповідній передаточній функції провести заміну $s = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω - частота), виділити дійсну $P(\omega)$ і уявну $Q(\omega)$ частини та, змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкласти відповідні значення. Провівши вказані перетворення, за допомогою засобів математичного редактора Matcad отримаємо наступний графік амплітудно-фазової частотної характеристики (рис. 4.15). Далі

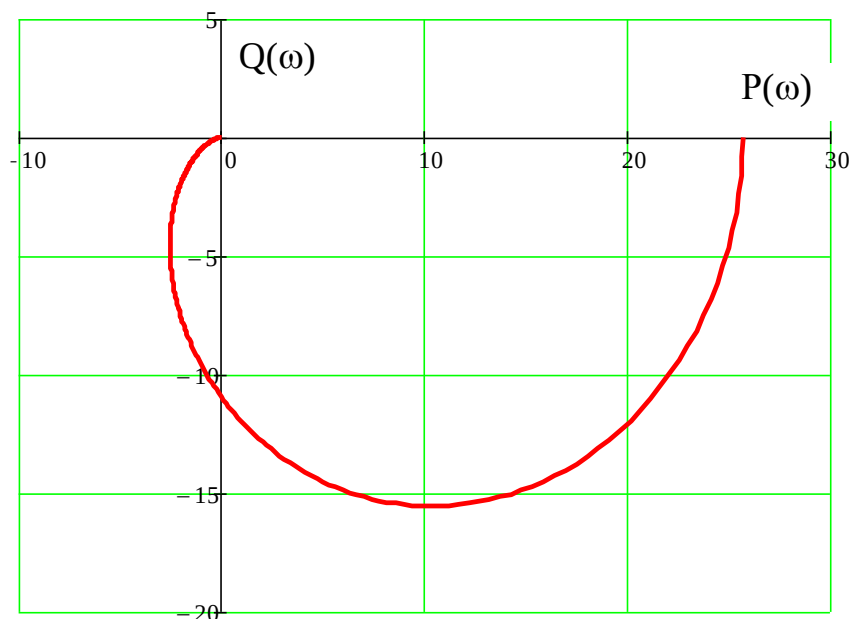


Рисунок 4.15 – АФЧХ розімкнутої системи

збільшивши ділянку в околі точки з координатами $[-1; j0]$ та накресливши коло одиничного радіусу, визначимо запаси стійкості за модулем і фазою (рис. 4.16). З рисунка 4.15 видно, що абсолютне значення запасу за модулем складає $3_M = 0,9$, а запас по фазі $3_\phi = 17^\circ$.

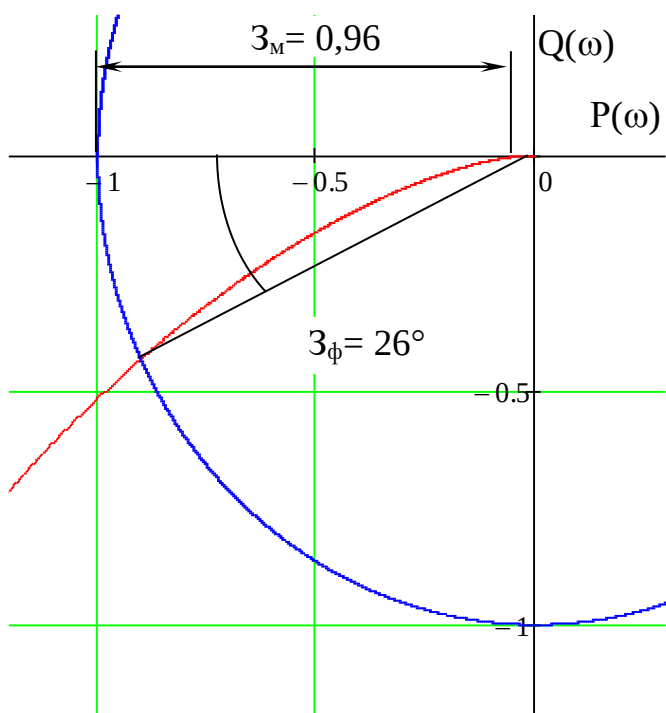


Рисунок 4.16 – Визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

4.4.3 Дослідження системи на стійкість та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра

Побудуємо область стійкості системи в площині параметру k_1 , тому що його легко змінювати шляхом підбору коефіцієнту підсилення підсилювача вимірювального блоку. Використовуючи характеристичне рівняння системи, запишемо його відносно k_1 , отримаємо:

$$K(s) = - \frac{(T_1 T_2 T_3 s^3 + (T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) s^2 + s(T_1 + T_2 + T_3) + 1)}{k_2 k_3 k_4}. \quad (4.31)$$

Підставивши $s = j\omega$ та виділивши дійсну і уявну частини даного виразу, отримаємо:

$$K(\omega) = - \frac{-j T_1 T_2 T_3 \omega^3 - (T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) \omega^2 + j \omega (T_1 + T_2 + T_3) + 1}{k_2 k_3 k_4}, \quad (4.32)$$

$$P(\omega) = \frac{(T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) \omega^2 + 1}{k_2 k_3 k_4}; \quad Q(\omega) = \frac{(T_1 T_2 T_3 \omega^3 - \omega (T_1 + T_2 + T_3))}{k_2 k_3 k_4}$$

Побудуємо криву D-розбиття в площині параметру k_1 при зміні частоти від $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 4.17) (наведено на кресленні 6).

Оскільки у стійкій системі всі корені містяться ліворуч від уявної осі, при обході її від $-\infty$ до $+\infty$ ділянка стійкості також буде ліворуч від добутої кривої. Для зручності відшукування ділянки стійкості можна нанести на криву (рис. 4.17)

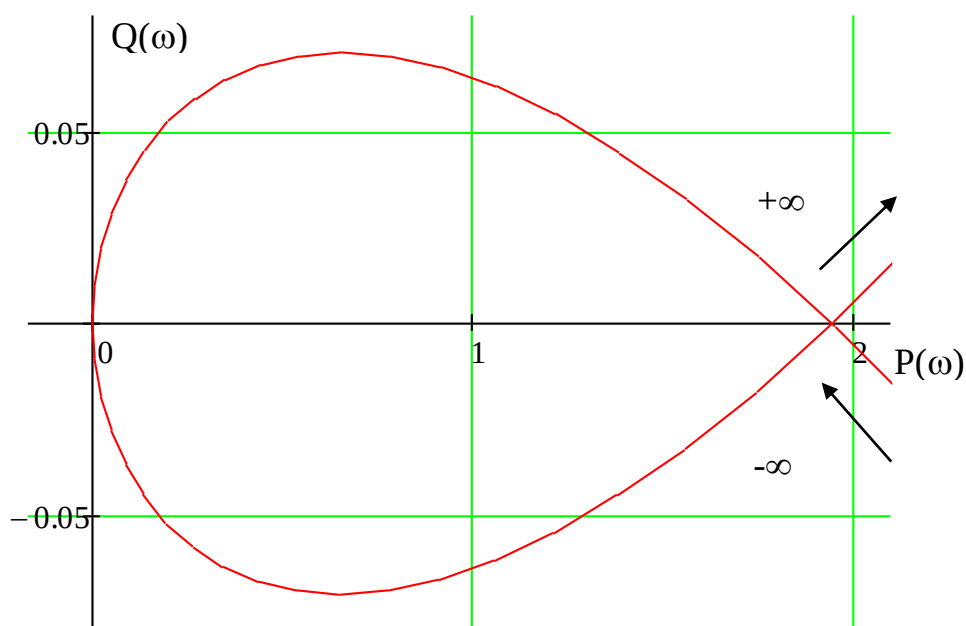


Рисунок 4.17 – D-розбиття в площині параметра k_3 .

штриховку зліва при русі від $-\infty$ до $+\infty$. З побудованої області стійкості можна визначити критичне значення коефіцієнта k_I , яке в даному випадку дорівнює $k_{Ikp} = 1,95$. Як видно, задане значення коефіцієнта підсилення підсилювача $k_I = 0,08$ входить в зону стійкості, проте для подальших розрахунків можна збільшити задане значення цього параметра, тому приймемо $k_I = 0,128$.

4.4.4 Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи

Для побудови ЛАЧХ за допомогою асимптотичного методу передусім потрібно знайти спрягаючі частоти за сталими часу динамічних ланок:

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці};$$

$$\omega_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{237,2624} = 0,004215 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці};$$

$$\omega_3 = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{72,62} = 0,014 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці}.$$

Знайдені спрягаючі частоти відмічаємо на осі частот в логарифмічному масштабі. Низькочастотна асимптота ЛАЧХ при $\omega < \omega_1$ являє собою пряму з нахилом 0 дБ/дек, так як система не містить інтегруючу динамічну ланку. Ця пряма або її продовження при $\omega = 1$ повинна мати ординату, яка дорівнює $20 \lg k = 32,29$ дБ ($k = 41,14$ – коефіцієнт підсилення розімкнутої системи). Після кожної із спрягаючих частот нахил характеристики $L(\omega)$ змінюється порівняно з попереднім значенням на -20 дБ/дек, так як дані частоти належать аперіодичним динамічним ланкам першого порядку. Високочастотна асимптота ЛАЧХ, тобто її частина при частотах, більших ω_0 , має нахил -60 дБ/дек.

ЛФЧХ одноконтурної розімкнутої системи отримується в результаті простого складання ординат фазових характеристик типових ланок, що входять в склад системи:

$$\phi(\omega) = (-\arctg(\omega T_1) - \arctg(\omega T_2) - \arctg(\omega T_3)) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (4.33)$$

Оцінка якості регулювання замкнутої САР полягає в визначенні запасу стійкості (по модулю і фазі), та частоти зрізу. Для визначення цих величин

будуємо ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкненої системи, при чому виконуємо їх взаємне

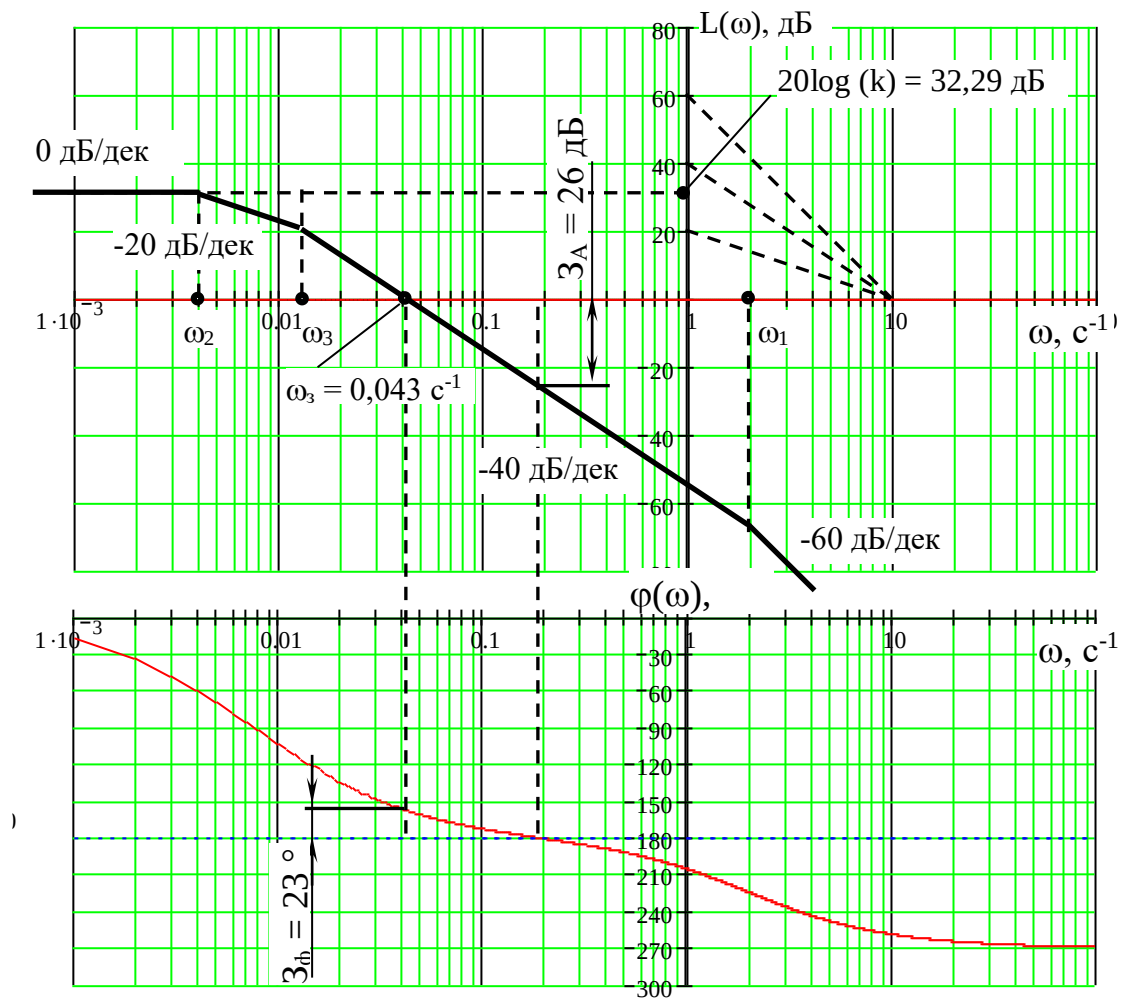


Рисунок 4.18 – Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкненої системи

розміщення (наведено на кресленні 6).

З даної побудови можна визначити: частота зрізу $\omega_z = 0,043 \text{ c}^{-1}$, запас стійкості по амплітуді $z_m \approx 26 \text{ дБ}$; запас стійкості по фазі $z_\phi \approx 23^\circ$.

4.4.5 Побудова перехідного процесу замкнутої системи

Регульована величина в часі при подачі на вхід системи одиничного ступінчастого діяння описується залежністю

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty P_3(\omega) \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega \quad (4.34)$$

За цією залежністю засобами математичного редактора Matcad виділимо дійсну частину передаточної функції замкнутої системи та побудуємо криву перехідного процесу (рис. 4.19, наведено на кресленні 7). По графіку можна зробити висновок, що перехідний процес – коливальний, він здійснюється з незмінним періодом коливань, затухаючий, також можна визначити наступні прямі показники якості САР:

- час регулювання $t_p \approx 722$ с – це час від початку дії вхідного діяння до входження системи в зону 2Δ ($\Delta = 3...5$ % від усталеного значення), він залежить від швидкодії динамічних ланок та від їх кількості в головному контурі; через те, що до системи ставляться жорсткі вимоги, то даний параметр, як вимога до САР для синтезу коректуючого пристрою необхідно зменшити на 25 %, приймаємо $t_p = 540$ с;

- перерегулювання $\delta = 58,9$ %;

- частота коливань $\omega = \frac{2\pi}{T} = 0,0044$ с⁻¹, де $T = 230$ с – період коливань;

- кількість коливань перехідного процесу $k = 2$;

- час досягнення першого максимуму $t_{\max} = 116$ с;

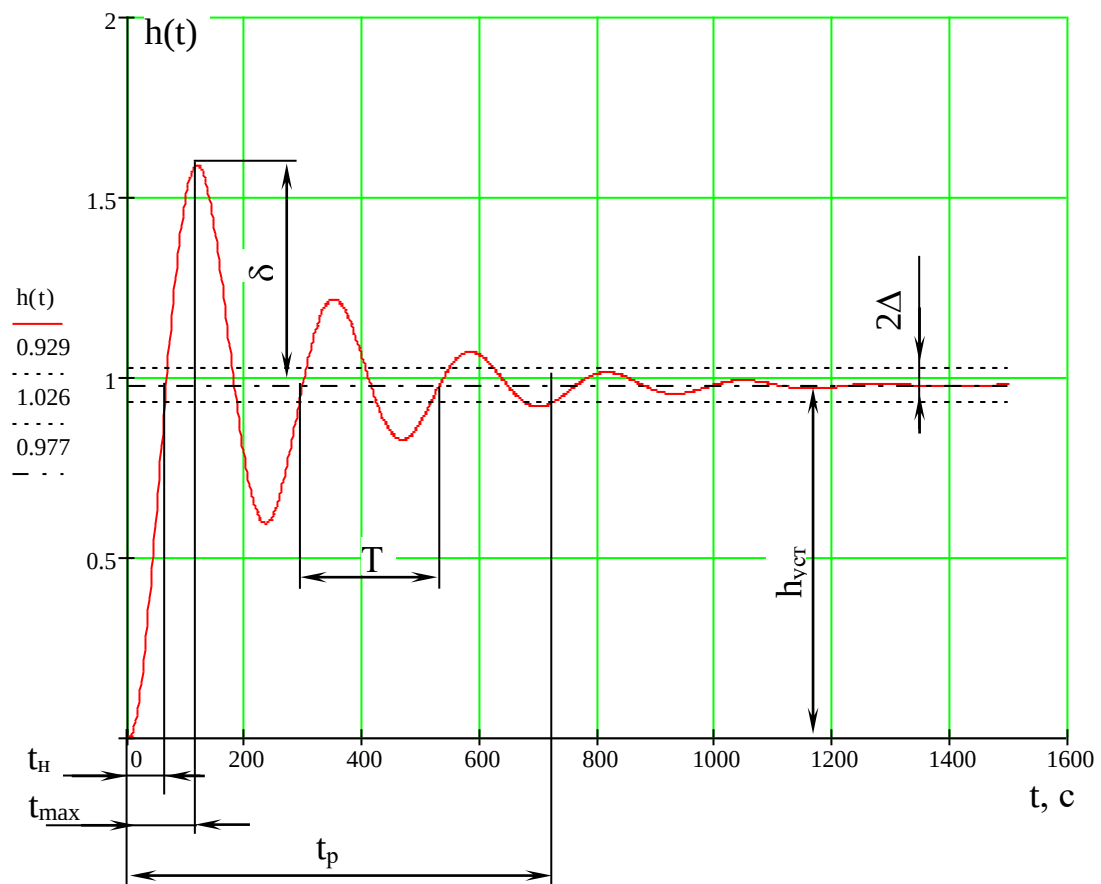


Рисунок 4.19 – Графік перехідного процесу вихідної системи

- час наростання перехідного процесу $t_n = 64$ с – це час досягнення вихідною величиною усталеного значення;

- декремент затухання перехідного процесу характеризує затухання перехідного процесу, це відношення відхилень сусідніх коливань $d = 2,73$.

4.4.6 Побудова бажаної ЛАЧХ системи

Вимоги до синтезуємої САР: час регулювання $t_p = 540$ с; максимальне перерегулювання $\delta = 15\%$; запас стійкості за модулем не менше 15 дБ; за фазою не менше 30° . Для синтезу САР необхідно побудувати вихідну ЛАЧХ розімкнутої системи, бажану ЛАЧХ та ЛАЧХ коректуючого пристрою.

Побудова бажаної ЛАЧХ виконується в кілька етапів (рис. 4.20, наведено на кресленні 7).

Побудова в області низьких частот аналогічна до побудови ЛАЧХ незмінної системи. Тобто проводиться асимптота з нахилом 0 дБ/дек через точку з координатами $20 \lg k = 32,29$ дБ.

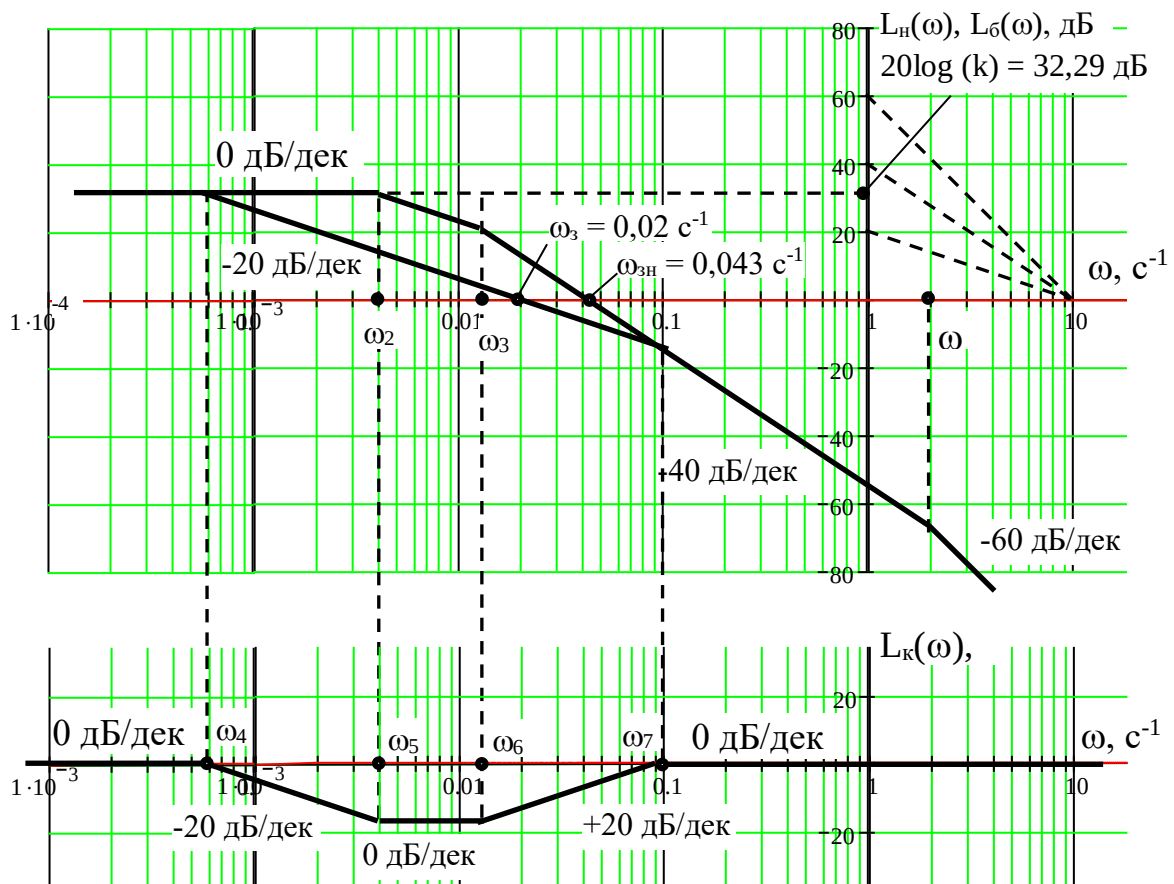


Рисунок 4.20 – Побудова бажаної ЛАЧХ та визначення ЛАЧХ коректуючого пристрою

Побудова в області середніх частот – це найбільш відповідальна асимптота. В даному діапазоні ЛАЧХ визначається заданими значеннями перегулювання та тривалістю перехідного процесу. З міркувань наближення реального процесу до оптимального (за швидкодією) нахил середньої частотної асимптоти бажаної ЛАЧХ вибирається – 20 дБ/дек. Вибір частоти зрізу ω_z (частота, при якій ЛАЧХ перетинає вісь частот) виконують на підставі нерівності $\omega_{z.min} \leq \omega_z \leq \omega_{z.opt}$. Для того, щоб задовольнити вимоги до якості системи, необхідно, щоб ω_z була менше частоти зрізу $\omega_{z.opt}$, яка визначається за максимальним прискоренням координати і величиною керуючого ступінчатого сигналу. Крім того дана частота ω_z повинна бути більше $\omega_{z.min}$, яка вибирається за заданим значенням максимального перегулювання δ_m та тривалістю регулювання t_p . По заданому значенню δ_m за допомогою кривої $\delta = f(P_{z.max})$ номограми [17] визначаємо відповідне значення $P_{z.max}$. Потім по значенню $P_{z.max}$ за допомогою кривої $t_p = f(P_{z.max})$ визначаємо значення $2\pi/t_p$. Цю величину прирівнюємо до заданого значення $t_p = 540$ с і з отриманого рівняння визначаємо частоту зрізу $\omega_{z.min} = 0,012$ с⁻¹, а для побудови приймемо дещо збільшене значення частоти зрізу – $\omega_z = 0,02$ с⁻¹ (дещо збільшену), наносимо на графік. Потім будуємо середньочастотну асимптоту, провівши її через точку ω_z на осі абсцис з нахилом –20 дБ/дек.

По відомому значенню $P_{z.max} = 1,2$ дійсної частотної характеристики знаходимо мінімальне значення $P_{z.min}$, використовуючи наближене співвідношення для типової дійсної частотної характеристики $P_{z.min} = 1 - P_{z.max} = -0,2$.

Для забезпечення необхідного запасу стійкості системи по амплітуді і фазі треба продовжити середньочастотну асимптоту ліворуч і праворуч на певну величину. Запаси стійкості знаходять по номограмам $L(\omega) = f(\phi)$ при P_z дорівнює константі – це колові діаграми, P_z – значення дійсної частотної характеристики замкнутої системи. Отже по номограмі знаходимо лінії, які відповідають $P_{z.max} = 1,2$ і $P_{z.min} = -0,2$. Ці криві симетричні відносно осі абсцис. Запас стійкості по амплітуді знайдемо, провівши до цих кривих горизонтальні дотичні і прочитавши відповіді на осі ординат, $L_1 = 15$ дБ, $L_2 = -15$ дБ, тобто середньочастотну асимптоту треба продовжити ліворуч і праворуч до ординат L_1 та L_2 і лише після цього спрягати з сусідніми ділянками [18].

Запас стійкості по фазі γ знайдемо, провівши вертикальні дотичні до кривих $P_{\max} = 1,2$ і $P_{\min} = -0,2$ і відрахувавши значення кута в градусах від дотичної до лінії -180° . В даному випадку $\gamma = 45^\circ$ [18].

4.4.7 Синтез коректуючого пристрою САР за логарифмічними частотними характеристиками

ЛАЧХ коректуючого пристрою визначаємо як різницю бажаної та незмінної ЛАЧХ $L_k = L_6(\omega) - L_H(\omega)$ (рис. 4.20). За виглядом ЛАЧХ коректуючого пристрою обираємо схему коректуючого пристрою (рис. 4.21) [17]:

Передаточна функція такого чотирьохполюсника у загальному вигляді:

$$W_{kn}(s) = \frac{(T_5s + 1)(T_6s + 1)}{(T_4s + 1)(T_7s + 1)} = \frac{(T_5s + 1)(T_6s + 1)}{a_0s^2 + a_1s + 1}, \quad (4.35)$$

де $a_0 = R_1R_2C_1C_2$;

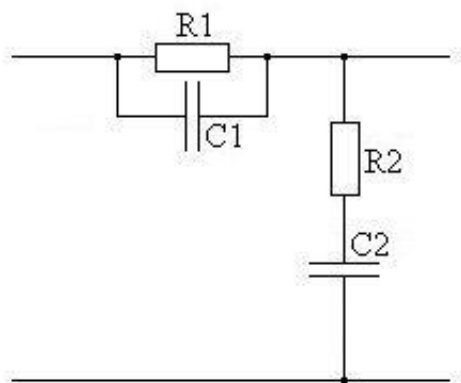


Рисунок 4.21 – Схема коректуючого пристрою

$$a_1 = R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2;$$

$$T_5 = R_1C_1;$$

$$T_6 = R_2C_2.$$

Підставивши у рівняння загального виду сталі часу

$$\omega_4 = 0,0006 \text{ с}^{-1} \Rightarrow T_4 = 1/\omega_4 = 1667 \text{ с};$$

$$\omega_5 = 0,004215 \text{ с}^{-1} \Rightarrow T_5 = 1/\omega_5 = 237,2624 \text{ с};$$

$$\omega_6 = 0,014 \text{ с}^{-1} \Rightarrow T_6 = 1/\omega_6 = 72,62 \text{ с};$$

$$\omega_7 = 0,1 \text{ с}^{-1} \Rightarrow T_7 = 1/\omega_7 = 10 \text{ с}.$$

Отже, передаточна функція коректуючого пристрою:

$$W_{kn}(s) = \frac{(237,2624s + 1)(72,62s + 1)}{(1667s + 1)(10s + 1)} \quad (4.36)$$

Для отримання номіналів елементів коректуючого пристрою задавшись $C_1 = C_2 = 1000 \times 10^{-6} = 1000 \text{ мкФ}$, отримаємо такі значення опорів:

$$R_1 = 237262,4 \text{ Ом}; R_2 = 72620 \text{ Ом}.$$

Виберемо номінали опорів резисторів з шкали номінальних опорів для резисторів постійного опору відповідно ДЕСТ 2825-60, отримаємо: $R_1 - 270 \text{ кОм}$, $R_2 - 75 \text{ кОм}$.

4.4.8 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої САР та визначення прямих показників якості

Запишемо передаточну функцію замкнутої скорегованої системи

$$W_{зк}(s) = \frac{k(T_5s + 1)(T_6s + 1)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_3s + 1) \cdot (T_4s + 1)(T_7s + 1) + k \cdot (T_5s + 1)(T_6s + 1)} \cdot \quad (4.37)$$

Засобами математичного редактора Matcad виділимо дійсну частину передаточної функції замкнутої скорегованої системи та побудуємо криву перехідного процесу (рис. 4.22, наведено на кресленні 7). По графіку можна зробити висновок, що перехідний процес – аперіодичний з перерегулюванням, також можна визначити наступні прямі показники якості САР:

- час регулювання $t_p = 434$ с;
- перерегулювання $\delta \approx 14,9$ %;
- час досягнення першого максимуму $t_{\max} = 272$ с;
- час наростання перехідного процесу $t_n = 162$ с.

Таким чином, у ході проектування по експериментальним даним була визначена передаточна функція об'єкта. Передаточна функція визначалася трьома різними способами. Причому одна передаточна функція була отримана для аперіодичної ланки першого порядку, два інших методи дозволяють визначити параметри аперіодичної ланки другого порядку. Саме така передаточна функція найбільше точно описує реальний об'єкт, в якому відбуваються теплообмінні процеси – вулик. По отриманій передаточній функції був розрахований коректуючий пристрій, який зменшує час регулювання з 722 с до 434 с, перерегулювання – з 58,9 % до 14,9 %. Система є стійкою, перехідний процес з коливального затухаючого став аперіодичним з перерегулюванням.

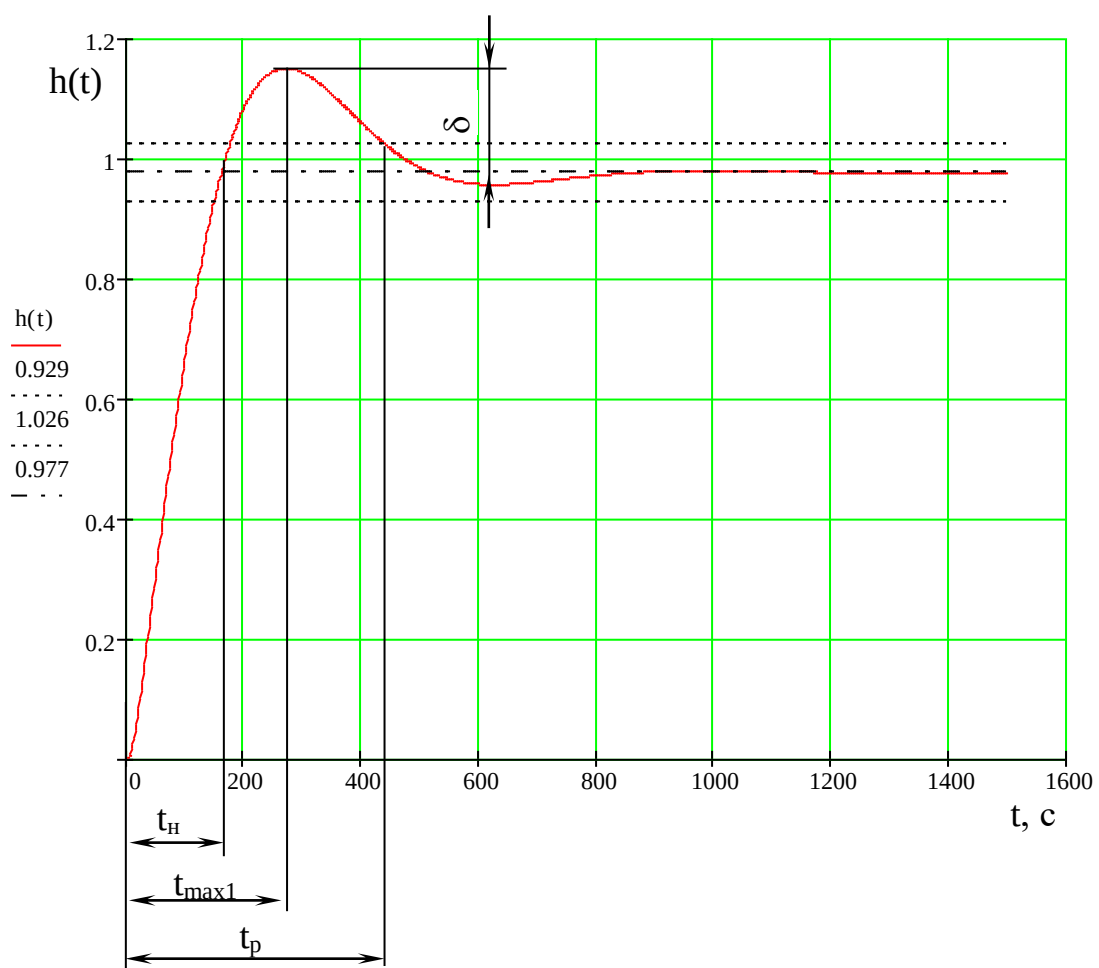


Рисунок 4.22 – Графік перехідного процесу системи, розробленої шляхом синтезу

5 ОПИС ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВИРОБУ

5.1 Експлуатація холодильного устаткування

Мета експлуатації холодильної установки – це встановлення і підтримування заданих температурних режимів в охолоджувані приміщеннях. Основне завдання - при мінімальних витратах на виробництво штучного холоду забезпечення безпечної, безаварійної, надійної роботи усього холодильного устаткування.

Правильна організація технічної експлуатації холодильних установок повинна відповідати вимогам безаварійності в роботі, надійності, довговічності і безпеки.

Витрати на холодовиробництво, пов'язані з економією робочої сили, електроенергії, води, експлуатаційних матеріалів, мають бути якомога меншими.

Важливою умовою нормальної експлуатації холодильних установок є наявність підготовленого персоналу, який, обслуговуючи установку, повинен керуватися технічною документацією на неї, виробничими інструкціями по обслуговуванню як окремих її агрегатів і елементів, так і усієї установки в цілому.

Для економічної безпечної експлуатації холодильних установок необхідно дотримувати оптимальних режимів їх роботи, оснащувати установку приладами автоматичного регулювання і захисту, контрольно-вимірювальними приладами, тримати в чистоті поверхні теплопередачі випарників і конденсаторів, правильно заповнювати систему холодильним агентом, своєчасно проводити планово-запобіжний ремонт устаткування, вести добовий журнал холодильної установки, а також складати технічну звітність.

На підприємствах громадського харчування і торгівлі холодильне устаткування обслуговують механіки комбінатів холодильного устаткування. При цьому технічне обслуговування включає огляди, здійснювані раз на місяць з

виконанням необхідного дрібного ремонту і профілактичних робіт, усунення несправностей, що можуть виникнути, також щоденну перевірку працездатності холодильної установки. Слід відмітити, що об'єм технічного обслуговування залежить від схеми установки, типу машин і ступеня їх автоматизації.

5.2 Експлуатація та організація обслуговування пристроїв холодильної автоматики

До складу системи автоматизації входять дві групи елементів: ті, що працюють безперервно протягом значного проміжку часу і ті, що спрацьовують у міру потреби [9].

Першу групу складають автоматичні регулятори технологічних параметрів, пристрої програмного управління та ін. Вони не вимагають частих перевірок, їх обслуговування зводиться до регулярного поточного ремонту, а також до ліквідації виникаючих неполадок. За роботою цих пристроїв автоматики легко простежити, не вдаючись до спеціальних перевірок; випадковий вихід їх з ладу не викликає тяжких наслідків. Залежно від стану і якості встановлених на холодильнику автоматичних регуляторів, персонал складає план проведення поточних ремонтів таких пристроїв. Регулярно, не рідше за 1 раз в 6 місяців, слід перевіряти правильність роботи системи централізованого контролю і регулювання температур в камерах. Один раз в місяць потрібно очищати поплавкові камери регуляторів рівня від накопичених масла і бруду. Тобто, періодичність профілактичних робіт встановлюють залежно від місцевих умов.

До другої групи входять пристрої аварійної сигналізації і захисту. Прилади захисту при нормальному режимі установки не спрацьовують і за їх справністю важко простежити. Вихід з ладу цих приладів недопустимий, оскільки може привести до тяжких наслідків. Тому для приладів другої групи має бути розроблена система перевірок і контролю, що виключає відмови і аварії.

Ідеальною в цьому сенсі була б система з безперервним самоконтролем. Частково такий контроль здійснюють в деяких схемах. Наприклад, включення

реле зупинки компресора через нормально замкнуті контакти датчиків захисту значною мірою усуває небезпеку аварій. Аварійний сигнал подається такою схемою при розривах ланцюга в результаті погіршення стану окремих контактів, випадкового обриву дротів, обриву обмотки реле та ін. Проте в цій схемі контроль не повний, оскільки не контролюються стан механічних вузлів датчиків, чистота підвідних труб і т.д. У більшості приладів самоконтроль відсутній. Тому в профілактичні роботи для захисних приладів повинні входити обов'язкові періодичні перевірки, причому частота їх повторення залежить від призначення приладу і його надійності.

У компресорних цехах розподільних і виробничих холодильників прилади захисту перевіряють заступник начальника цеху по автоматиці або механік по автоматиці. Для контролю за ходом перевірок ведуть спеціальний журнал профілактичних і ремонтних робіт, в якому роблять записи про результати виконаних робіт. Не рідше за один раз на місяць журнал представляють на затвердження головному інженерові холодильника. Для зручності користування на початку журналу поміщають затверджений графік проведення профілактичних робіт. Форма журналу приведена в Додатку А, табл. А1.

У Додатку А, табл. А2 приведена рекомендована періодичність перевірки приладів захисту. Основні способи перевірки приладів, вказаних в даній таблиці розглядаються нижче.

Перевірку реле рівня, що захищають компресори від гідравлічних ударів, здійснюють за допомогою спеціальних перевірочних ліній і вентилів. В процесі перевірки переконуються також в тому, що трубопроводи, за допомогою яких прилади приєднують до посудин, не засмічені.

Захисні реле, контролюючи тиск в системі мастила, перевіряють за допомогою байпасних вентилів, якими забезпечені масляні насоси компресорів. При перевірці поступово відкривають байпас, стежачи за свідченнями масляного манометра. У момент зупинки компресора фіксують тиск масла і тиск в картері компресора. Для більшості типів компресорів різниця тисків має бути не менше $0,5 \text{ кгс/см}^2$.

Захисні реле, контролюючи тиски всмоктування і нагнітання, випробовують під час роботи компресорів шляхом плавного і поступового закриття всмоктуючого і нагнітального вентилів. При цьому спостерігають за показами відповідних манометрів, помічаючи, при яких тисках сталося спрацьовування захистів. Особливої обережності слід дотримуватися при випробуваннях за допомогою нагнітального вентиля. Не можна допускати, щоб тиск піднімався вище за червону рису по манометру.

Сигналізатори, що сприймають температури нагнітання і мастильного масла в картері, встановлюють в гільзах. Тому для перевірки їх чутливі елементи витягають з гільз і поміщають в спеціальну посудину або термостат. Температуру масла в ній повільно доводять до порогу спрацьовування реле. Після перевірки прилади повертають на місце, при цьому перевіряють, щоб гільзи були заповнені маслом.

Реле, контролюючи потоку води, перевіряють за допомогою водяного вентиля, розташованого на підвідній лінії.

У періоди планово-запобіжних ремонтів основного устаткування роблять також необхідний поточний ремонт приладів. Прилади, які не можуть бути відремонтовані на місці, направляють в спеціальні майстерні.

За електричними контактами в схемах управління холодильною установкою необхідно організувати плановий огляд. При цьому визначають найбільш зношені контакти і періодично їх чистять. Якщо контакт не має наплавів або слідів глибокої ерозії, а лише покривається нагаром, його чистять жорсткою щіткою, змоченою в спирті або авіаційному бензині. Не допускається застосовувати для чищення ацетон, дихлоретан і інші розчинники. Не рекомендуються також щітки з синтетичним волосом. Якщо контакт має наплав або раковини, його слід заздалегідь зачищати оксамитовим надфілем.

В процесі експлуатації необхідно стежити за правильною установкою плавких запобіжників. Завищення струму плавлення може привести до ушкодження контактів і монтажу при виникненні коротких замикань.

Незважаючи на правильну організацію профілактичної роботи, можуть статися окремі відмови приладів і засобів автоматики. Для подальшого їх аналізу необхідно ретельно враховувати відмови з вказівкою причин, ознак і умов, при яких вони сталися. Для цього ведуть спеціальний журнал, форма якого приведена в Додатку А, табл. А3.

Перераховані заходи по організації обслуговування пристроїв автоматики не охоплюють усіх можливих випадків. Необхідно їх уточнювати для кожної конкретної установки.

В даному випадку для розміщення мікропроцесорного блоку і іншого устаткування доцільно виконати в компоновочній шафі, габарити якої наведено на кресленні наведено на кресленні 8.

5.3 Уставки приладів захисту

Налаштування приладів захисту здійснюють перед здачею установки в експлуатацію і потім уставки періодично перевіряють і уточнюють.

Усі контрольовані величини, які сприймаються приладами захисту, мають робочі і гранично допустимі значення. Робочі значення відповідають нормальним умовам експлуатації і можуть змінюватися в деяких межах. Гранично допустимі значення приймають на підставі вимог техніки безпеки.

Уставки приладів захисту можуть вибиратися між робочими і гранично допустимими значеннями контрольованих величин. Для швидкого виявлення виникаючих неполадок бажано уставки захисних приладів наближати до робочих значень контрольованих величин. У зв'язку з тим, що робочі значення не залишаються постійними впродовж року і мають сезонні, а в деяких випадках і частіші коливання, рекомендується не менше два раз на рік змінювати уставки приладів захисту. Рекомендовані уставки для приладів захисту наведені в Додатку А, табл. А4.

Для захисних датчиків рівня, що оберігають компресори від гідравлічних ударів, висоту граничного рівня визначають, виходячи з призначення посудини або апарату і його конструкції.

У усіх випадках в період пробної експлуатації необхідно переконатися, що прийняті граничні рівні забезпечують безпеку роботи; при необхідності змінюють установку датчиків. Перевірку виробляють шляхом дво-, триразового штучного заповнення посудини до граничного рівня. При цьому необхідно дотримуватися крайньої обережності і бути готовим у будь-який момент зупинити машину.

5.4 Налагоджувальні прилади

Обслуговуючий персонал, що здійснює експлуатацію приладів і засобів автоматизації, повинен мати необхідний комплект приладів і інструментів. Комплект набирається так, щоб з його допомогою можна було провести перевірку, наладку і поточний ремонт автоматичних пристроїв, встановлених на холодильнику.

Набір вимірювальних приладів, необхідних для експлуатації, приведений в Додатку А, табл. А5. Більшість з них потрібні на усіх установках, проте деякі застосовують тільки в окремих випадках, відмічених в примітках.

ВИСНОВОК

В процесі виконання досліджень були розглянуті фізичний принцип дії холодильного обладнання, типи холодильників і їх особливості, а також визначені узагальнені завдання автоматизації холодильних установок. У другому розділі конкретизоване основне завдання автоматизації холодильної установки та окреслені способи його вирішення.

В третьому розділі здійснено вибір схеми підтримки температури в об'єкті охолодження, розроблені принципові схеми, вибрані прилади і засоби автоматизації, обґрунтовано підхід зміни холодопродуктивності компресора, здійснено його вибір.

Четвертий розділ містить розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу, зокрема описана функціональна та структурна схеми системи стабілізації температурного режиму промислового холодильника, побудована математичної моделі об'єкта керування, для чого розглянуто методи математичного опису об'єктів керування, розглянуті експериментально отримані дані, визначено коефіцієнт підсилення, побудована математична модель об'єкта геометричним методом і методом площ, а також вибрана найкраща апроксимуюча модель. В даному розділі проведено дослідження стійкості системи та здійснено синтез коректуючого пристрою, послідовне введення якого в головний контур регулювання дозволить покращити показники якості системи.

У п'ятому розділі здійснено опис організації робіт, що пов'язані із застосуванням системи стабілізації температурного режиму промислового холодильника виробу

Також розглянуті заходи з охорони праці, зокрема окреслена законодавча та нормативна база України про охорону праці проаналізовані умови праці, небезпечні і шкідливі виробничі чинники.

Слід відмітити наявність ще однієї проблеми – це нестача фахівців з обслуговування як холодильної, так і комп'ютерної техніки. Частина підприємств в Україні для обслуговування імпортованих холодильних установок

запрошує фахівців з-за кордону, адже велика частина холодильних установок з цифровим управлінням поставляється саме з закордону. На жаль в Україні виробляють мало холодильників, або виробляють за ліцензією зарубіжних фірм, тому такі агрегати виходять на ринок під зарубіжним брендом. Це свідчить, що необхідно розвивати розробку і виробництво холодильних установок і холодильників з цифровим управлінням в Україні, створювати і впроваджувати нові технології їх виготовлення, для забезпечення конкурентоспроможності українських холодильних установок на світовому ринку.

Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів

САР – система автоматичного регулювання;
САК – система автоматичного керування;
КВП – контрольно-вимірювальні прилади;
ЛСА – локальна система автоматики;
КОК – контрольно-обчислювальний блок;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
ВБ – вимірювальний блок;
МК – мікроконтролер;
ПП – підсилювач потужності;
ОР – об’єкт регулювання;
ДТ – датчик температури;
ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;
АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика;
ЛФЧХ – логарифмічна фазова-частотна характеристика;
ТУ – технічні умови;
ІМС – інтегральна мікросхема;
РЕА – радіоелектронна апаратура;
ДНАОП – державні нормативні акти про охорону праці;
САННіП – санітарні норми і права;
БНіП – будівельні норми і правила;
ПУЕ – правила улаштування електроустановок;
НДДКР – науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи.

Список літератури

14. Бойко Н.П., Стеклов В.К. Системы автоматического управления на базе микро-ЭВМ. – К.: Техніка, 1989. – 182 с.

1. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підруч. 3-є вид., перероб і доп. Львів : УАД, 2006. 336 с.

2. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352 с.

3. Босов Є. П. Жесан Р. В., Каліч В. М., Голик О. П., Зубенко В. О. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва : навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 208 с.

4. Конституція України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 26.10.2022).

5. Про охорону праці : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12#Text> (дата звернення: 24.10.2022).

6. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/5403-17#Text> (дата звернення: 26.10.2022).

7. Кодекс законів про працю України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/322-08#Text> (дата звернення: 20.11.2022).

ОХОРОНА ПРАЦІ

Законодавчі та нормативні акти України з питань охорони праці

Охорона праці (ОП) – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [1, 2].

Правовою основою вітчизняного законодавства щодо ОП є Конституція України, Закони України: «Про охорону праці», «Основи законодавства України про охорону здоров'я», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування», а також Кодекс цивільного захисту України (КЦЗ) і Кодекс законів про працю України (КЗпП) [3].

Спеціальними юридичними актами в галузі ОП є: Нормативно-правові акти з ОП (НПАОП); Міждержавні стандарти Системи стандартів безпеки праці (ГОСТ ССБТ); Державні стандарти України (ДСТУ) з питань безпеки праці; постанови та положення (норми), затверджені Міністерством охорони здоров'я України; Нормативні акти з ОП, що діють в межах підприємства; інші нормативно-правові акти, якими встановлюються загальнообов'язкові правила (норми) [1, 3].

У ст. 43 Конституції України записано: «Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає, або на яку вільно погоджується». «Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом», «Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється» [1, 4].

Кожен, хто працює, має право на відпочинок (ст. 45 Конституції України) [4]. Це право забезпечується наданням днів щотижневого відпочинку, а також оплачуваної щорічної відпустки, встановленням скороченого робочого дня щодо

окремих професій і виробництв, скороченої тривалості роботи у нічний час.

У тексті ст. 46 Конституції України вказано на те, що громадяни мають право на соціальний захист, що включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з незалежних від них обставин, а також у старості та в інших випадках, передбачених законом [1, 4].

Основоположним законодавчим документом в галузі ОП є Закон України «Про охорону праці» [5], дія якого поширюється на всі підприємства, установи і організації, незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, що працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах. Цей закон Верховна Рада України прийняла 14.10.1992 р. Він визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян про охорону їх життя та здоров'я в процесі трудової діяльності. Також регулює, за участю відповідних державних органів, відносини між власником підприємства, установи та організації, або уповноваженим ним органом, та працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні [1, 5].

Особливістю Закону України «Про охорону праці», є високий рівень прав та гарантій робітників: вперше в історії держави робітникам було надано право відмовлення від роботи у випадку існування на виробництві загрози для їхнього здоров'я та життя; розширено права робітників у соціальних гарантіях відшкодування збитків у випадку пошкодження їх здоров'я на виробництві; передбачається нова система фінансування ОП, формування системи страхування від нещасних випадків та профзахворювань, посилюється централізація планування; договірне регулювання з питань ОП поставлено на високий рівень, передбачається участь громадських організацій та об'єднань у цьому процесі; за державою закріплено функції управління ОП [1, 3, 5].

В системі законодавства щодо охорони здоров'я та гігієни праці ключове місце займають Закони України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» і «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя

населення» [1, 3]. Вони передбачають розробку й реалізацію адміністрацією підприємств санітарних та протиепідемічних заходів; здійснення, в необхідних випадках, лабораторного контролю за дотриманням вимог санітарних норм стосовно рівнів шкідливих факторів виробничого середовища; формування органів та установ державної санепідеміологічної служби при надзвичайній події чи ситуації, що становлять небезпеку для здоров'я населення; відшкодування, в установленому порядку, працівникам та іншим громадянам збитків, яких завдано їх здоров'ю в результаті порушення санітарного законодавства.

Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» був прийнятий 08.02.1995 р. для регламентації заходів з ліквідації наслідків чорнобильської катастрофи й запобігання подібним ситуаціям в майбутньому. Він встановлює пріоритет безпеки людини та навколишнього природного середовища, права і обов'язки громадян у сфері використання ядерної енергії, регулює діяльність, пов'язану з використанням ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання, встановлює також правові основи міжнародних зобов'язань України щодо використання ядерної енергії [1, 3].

Враховуючи міжнародний досвід, був прийнятий Верховною Радою України 23.09.1999 р. та набув чинності з 01.04.2001 р. Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» [1, 2, 3]. Цей Закон гарантує право громадян на соціальний захист, яке проголошується Конституцією України, зокрема в разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності. Окрім того, він створює правове поле, фінансові й організаційні механізми для успішного розв'язання триєдиного завдання: запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням, відновлення здоров'я та працездатності потерпілих на виробництві, компенсації потерпілим матеріальних збитків внаслідок ушкодження здоров'я.

Основним законодавчим актом, що регламентує вимоги щодо пожежної безпеки є, на сьогодні, КЦЗ України (від 02.10.2012 р.) [6]. Він також регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб, пов'язані із захистом

населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від інших надзвичайних ситуацій.

КЗпП України, хоча і був прийнятий ще у часи СРСР (10.12.1971 р.), за час свого існування зазнав багато правок та вдосконалень, викликаних запитами сучасності, і на сьогодні діє у редакції від 19.11.2022 р. [7]. Він регулює трудові відносини всіх працівників, сприяючи зростанню продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і піднесенню на цій основі матеріального і культурного рівня життя трудящих, зміцненню трудової дисципліни і поступовому перетворенню праці на благо суспільства в першу життєву потребу кожної працездатної людини.

У КЗпП, зокрема, зазначені наступні положення: забороняється залучати до надурочних робіт вагітних жінок і жінок, які мають дітей віком до трьох років (ст. 176), а також осіб молодших 18 років (ст. 192); забороняється застосовувати праці жінок на важких роботах і роботах із шкідливими або небезпечними умовами праці, а також на підземних роботах (ст. 174). В ст. 153 КЗпП зазначено про необхідність створення безпечних та нешкідливих умов праці [7].

НПАОП, які до початку 2003 р. носили назву Державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП), – це правила, норми, положення, стандарти, інструкції та інші документи, обов'язкові до виконання. Законодавством передбачено, що залежно від сфери дії НПАОП можуть бути міжгалузевими і галузевими [1].

До НПАОП, зокрема, відносяться: Будівельні норми і правила (БНіП); Державні санітарні норми (ДСН); Державні санітарні правила (ДСП); Санітарні норми і правила (СНіП); Правила улаштування електроустановок (ПУЕ); Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС); Правила пожежної безпеки в Україні; Порядок розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві; Порядок розслідування та обліку нещасних випадків невиробничого характеру та ін. [1, 2, 3].

ГОСТ ССБТ колишнього СРСР застосовуються на території України до їх

заміни іншими нормативними документами, якщо вони не суперечать чинному законодавству України [1, 2]. Поступово їм на заміну вводяться національні державні стандарти – ДСТУ. ДСТУ почали розроблятися з 1992 року [2, 3].

Основні документи ГОСТ ССБТ, що регулюють гігієну і виробничу санітарію праці:

- ГОСТ 12.1.005-88 ССБП – Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря в робочій зоні;
- ГОСТ 12.1.003-86 ССБП – Шум, загальні вимоги безпеки;
- ГОСТ 12.1.001-89 ССБП – Ультразвук, загальні вимоги безпеки;
- ГОСТ 12.1.012-90 ССБП – Вібраційна безпека;
- ГОСТ 12.1.002-84 ССБП – Електричні поля промислової частоти.

Основні документи ГОСТ ССБТ, що регламентують норми з техніки безпеки:

- ГОСТ 12.3.002-75 ССБП – Процеси виробничі, загальні вимоги безпеки;
- ГОСТ 12.2.003-91 ССБП – Обладнання, загальні вимоги безпеки;
- ГОСТ 12.1.030-81 ССБП – Заземлення і занулення.

Основні документи ГОСТ ССБТ, що регламентують норми безпеки:

- ГОСТ 12.1.004-91 ССБП – Пожежна безпека, загальні вимоги;
- ГОСТ 12.1.010-76 ССБП – Вибухобезпечність, загальні вимоги;
- ГОСТ 12.1.011-78 ССБП – Суміші вибухонебезпечні, класифікація та методи випробувань;
- ГОСТ 12.1.044-89 ССБП – Пожежевибухонебезпечність речовин і матеріалів, номенклатура, показники та методи їх визначення.

Серед норм, затверджених МОЗ України, можна виділити: Положення про медичний огляд працівників певних категорій, Перелік важких робіт і робіт з шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх, Граничні норми підймання і переміщення важких речей жінками, Граничні норми підймання і переміщення важких речей неповнолітніми та ін. [1, 2, 3].

Власники підприємств, установ, організацій або уповноважені ними органи

розробляють, на основі НПАОП, і затверджують власні положення, інструкції або інші нормативні акти про ОП, що діють у межах підприємства, установи, організації, наприклад [1]: Положення про систему управління ОП на підприємстві, Положення про службу ОП підприємства; Положення про комісію з питань ОП підприємства; Положення про роботу уповноваженого трудового колективу з питань ОП; Положення про навчання і перевірку знань з ОП, Положення про порядок атестації робочих місць щодо їхньої відповідності нормативним актам з питань ОП; Положення про організацію попереднього і періодичного медичних оглядів працівників; Загальнооб'єктові та цехові інструкції з пожежної безпеки; Плани евакуації у випадку надзвичайних ситуацій; Правила ведення зварювальних та інших вогневих робіт; Положення про порядок забезпечення працівників підприємства спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту; Перелік робіт з підвищеною небезпекою; Наказ щодо видачі молока та інших продуктів харчування працівникам, зайнятим на роботах із шкідливостями та небезпеками тощо.

Держава виступає гарантом створення безпечних та нешкідливих умов праці для працівників підприємств, установ, організацій усіх форм власності.

Шкідливі та небезпечні чинники виробництва при експлуатації промислових холодильників

Небезпека – це наслідок такої дії певних чинників (факторів) на людину, яка, при їх невідповідності фізіологічним характеристикам людини, зумовлює феномен самої небезпеки [1].

Шкідливий чинник виробництва – це виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я, зниження працездатності працівника [1, 3].

Небезпечний чинник виробництва – це фактор, дія якого, за певних умов, може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника [1, 3].

До визначаючих ознак небезпечних і шкідливих чинників відносяться: можливість безпосередньої негативної дії на організм людини; ускладнення нормального функціонування органів людини; можливість порушення нормального стану елементів виробничого процесу, в результаті якого можуть виникнути аварії, вибухи, пожежі, травми.

Матеріальними носіями шкідливих і небезпечних факторів є об'єкти, що формують трудовий процес і входять в нього, а також загальні життєві фактори оточуючого середовища, предмети праці, засоби виробництва (машини, інструменти, споруди, приміщення тощо), продукти праці, технологія, операції, дії.

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74, небезпечні та шкідливі виробничі чинники за природою дії поділяються на такі групи:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізичні.

Основна мета заходів щодо ОП – ліквідація травматизму і професійних захворювань. Проведення заходів щодо поліпшення умов праці дає відчутний економічний ефект – підвищується продуктивність праці, знижуються витрати на відновлення втраченої працездатності.

Заходи безпеки праці повинні передбачатися при проектуванні, будівництві, виготовленні і введенні в дію будь-яких об'єктів і устаткування.

При експлуатації систем автоматизації промислових холодильників, особливо аміачних, необхідно чітко виконувати правила техніки безпеки.

Для обслуговуючого персоналу небезпеку представляють наступні фізичні чинники:

- рухомі частини машин і механізмів, які можуть викликати механічні травми та пошкодження;
- низькі та високі температури частин устаткування;
- струмопровідні деталі приладів і апаратів, дотик до яких небезпечний для здоров'я або життя;

- аварії компресорів й інших апаратів через відмови елементів систем захисту;
- випромінювання монітора персонального комп'ютера (ПК), яке, в результаті тривалої дії, може призвести до стійкого порушення стану здоров'я;
- шум, який видається при роботі друкуючих і копіювальних пристроїв, що знаходяться в приміщенні;
- статична електрика;
- відсутність або недостатність природного світла, недостатня освітленість робочої зони.

Серед хімічних чинників слід особливо виділити наявність небезпечних хімічних речовин і сполук. В першу чергу, аміаку в рідкому або пароподібному стані, який може викликати суттєві подразнення шкірних покривів та органів чуття, можливість отруєння організму, а також ураження при вибуху легко-аміачної суміші.

До біологічних шкідливостей та небезпек при експлуатації промислових холодильних установок відноситься наявність бактерій та вірусів, а також комах і дрібних тварин (гризунів).

Серед психофізичних чинників мають негативну дію розумове перенапруження, перенапруження зорових і слухових аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження, що призводять до зростаючого стомлення і зниження працездатності.

Заходи з ліквідації або зменшення впливу шкідливих та небезпечних чинників виробництва при експлуатації промислових холодильників

Для запобігання травматизму від рухомих частин обладнання можуть бути застосовані захисні загородження, кожухи, екрани та попереджувальні знаки. Небезпека від рухомих частин особливо зростає при комплексній автоматизації холодильних цехів. Окрім звичайних заходів безпеки, слід інструктувати персонал про неприпустимість проведення ремонтів компресорів при

автоматичному режимі. Такі ж вимоги пред'являють і відносно насосів, вентиляторів повітроохолоджувачів та ін.

Загороджувальні пристосування зможуть вберегти користувачів і від одержання опіків від нагрітих деталей та обморожень – від суттєво охолоджених. Для уникнення впливу низьких температур у холодильній камері, вхід до неї дозволений виключно у теплому спецодязі.

Всі струмопровідні частини апаратів мають бути закриті корпусами, кришками, капотами тощо, щоб унеможливити контакт із ними працівників. Крім того обов'язково застосовуються засоби захисного заземлення, захисного занулення та захисного відключення, пристрої дистанційного керування та інформативні таблички і знаки безпеки.

В процесі експлуатації, профілактичних оглядів і ремонтів приладів і засобів автоматики необхідно стежити за щільністю кришок і ввідних штуцерів для електропроводів. Не допускається робота приладів з електричними контактами у відкритому стані. Якщо головний щит автоматики змонтований в окремому приміщенні, що примикає до машинного залу, то це приміщення має бути обладнане припливною вентиляцією і мати двері, через які можна вийти безпосередньо назовні.

При необхідності виконання робіт устаткування відключають або переводять на місцеве ручне управління. Біля пускових пристроїв вивішують таблицю з написом: «Не вмикати! Працюють люди!». Допуск в автоматизований машинний зал сторонніх осіб і осіб, що не пройшли спеціальний інструктаж, категорично заборонений. Для запобігання ураженню людей електричним струмом необхідно закрити доступ до струмопровідних вузлів усім особам, за винятком спеціально виділених електромонтерів.

Усі ремонтні і профілактичні роботи в електричних приладах і апаратах повинні проводитися при повній відсутності напруги. При цьому підвідні клеми мають бути заземлені за допомогою переносного заземлення.

Якщо напругу відключити повністю не вдається, то персонал зобов'язаний працювати в діелектричних калошах або стояти на ізолюючій основі. Необхідно

користуватися інструментом з ізолюваним руків'ям або діелектричними рукавичками. При цьому сусідні струмопровідні частини мають бути захищені. При роботах під напругою, не допускається застосовувати напилки, ножівки, металеві метри і т. д. Для оглядів й інших робіт персонал повинен користуватися переносними лампами напругою не вище 36 В. Переносний електроінструмент має бути надійно заземлений.

Аваріям компресорів і апаратів можна запобігти при правильній експлуатації захисних приладів і пристроїв. Неухильно повинні витримуватися графіки профілактичних оглядів і ремонтів.

Однією із характерних особливостей сучасного розвитку суспільства є зростання сфер діяльності людини, в яких використовуються інформаційні технології. Широке розповсюдження отримали ПК. Однак їх використання загостило проблеми збереження власного та суспільного здоров'я, вимагає удосконалення існуючих та розробки нових підходів до організації робочих місць, проведення профілактичних заходів для запобігання розвитку негативних наслідків впливу ПК на здоров'я користувачів. Особливістю негативного впливу ПК на працездатність і здоров'я людини є комплексна одночасна дія декількох шкідливих факторів.

До основних негативних факторів належать: випромінювання різних діапазонів електромагнітного спектру (рентгенівське та оптичне випромінювання, високочастотні та низькочастотні електромагнітні поля, електромагнітні поля з надто низькими частотами, електростатичні поля), шуми та ін.

Професійна діяльність працівника за монітором ПК є причиною функціональних змін нервово-м'язового апарата і кровопостачання ока, які призводять до розвитку астенопічних (пов'язаних із втомою очей зорових розладів) скарг. При цьому відмічено, що в більшості випадків частота астенопії зростає при збільшенні тривалості роботи за монітором. Тому

Важливою умовою безпеки людини, що перебуває перед екраном, є правильний вибір візуальних параметрів дисплея та світлотехнічних умов

робочого місця. Робота з дисплеями при неправильному виборі яскравості й освітленості екрана, контрастності знаків, їх кольорів, за наявності відблисків на екрані, тремтіння та мерехтіння зображення призводить до зорового стомлення, головного болю, значного психофізіологічного навантаження, погіршення зору.

Рівень шуму не повинен перевищувати 55 дБА на місцях, де працюють оператори. Для захисту від шуму у виробничому приміщенні та на робочих місцях застосовуються шумопоглинальні засоби (негорючі спеціальні перфоровані плити, мінеральна вата, підвісні стелі й ін.).

Для захисту від статичної електрики застосовують заземлення корпусів, спеціальні антистатичні браслети та інструмент.

Для забезпечення нормальних умов зорової роботи, у виробничих приміщеннях необхідно передбачити систему штучного освітлення.

Захист від небезпечної дії аміаку включає комплекс заходів, виконання яких обов'язкове для автоматизованих і неавтоматизованих установок. Необхідно ретельно стежити за щільністю фланцевих з'єднань і сальникових ущільнень. Виявлена течя повинна негайно усуватися. Для виявлення місць витoku аміаку дозволяється користуватися тільки спеціальними хімічними засобами. Застосовувати для цієї мети запалений сірчаний шнур забороняється.

Прилади і пристрої, дотичні до аміаку, можна відкривати тільки після повного видалення з них аміаку і масла. При цьому персонал повинен користуватися аміачним протигазом. Проводити зварювальні роботи на апаратах або трубопроводах, не звільнених повністю від аміаку, забороняється.

Необхідно регулярно перевіряти справність аварійної вентиляції, яка повинна забезпечувати не менш семикратного обміну повітря на годину. Розташування пускових пристроїв вентиляції усередині і поза приміщенням машинного залу повинно бути ясно позначено. Бажано застосовувати сигналізуючі газоаналізатори для попередження персоналу (особливо при нецілодобовому обслуговуванні) про підвищення вмісту аміаку в повітрі.

Система штучної вентиляції – один з найефективніших засобів захисту і від біологічних шкідливих і небезпечних факторів виробництва. Крім того

важливо дотримуватися гігієнічних нормативів для робочих місць – регулярно проводити вологі прибирання із застосуванням засобів дезінфекції та побутової хімії, здійснювати комплекси планових санітарно-гігієнічних заходів із фумігації, ерадикації та дератизації.

З метою послаблення негативної дії психофізіологічних шкідливих та небезпечних факторів необхідно заздалегідь планувати чергування годин роботи та відпочинку працівників. Важливим є рівномірний розподіл робочих змін (неприпустимий багаторазовий підряд вихід одних і тих самих працівників у нічну зміну). Обов'язковими є обідні та додаткові технологічні перерви. Не припустима грубість та нетактовні зауваження керівників щодо підлеглих.

Розрахунок системи штучного освітлення у приміщенні оператора холодильної установки

Рациональне освітлення робочих місць є одним з найважливіших чинників попередження травматизму і професійних захворювань. Правильно організоване освітлення створює сприятливі умови праці, підвищує працездатність і продуктивність праці.

Освітленість на робочому місці повинна бути такою, щоб працюючий міг без напруги зору виконувати свою роботу при допустимій, з народногосподарської точки зору, витраті засобів, матеріалів і електроенергії.

Як уже відзначало раніше, для забезпечення нормальних умов зорової роботи, необхідно передбачити систему штучного виробничого освітлення. Оскільки в даній кваліфікаційній роботі розглядається питання дослідження процесу регулювання температури в камері промислового холодильника за допомогою спеціально створеної системи автоматичного регулювання, проведемо розрахунок системи штучного освітлення для приміщення, де експлуатуватиметься система автоматичного регулювання.

У якості початкових даних для розрахунку беремо розміри виробничого приміщення: довжина 5 м, ширина 3 м, висота 3 м – це звичайні розміри апаратного відділення, де розміщуються електричні шафи з обладнанням

автоматизації.

Розрахунок освітленості здійснюємо за рекомендаціями, викладеними у [2, 3], методом коефіцієнта використання. Цей метод використовується для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь виробничих приміщень за відсутності затемнень.

Розраховуємо освітлення методом коефіцієнта використання за формулою

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (1)$$

де Φ – необхідний світловий потік ламп в кожному світильнику, лм;

E – нормативна мінімальна освітленість, лк;

k – коефіцієнт запасу;

S – освітлювана площа, м²;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості, величина якого знаходиться в межах від 1,1 до 1,5 (при оптимальних відношеннях відстані між світильниками до розрахункової висоти для ламп розжарювання і ДРЛ $z = 1,15$ і для люмінесцентних ламп $z = 1,1$);

N – кількість світильників в приміщенні;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Приймаємо: $E = 300$ лк; $k = 1,5$; $z = 1,1$.

Для освітлення приміщення застосовуємо газорозрядні лампи.

Освітлювана площа приміщення визначається за формулою

$$S = A \cdot B, \quad (2)$$

де S – освітлювана площа, м²;

A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м.

$$S = 5 \cdot 3 = 15 \text{ м}^2.$$

Розміщення світильників в приміщенні при системі загального освітлення залежить від розрахованої висоти їх підвісу h , яка зазвичай задається розмірами

приміщень. Найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу:

$$\lambda = \frac{L}{h} \quad (3)$$

приймається за таблицями [2, 3], залежно від типової кривої сили світла світильника. Для люмінесцентних ламп при косинусоїдальній типовій кривій обираємо $a = 1,4$.

Знаходимо розрахункову висоту підвісу за формулою:

$$h = H - h_{зв} - h_{pn} , \quad (4)$$

де H – висота приміщення, м;

$h_{зв}$ – висота звісу світильника (від перекриття), м;

h_{pn} – висота робочої поверхні над підлогою, м.

Приймаємо: $H = 3$ м, $h_{зв} = 0,1$ м, $h_{pn} = 0,8$ м.

$$h = 3 - 0,1 - 0,8 = 2,1 \text{ м.}$$

Відстань між світильниками визначаємо з наступного співвідношення:

$$L = \lambda \cdot h . \quad (5)$$

$$L = 1,4 \cdot 2,1 = 2,94 \text{ м.}$$

Визначаємо кількість світильників для встановлення в приміщенні:

$$N = \frac{S}{L^2} . \quad (6)$$

$$N = \frac{15}{2,94^2} = 1,67 \approx 2 .$$

Для визначення коефіцієнта використання η , знаходимо індекс приміщення i :

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} , \quad (7)$$

де A і B – відповідно довжина і ширина приміщення, м;

h – розрахункова висота підвісу, м.

$$i = \frac{5 \cdot 3}{2,1 \cdot (5 + 3)} = 0,89.$$

Отримане значення i округляємо до найближчого табличного значення і приймаємо $i = 1$.

За таблицями [2, 3] оцінюємо коефіцієнти віддзеркалення поверхонь приміщення: стелі – $\rho_{ст}$, стін – ρ_c , робочій поверхні – ρ_p . Приймаємо: $\rho_{ст} = 70 \%$, $\rho_c = 50 \%$, $\rho_p = 30 \%$.

За отриманими значеннями i та ρ за таблицями [2, 3] визначаємо величину коефіцієнта використання світлового потоку для вибраного світильника.

Вибираємо світильник типу ПВЛМ-Д, для якого $\eta = 73 \%$.

За формулою (1) визначаємо необхідний світловий потік ламп в кожному світильнику:

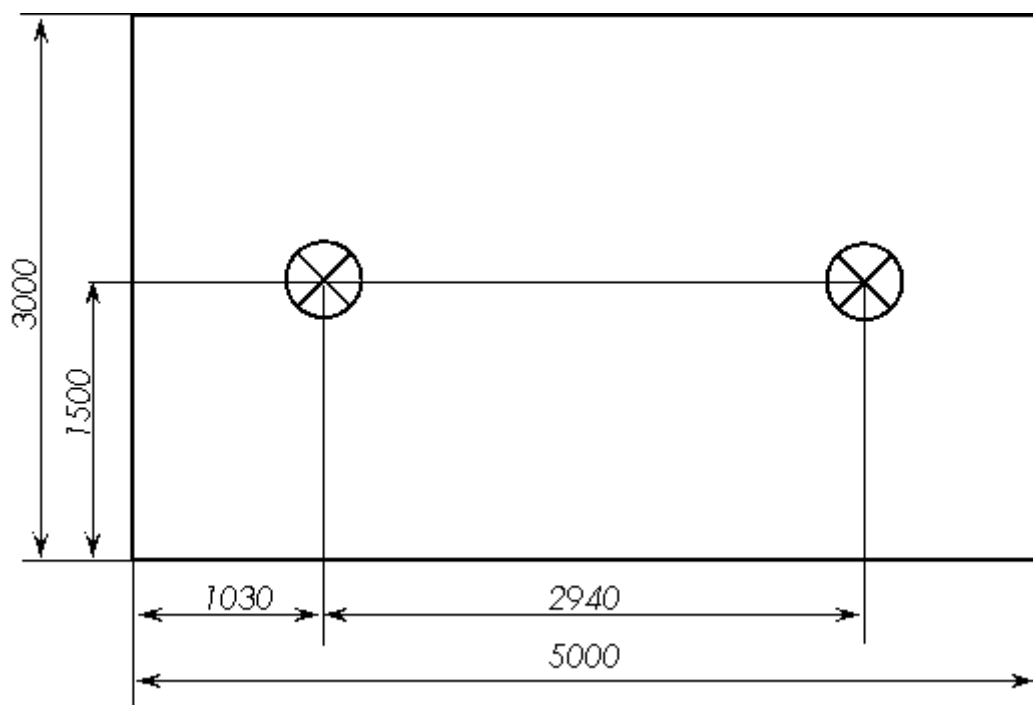
$$\Phi = \frac{300 \cdot 15 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,73} = 5085 \text{ лм.}$$

За таблицями [2, 3] обираємо необхідну лампу. Тип вибраної лампи – ЛХБЦ40-4. У світильнику будуть встановлені 2 таких лампи.

Короткі технічні дані лампи ЛХБЦ40-4:

- потужність – 40 Вт;
- напруга – 103 В;
- світловий потік після 100 год. горіння – 2500 лм.

Схема розміщення світильників у приміщенні оператора холодильної установки наведена на **рис. 1**.



*Рисунок 1 – Схема розміщення світильників у приміщенні оператора
холодильної установки*

Додаток А

Таблиця А1 – ЖУРНАЛ профілактичних робіт по пристроях автоматики

Дата	Тип приладу або пристрою, заводський номер, місце установки	Характер виконаних робіт (огляд, перевірка, поточний ремонт)	Ув'язнення про стан приладу (придатний, підлягає ремонту або заміні)	Посада, прізвище і розпис виконавця	Відмітки начальника цеху	Відмітки головного інженера

Таблиця А2 – рекомендована періодичність перевірки приладів захисту.

Найменування приладів захисту	Періодичність перевірок
Реле рівнів на віддільниках рідини, проміжних посудинах, випарниках Реле контролю мастила компресорів Реле тиску нагнітання і тиску всмоктування Реле температур нагнітання і масла в картері Прилади, контролюючі подачу води в сорочки конденсатора, що охолоджують	Щодня 1 раз в дві неділі 1 раз на місяць 1 раз на місяць 1 раз в два місяці

Примітка. Інші прилади, контролюючі справність аміачних, розсолів і водяних насосів, сигналізатори рівнів в різних посудинах і ресиверах, перевіряють не рідше за 1 раз в два місяці.

Таблиця А3 – Журнал відмов приладів і засобів автоматизації

Дата	Тип приладу, заводський номер, місце установки	Характер ушкодження	Вжиті заходи	Посада, прізвище і розпис		Відмітки начальника цеху	Відмітки головного інженера
				особи, що виявила ушкодження	особи, що усунула ушкодження		

Таблиця А4 – Рекомендовані уставки для приладів захисту

Найменування приладів захисту	Предельно-допустимі значення	Рекомендовані уставки
Реле тиску всмоктування	Не більше 15 кгс/см ² Не більше 8 кгс/см ² Не менше 0,0,5 кгс/см ² Не вище 130°C Не вище 100°C Не вище 65°C	На 0,3÷0,5 кгс/см ² нижче за робочий тиск
Реле тиску нагнітання		На 2÷3 кгс/см ² вище за робочий тиск
Реле тиску нагнітання одноступінчастого компресора або ступені високого тиску		
Реле тиску нагнітання ступеня низького тиску		На 1,5÷2 кгс/см ² вище за робочий тиск
Реле контролю тиску мастила (різниця тисків)		На 0,3÷0,5 кгс/см ² нижче за робочу різницю тисків
Реле температури нагнітання одноступінчастого компресора чи ступені високого тиску		На 10-15° вище за робочу температуру
Реле температури нагнітання східці низького тиску		На 10-15° вище за робочу температуру
Реле температури мастила		На 10-15° вище за робочу температуру
Реле протоки (витрати) води, що охолоджує	Визначаються конкретно для кожного типу компресора	

Таблиця А5 – Набір вимірювальних приладів, необхідних для експлуатації приладів і засобів автоматизації

Найменування приладу і технічна характеристика	Типи і марки	Призначення	Потрібна кількість	Примітки
Термометр рідинний лабораторний; межа виміру - 100÷+20°C; ціна ділення 1°	ТЛ- 15	Перевірка регуляторів температури кипіння	5	Можна використовувати будь-який з перерахованих приладів
Термометр ртутний лабораторний; межа виміру - 35÷ +25°C; ціна ділення 0,1°	ТЛ- 4-1	Перевірка регуляторів і вимірників температур в камерах	5	
Термометр ртутний лабораторний; межа виміру 0÷+150°; ціна ділення 1°	ТЛ- 26	Перевірка захистів по температурі нагнітання	3	
Універсальний ампервольтметр (тестер)	ТТ- 1, ТТ- 2, Ц-52, Ц-315	Перевірка електричних ланцюгів	2	
Автотрансформатор лабораторний	ЛАТР- 1	Перевірка електричних схем	2	
Магазин опорів	ЛАТР- 2 МСП- 55	Підгонка додаткових опорів в ланцюгах логометрів. Перевірка приладів	3	
Міст Уитстона постійного струму	УМВ	Те ж	1	
Мегомметр	М- 1101	Вимір опору ізоляції	1	Для безнасосних систем з подачею через ТРВ Для холодильників з камерними кондиціонерами
Секундомір	СМ- 60	Налаштування реле часу	1	
Вимірник різниці температур	ПИРТ	Налаштування і перевірка ТРВ	1	
Напівпровідниковий Психрометр аспіраційний	МВ- 4	Перевірка регуляторів і вимірників вологості	2	