

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра електропривода

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеня магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Норохи Олександра Олександровича

(ПІБ)

академічної групи 141-19М-4

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему “Електропривод і автоматизація тяго-дутьових механізмів повітряно-димового тракту парового котлоагрегату з детальною розробкою автоматизованого електроприводу тракту подачі загального повітря”

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Садовой О.В.			
розділів:				
Технологічна частина	Садовой О.В.			
Автоматизований електропривод	Садовой О.В.			
Дослідження динаміки електропривода	Садовой О.В.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л. В.			
Рецензент	Ципленков Д.В.			
Нормоконтролер	Казачковський М. М.			

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
електропривода

(повна назва)

Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня _____ магістра _____
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Норосі О.О. академічної групи 141-19М-4
(прізвище та ініціали) (шифр)
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ _____
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(офіційна назва)

на тему “Електропривод і автоматизація тяго-дугтьових механізмів повітряно-димового тракту парового котлоагрегату з детальною розробкою автоматизованого електроприводу тракту подачі загального повітря”, затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Вступ; Технологічна частина	Загальні відомості про об'єкт автоматизації. Процес подачі загального повітря в топку котла. Вимоги до системи керування подачею загального повітря.	
Автоматизований електропривод	Технічні данні дугтьового вентилятора. Розрахунок потужності та вибір приводного електродвигуна. Вибір комплектного електропривода дугтьового вентилятора	
Система автоматичного керування подачею загального повітря	Математична модель повітряного тракту котлоагрегату. Динамічні параметри повітряного тракту котла. Структурно – алгоритмічний синтез системи автоматичного керування витратами повітря	
Дослідження динаміки електропривода	Побудова моделі та дослідження її динаміки	
Техніко-економічне обґрунтування	Розрахунок терміну окупності капітальних витрат та економічної ефективності.	
Висновки	Сукупний обґрунтований висновок.	

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Садовой О.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

18.12.2020

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Нороха О.О.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 64 сторінки, 21 рисунок, 3 таблиці, 17 джерел, презентація PowerPoint.

Об'єкт детальної розробки: Автоматизація електропривода дугтьового вентилятора.

Мета роботи: надбання необхідних навичок по технічному рішенню завдань при проектуванні системи автоматичного електроприводу дугтьового вентилятора.

У проєкті зроблений аналіз заходів щодо модернізації електроприводу дугтьового вентилятора.

У першому розділі розглянуто загальні відомості про об'єкт автоматизації, процес подачі загального повітря в топку котла, вимоги, які ставляться до системи керування подачею загального повітря.

У другому розділі обрано електродвигун, підібраний комплектний електропривод дугтьового вентилятора.

У третьому розділі виконано розрахунок динамічних параметрів повітряного тракту котла. Проведено моделювання за допомогою математичного пакету Matlab.

У четвертому розділі доведена економічна ефективність впровадження технічних рішень.

Зміст

Вступ	5
1. Технологічна частина	
1.1 Загальні відомості про об'єкт автоматизації	8
1.2 Процес подачі загального повітря в топку котла	9
1.3 Вимоги, які ставляться до системи керування подачею загального повітря.	13
2. Автоматизований електропривод дуттьового вентилятора	
2.1 Конструкція та принцип дії дуттьового вентилятора	18
2.2 Технічні данні дуттьового вентилятора	19
2.3 Розрахунок потужності та вибір приводного електродвигуна	20
2.4 Вибір комплектного електропривода дуттьового вентилятора	24
3. Система автоматичного керування подачею загального повітря	
3.1 Математична модель повітряного тракту котлоагрегату	31
3.2 Структурна схема повітряного тракту котлоагрегату	33
3.3 Динамічні параметри повітряного тракту котла	34
3.4 Перетворена структурна схема повітряного тракту	34
3.5 Структурно – алгоритмічний синтез системи автоматичного керування витратами повітря	35
3.6 Дослідження динаміки	45
4. Техніко – економічне обґрунтування	51
Загальні висновки	62
Перелік посилань	63

						Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Автоматизація – це застосування комплексу засобів, що дозволяють здійснювати виробничі процеси без особистої участі людини, але під її контролем. Автоматизація виробничих процесів приводить до збільшення випуску, зниженню собівартості і поліпшенню якості продукції, зменшує чисельність обслуговуючого персоналу, підвищує надійність і довговічність машин, дає економію матеріалів, поліпшує умови праці і техніки безпеки [1-5].

Автоматизація звільняє людину від необхідності безпосереднього керування механізмами. В автоматизованому процесі виробництва роль людини зводиться до налагодження, регулювання, обслуговування засобів автоматизації і спостереженню за їхньою дією. Якщо механізація полегшує фізичну працю людини, то автоматизація має мету полегшити так само і розумову працю. Експлуатація засобів автоматизації жадає від обслуговуючого персоналу високої технічної кваліфікації.

За рівнем автоматизації теплоенергетика займає одне з ведучих місць серед інших галузей промисловості. Теплоенергетичні установки характеризуються безперервністю процесів, що протікають у них. При цьому вироблення теплової й електричної енергії в будь-який момент часу повинно відповідати споживанню (навантаженню). Майже всі операції на теплоенергетичних установках механізовані, а перехідні процеси в них розвиваються порівняно швидко. Цим пояснюється високий розвиток автоматизації в тепловій енергетиці.

Автоматизація параметрів дає значні переваги:

- 1) забезпечує зменшення чисельності робочого персоналу, тобто підвищення продуктивності його праці;
- 2) приводить до зміни характеру праці обслуговуючого персоналу;
- 3) збільшує точність підтримки параметрів нагрітої води;
- 4) підвищує безпеку праці і надійність роботи устаткування;
- 5) збільшує економічність роботи котельної установки.

						Арк
						5
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежно від обсягу автоматизація може бути повною, частковою, або комплексною.

При повній автоматизації - персонал відсутній і його функції зведені до періодичного нагляду. При комплексній автоматизації - обслуговуючий персонал постійно наглядає за роботою обладнання, а при частковій - обладнання автоматизується у обмеженому обсязі.

Автоматизація котельних установок містить у собі автоматичне регулювання, дистанційне керування, технологічний захист, теплотехнічний контроль, технологічні блокування і сигналізацію [6,7].

Автоматичне регулювання забезпечує хід безупинно протікаючих процесів у парогенераторі (живлення водою, горіння, перегрів води й ін.)

Дистанційне керування дозволяє черговому персоналу пускати і зупиняти котельну установку, а так само переключати і регулювати її механізми на відстані, з пульта, де зосереджені пристрої керування.

Теплотехнічний контроль за роботою котельної установки й устаткування здійснюється за допомогою показників і самописних приладів, що діють автоматично. Прилади здійснюють безупинний контроль процесів, що протікають у парогенераторній установці, чи ж підключаються до об'єкта виміру обслуговуючим персоналом, або електронно-обчислювальною машиною. Прилади теплотехнічного контролю розміщують на панелях, щитах керування по можливості зручно для спостереження й обслуговування.

Технологічні блокування виконують у заданій послідовності ряд операцій при пусках і зупинках механізмів котельної установки, а так само у випадках спрацьовування технологічного захисту. Блокування виключають неправильні операції при обслуговуванні котельної установки, забезпечують відключення в необхідній послідовності устаткування при виникненні аварії [6-7].

Пристрої технологічної сигналізації інформують черговий персонал про стан устаткування (у роботі, зупинку і т. п.), попереджають про наближення

						Арк
						6
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Технологічна частина

1.1 Загальні відомості про об'єкт автоматизації

Котельним агрегатом називається комплекс пристроїв для виробництва пари заданої кількості і якості або для підігріву до потрібної температури рідини. Котельний агрегат складається з топкового пристрою для спалювання палива, конвективних і радіаційних поверхонь нагріву робочого тіла, тяго – дуттьових пристроїв для подачі газів в топку і видалення з неї димових газів, котельно – допоміжного устаткування і засобів контролю та управління технологічного процесу.

Котлоагрегати для виробництва пари прийнято називати парогенераторами.

Котлоагрегати для підігріву води називають водогрійними.

На рисунку 1.1 представлена технологічна схема котельної установки.

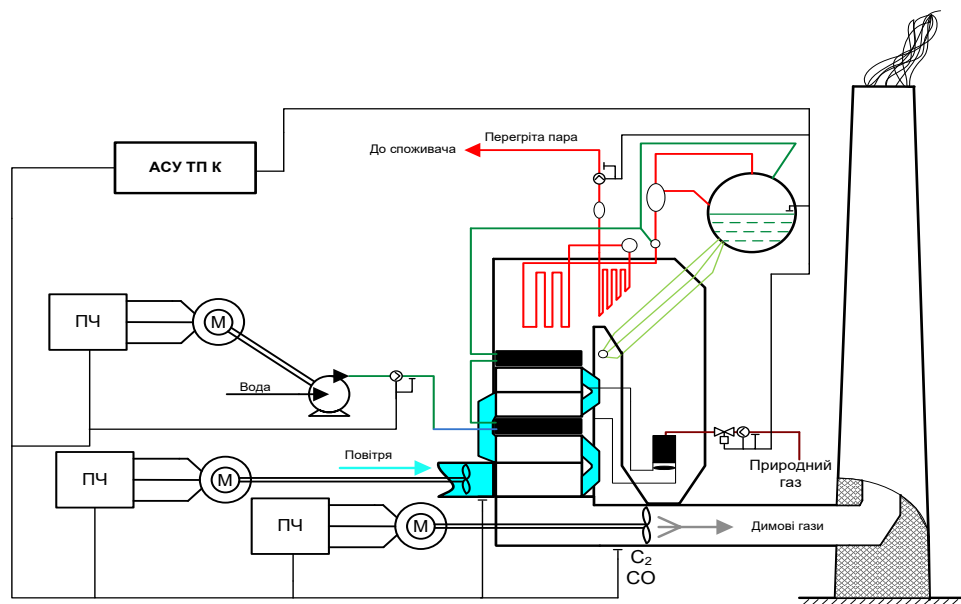


Рисунок 1.1 Технологічна схема котельної установки

					Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	8

Як видно з технологічної схеми, в котлоагрегаті є два взаємодіючих один з одним потоку: потік робочого тіла і потік що утворюється в топці теплоносія.

В результаті цієї взаємодії на виході об'єкта виходить пара або гаряча вода заданого тиску або температури.

Котлоагрегати можуть мати різноманітну конструкцію, проте сутність їх роботи залишається загальною. З огляду на це можна визначити загальні вимоги до об'єму автоматизації котлоагрегатів як об'єкту регулювання [6-7].

1.2 Процес подачі загального повітря в топку котла

Повітряна система призначена для подачі в топку котла повітря в кількості, що забезпечує якісне згоряння палива з необхідним коефіцієнтом надлишку повітря.

Для забезпечення якісного згоряння палива та економічної роботи котла коефіцієнт надлишку повітря повинен знаходитися в межах $\alpha = 1,05 \div 1,15$. Зниження коефіцієнта надлишку повітря призводить до неповноти згоряння палива (збільшенню втрати Q_3), утворення сажістих відкладень на поверхнях нагріву і зниження ККД котла.

Збільшення коефіцієнта надлишку повітря призводить до додаткових втрат теплоти з газами - Q_2 .

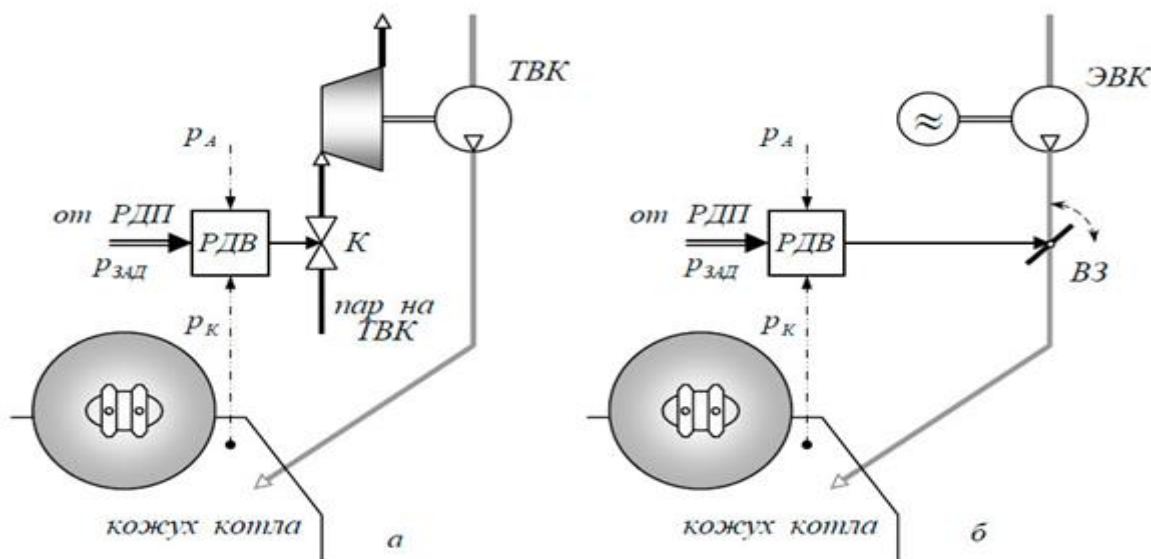
Принципи регулювання подачі повітря в котлах з вентиляторним дуттям і в високонапірних котлах мають свої особливості.

В котлах з вентиляторним дуттям основним елементом системи подачі повітря є регулятор тиску повітря - РТП (рисунок 1.2). У цьому регуляторі підсумовуються сигнали щодо тиску атмосферного повітря - РА, надлишкового тиску повітря в коробі котла - РК, і сигнал заданого значення навантаження котла, що надходить від РТП. Сумарний сигнал видається на регулюючий орган. У головних котлах регулюючим органом зазвичай є клапан подачі пари на турбіну котельного турбовентилятор - ТВК (рисунок 1.2а).

						Арк
						9
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

У котельних установках, у яких в повітряних системах використовуються електровентилятори, регулюючим органом є привід повітряної заслінки, розташованої за котельним вентилятором (рисунки 1.2б).

На рисунку 1.2 зображена схема регулювання подачі повітря в котлах з вентиляторним дуттям: а – в головних котлах з турбовентилятором ТВК; б – головних і допоміжних котлах з електровентилятором.



Рисунки 1.2 Схема регулювання подачі повітря в котлах з вентиляторним дуттям: а – в головних котлах з турбовентилятором ТВК; б – головних і допоміжних котлах з електровентилятором.

РТП – регулятор тиску повітря; ТВК – котельний турбовентилятор; ЭВК – котельний електровентилятор; К – клапан подачі пара на котельний турбовентилятор; ВЗ – регулююча повітряна заслінка; Pa - атмосферний тиск повітря; Pк - тиск повітря в кожусі котла; Pзад- задане значення тиску повітря для даного навантаження котла.

Для забезпечення бездимного згоряння палива регулятор повітряної системи котла повинен виробляти випереджальну подачу повітря при наборі навантаження котла (включення чергової форсунки). З цією метою при збільшенні навантаження система регулювання забезпечує попередній розгін турбовенти

						Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		10

лятора (відкриття повітряної заслінки), потім здійснює відкриття за допомогою сервоприводу реєстрів ВНУ відповідної форсунки, і в останню чергу збільшує подачу палива на форсунки. При скиданні навантаження котла спочатку відбувається зменшення витрати палива через форсунки (відключення форсунки), потім закриття відповідного ВНУ, і в останню чергу - вплив на регулюючий орган (зменшення подачі повітря від котельного вентилятора).

У високонапірних котлах основним елементом повітряної системи є регулятор витрати повітря - РРВ (рисунок 1.3). На відміну від РДВ, в РРВ вимірюється перепад тисків на газовому імпульсі котла: різниця тиску повітря на виході з компресора ТНА, і тиску газів в газозоді котла перед газовою турбіною. Об'єктом регулювання є турбокомпресор ТНА, що приводиться в обертання газової та додавальної парової турбінами. На режимі роботи ВНК, коли потужність газової турбіни дорівнює потрібній потужності компресора, робота компресора здійснюється тільки за рахунок роботи газової турбіни. При зменшенні навантаження котла зменшуються витрати електроенергії і температура газів, що надходять в газову турбіну, знижується потужність газової турбіни, і в роботу автоматично включається додаткова парова турбіна, яка компенсує недолік потужності газової турбіни для приводу компресора. При збільшенні навантаження котла регулятор РРВ впливає на соплові клапани додаткової парової турбіни, прикриваючи їх. Після повного закриття клапанів подачі пари на додаткову парову турбіну і надалі наборі навантаження, вплив РРВ здійснюється на повітряну регулюючу заслінку, стравлюють частина «зайвого» повітря на виході з компресора в атмосферу або на всмоктування турбокомпресора.

На рисунку 1.3 зображена схема подачі повітря у високонапірних котлах.

1.3 Вимоги, які ставляться до системи керування подачею загального повітря

Системи управління котлів освоєні досить добре. Однак велика кількість схемних рішень в цій галузі не дає однозначних висновків про переваги того чи іншого варіанту з позицій регулювання навантаження котла. З цієї причини узагальнену структуру системи регулювання горіння можна принципово представити у вигляді трьох регуляторів: палива (РП), повітря (РП) і розрідження (РР). При зміні завдання від регулятора навантаження автоматично змінюється витрата палива в котел. Регулятор повітря, впливаючи на направляючий апарат дуттьового вентилятора, відповідним чином змінить подачу повітря, підтримуючи співвідношення "паливо - повітря". Невідповідність між утвореними в результаті горіння димовими газами в котлі і їх видаленням буде усунута регулятором розрідження.

При регулюванні подачі палива і повітря в котел можна підтримувати як витрата цих параметрів, так і їх тиск. Так як витрата палива прямо пропорційна навантаженню котла, то регулятор палива найчастіше виконують як регулятор витрати.

У практиці автоматизації процесу горіння котлів для вимірювання витрати повітря застосовуються як прямі способи вимірювання за допомогою установки в повітряному коробі прямокутних діафрагм, витратомірних труб Вентурі і мультиплікаторів, так і непрямі. Найбільш простим по конструкції з прямих способів вимірювання є застосування прямокутних діафрагм. Однак установка діафрагм призводить до великої втрати тиску повітря. У зв'язку з цим частіше застосовуються витратомірні труби Вентурі, які мають невелику втрату тиску. Ця обставина дуже важлива при вимірюванні великих витрат, якими є витрати повітря, що подаються до пальників котла. Використанні мультиплікаторів, які представляють собою невелику трубу Вентурі, не знайшло широкого застосування на електростанціях через низьку надійність

									Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					13

(забивання імпульсних ліній) і невисокої точності вимірювань (відсутність усереднення по перетину потоку).

Незважаючи на те, що застосування труб Вентурі дає реальне уявлення про витрату повітря, їх використання пов'язане з великими труднощами. Для установки витратомірних труб необхідно мати прямі ділянки повітропроводів значної довжини, як до витратомірного пристрою, так і після нього (приблизно 6-8 діаметрів повітропроводів). Ця умова часто буває неможлива. Більш того, на деяких котлах в компонуванні повітропроводів взагалі практично відсутні прямолінійні ділянки, а при установці вимірювальних пристроїв в повітряному коробі, які мають недостатньо пряму ділянку, не тільки різко погіршується точність вимірювання, але і можлива поява неоднозначності в залежності "витрата повітря - перепад тисків".

На багатьох котлах, обладнаних регенеративними повітропідігрівачами, спостерігаються суттєві пульсації в повітряному тракті. Значення цих пульсацій можна порівняти з корисним сигналом від витратомірного пристрою. Після придушення пульсацій на вході регулятора точність підтримки параметра стає неприпустимо низькою. На таких котлах, особливо якщо вони працюють з малими надлишками повітря, використання труб Вентурі для регулювання подачі повітря стає неможливим, тому в більшості випадків для визначення витрати повітря в топку котла використовуються непрямі показники: перепад тисків на ділянці повітряного тракту або тиск в будь-якій точці повітряного тракту.

Для котлів малої продуктивності найбільш поширений вимір перепаду тисків на ділянці повітряного тракту. Для котлів з трубчастим повітронагрівачем такою ділянкою повітряного тракту зазвичай є повітронагрівач, опір якого однозначно визначає витрату повітря. У той же час використання опору регенеративного повітронагрівача, що застосовується на сучасних потужних котлах, не дає позитивного результату, так як в цьому випадку не існує однозначної залежності між витратою повітря і опором повітронагрівача. При спалюванні твердого та рідкого палива відбувається

						Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		14

занос теплообмінних поверхонь нагріву регенеративного повітрянагрівача, тому його опір змінюється в процесі експлуатації. Крім того, при порушенні ущільнень виникають значні перетоки повітря в газохід. Недоліком методу вимірювання витрати повітря по опору повітрянагрівача є також мале значення перепадів тиску на ньому. При цьому значення перепаду тисків при низьких навантаженнях знову стає таким же зі значенням пульсацій.

Іншим непрямим показником витрати повітря, як уже вказувалося, може служити тиск повітря. На сьогоднішній день використання саме цього параметра багато в чому визначає працездатність регуляторів повітряного режиму котлів. На рисунку 1.4 показаний приклад типової схеми регулювання навантаження барабанного котла, що працює на загальну парову магістраль на ТЕС з поперечними зв'язками. Тут регулятор загального повітря підтримує тиск повітря в перемичці за регенеративним повітрянагрівачем (в загальному коробі), отримуючи завдання на витрату палива (навантаження). Статична характеристика тиску повітря від навантаження, строго кажучи, не є лінійною. Однак її кривизна істотна лише при малих навантаженнях, де режимна автоматика, як правило, не працює, а в регульованому діапазоні зміни витрат повітря (наприклад, 50-100% номінального) може вважатися лінійною [6,7].

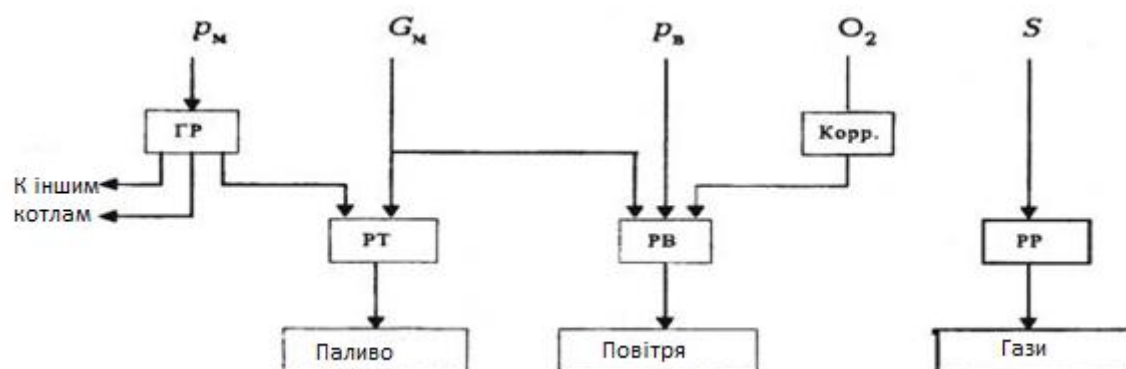


Рисунок 1.4 Типова схема регулювання навантаження барабанного котла:

ГР - головний регулятор; S - розрідження в топці; G_m - витрата мазуту;

O_2 - вміст кисню

Ефективність роботи котлоагрегата в значній мірі визначається якісними показниками системи автоматичного регулювання (САР) витрат загального повітря, яка призначена для підтримки найбільш економічного режиму спалюван-

ня палива в топці котла. Повне спалювання одиниці об'єму палива вимагає подачі певного об'єму повітря, який залежить від виду і сорту палива, що спалюється, і його характеристики.

З метою усунення можливого недопалу і забезпечення необхідного запасу на регулювання в топку подається дещо більше повітря, ніж потрібно для повного згоряння палива. Коефіцієнтом надлишку повітря α називається відношення кількості повітря, що подається в топку, до кількості повітря, теоретично необхідного для повного спалювання палива. Значення α істотно впливає на втрати теплоти в котлі з димовими газами, хімічним і механічним недопалом, а в кінцевому підсумку - на ККД котла.

Для кожного котла в процесі режимних випробувань визначається оптимальне значення коефіцієнта надлишку повітря $\alpha_{\text{опт}}$, яке відповідає максимальному ККД і залежить від навантаження котла і витрати палива. Забезпечення оптимального значення α у всіх режимах роботи котла є основним завданням САР загального повітря.

Для газових котлів оптимальне значення α лежить в межах 1,02 ... 1,05 і найбільш просто і ефективно оцінюється за вмістом вільного кисню O_2 і газів недопалу в димових газах. У зв'язку з цим об'єктом регулювання для САР витрати загального повітря є ділянка повітряного тракту котла від напору дуттьового вентилятора до місця вимірювання надлишкового кисню в димових газах [6,7]. Відповідно до коефіцієнту підсилення і постійної часу тракту кисню змінюється в 10 разів одночасно, при чому зі зростанням коефіцієнта підсилення збільшується постійна часу.

Синтез керуючого впливу САР загального повітря шляхом розв'язання задачі аналітичного конструювання регуляторів (АКР) дозволяє побудувати асимптотично стійку систему автоматичного регулювання, інтегральні

									Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					16

складові в законі управління якої забезпечують астатизм як за керуючому, так і за збурюючими впливами. Внаслідок наявності чистого запізнювання повітряного тракту при синтезі алгоритму управління використовується лінеаризація

рівнянь динаміки шляхом розкладання в ряд Тейлора. В результаті динаміка об'єкта описується системою звичайних лінійних диференціальних рівнянь. Помилка в розрахунках вагових коефіцієнтів алгоритмів управління при цьому не перевищує 10%. Неточності обчислень будуть усунені в ході налагодження САР [7].

Для виключення низькочастотних слабодемпфованих коливань затримка при формуванні вхідних і вихідних впливів повинна на 2 або більше порядків бути меншою за мінімальну постійної часу об'єкта управління.

						Арк
						17
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Автоматизований електропривод дуттьового вентилятора

2.1 Конструкція та принцип дії дуттьового вентилятора

Установка з відцентровим дуттьовим вентилятором складається з наступних вузлів: ходової частини 3 (рисунок 2.1), равликоподібного корпусу 14 з вхідним (всмоктуючим) 10 і вихідним (нагнітальним) 8 патрубками, крильчатки 7, ротора 5 (рис. 2.2). Ходова частина 3 складається з вала 7 і 5, який обертається на двох підшипниках 17. Вся ходова частина розміщена в масляній ванні, яка має кришку і піддон. Температура масла контролюється термометром 4, а рівень - за вказівником рівня масла, який розміщений в масляній ванні. Робоче колесо вентилятора - це пристрій, що складається з диска 5, до якого приварені або приклепані лопатки крильчатки 7, кінці яких з'єднані кільцем, до диску приварена втулка 15 (маточина), яка закріплюється на валу. При обертанні робочого колеса вентилятора повітря по повітроводу підводиться до його центру і за рахунок відцентрових сил відкидається від центру до периферії, і далі нагнітається в повітропровід. В центрі робочого колеса утворюється зона розрідження, куди безперервно затягується повітря.

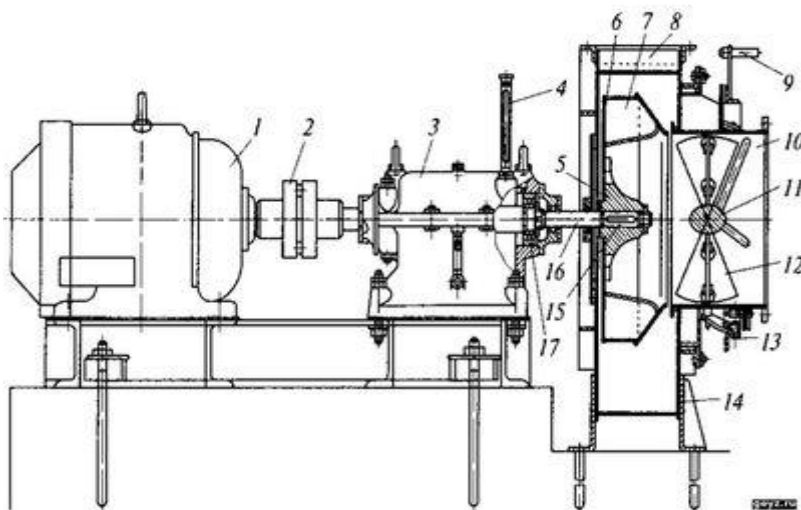


Рисунок 2.1 Установка з відцентрованим дуттьовим вентилятором:

					Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	18

Установка з відцентрованим дугтьовим вентилятором: 1 - електродвигун; 2 - муфта; 3 - ходова частина; 4 - термометр; 5 - ротор; 6 - диск; 7- крильчатка (лопатки); 8, 10 - вихідний і вхідний патрубки; 9 - рукоятка повороту лопатей; 11 - центральний розсікач; 12 - поворотні лопати; 13 - поворотне кільце; 14 - равликopodobний корпус; 15 - втулка; 16 - вал; 17 - підшипник

Найбільшого поширення набули відцентрові дугтьові вентилятори, які випускаються наступних марок: ВД -6; -8; -10; -12; -13,5; -15,5; -18; -20 (в написанні марки В - вентилятор, Д - дугтьовий, цифра - діаметр колеса в дециметрах).

Принцип роботи

За своїм типом дугтьові вентилятори відносяться до відцентрових машин, тому їх принцип дії аналогічно принципу дії відцентрових насосів. Працюють вони в такий спосіб. Обертання двигуна приводить в рух робоче колесо. Обертаючись, останній створює розрядження в центрі, під впливом якого через всмоктуючий патрубок в корпус насоса втягується повітря, яке відкидається лопатками колеса на периферію в нагнітальний патрубок, створюючи в ньому підвищений тиск.

Вентилятори призначені для експлуатації при зовнішній температурі -40 ... +40 ° С. Допустима температура повітря для вентиляторів залежить від модифікації і становить -30 ... 200 ° С (для моделей ВД) або -30..80 ° С (для ВДН). Дугтьові вентилятори не повинні використовуватися для перекачування вибухонебезпечних і агресивних газоповітряних середовищ, сумішей, що мають підвищену запиленість, або / і містять клейкі, волокнисті або абразивні речовини.

2.2 Технічні дані дугтьового вентилятора

Технічні характеристики вентилятора ВДН-20-Н2.3.

						Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$Q_H = 127000 \text{ м}^3 / 200 \text{ д} = 35.278 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$n_H = 740 \text{ об} / \text{хв}$$

$$H_H = 249 \text{ м}$$

$$H_{CT} = 0 \text{ м}$$

$$H_0 = 280 \text{ м}$$

2.3. Розрахунок потужності та вибір приводного електродвигуна

Залежність напору вентилятора від продуктивності при заданій швидкості обертання робочого колеса.

$$H_H = H_0 - R_H \cdot Q_H^2,$$

Номінальний опір вентилятора при номінальному тиску та продуктивності за виразом.

$$R_H = \frac{H_0 - H_H}{(Q_H)^2}$$

$$R_H = \frac{280 - 249}{\left(\frac{600}{3600}\right)^2} = \frac{31}{0,028} = 1107,14$$

Залежність конкретного значення продуктивності від напору вентилятора.

$$H_x = H_0 - R_H \cdot Q_x^2$$

						Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$H_1 = 280 - 0.0249 \cdot \left(\frac{127000 \cdot 0}{3600} \right)^2 = 280 \text{m}$$

$$H_1 = 280 - 0.0249 \cdot \left(\frac{127000 \cdot 0.2}{3600} \right)^2 = 278.76 \text{m}$$

$$H_2 = 280 - 0.0249 \cdot \left(\frac{127000 \cdot 0.4}{3600} \right)^2 = 280 - 4.958 = 275.042 \text{m}$$

$$H_3 = 280 - 0.0249 \cdot \left(\frac{127000 \cdot 0.6}{3600} \right)^2 = 280 - 11.156 = 268.844 \text{m}$$

$$H_4 = 280 - 0.0249 \cdot \left(\frac{127000 \cdot 0.8}{3600} \right)^2 = 280 - 19.833 = 260.167 \text{m}$$

$$H_5 = 280 - 0.0249 \cdot \left(\frac{127000 \cdot 1}{3600} \right)^2 = 280 - 21 = 249 \text{m}$$

$$H_6 = 280 - 0.0249 \cdot \left(\frac{127000 \cdot 1.2}{3600} \right)^2 = 280 - 44.424 = 235.376 \text{m}$$

$Q_x, m^3 / c$	$0 \cdot Q_n$	$0.2 \cdot Q_n$	$0.4 \cdot Q_n$	$0.6 \cdot Q_n$	$0.8 \cdot Q_n$	$1 \cdot Q_n$	$1.2 \cdot Q_n$
H_x, m	280	278.76	39.8	89.6	159.3	249	358.4

Характеристика мережі

$$H_x = R_m \cdot Q_x^2$$

Де R_m - опір мережі при номінальній продуктивності.

Опір мережі при Q_x і H_x визначається

$$R_x = \frac{H_x}{(Q_x)^2}$$

Для точки А при $Q_H = 127000 m^3 / год = 35.278 m^3 / c$

$$R_A = \frac{249}{35.278^2} = 0.2$$

$$H_A = R_{MA} \cdot Q_A^2, m$$

$Q_x, m^3 / c$	$0 \cdot Q_H$	$0,2 \cdot Q_H$	$0,3 \cdot Q_H$	$0,4 \cdot Q_H$	$0,6 \cdot Q_H$
H_x, m	0	68,7	154,6	274,8	618,3

$Q_x, m^3 / c$	$0 \cdot Q_n$	$0,2 \cdot Q_n$	$0,4 \cdot Q_n$	$0,6 \cdot Q_n$	$0,8 \cdot Q_n$	$1 \cdot Q_n$	$1,2 \cdot Q_n$
H_x, m	0	9.96	39.8	89.6	159.3	249	358.4

$$H_1 = 0,2 \cdot (35,278 \cdot 0)^2 = 0m$$

$$H_2 = 0,2 \cdot (35,278 \cdot 0,2)^2 = 9,96m$$

$$H_3 = 0,2 \cdot (35,278 \cdot 0,4)^2 = 39,8m$$

$$H_4 = 0,2 \cdot (35,278 \cdot 0,6)^2 = 89,6m$$

$$H_5 = 0,2 \cdot (35,278 \cdot 0,8)^2 = 159,3m$$

$$H_6 = 0,2 \cdot (35,278 \cdot 1)^2 = 249$$

$$H_7 = 0,2 \cdot (35,278 \cdot 1,2)^2 = 358,4m$$

Для точки В при $Q = 127000 \cdot 0,4 = 50800m^3 / год = 14,11m^3 / c$

$$R_B = \frac{275,04}{(14,11)^2} 1,38$$

$$H_B = R_{mB} \cdot Q_B^2, m$$

$$H_1 = 1,38 \cdot (35,278 \cdot 0)^2 = 0m$$

$$H_2 = 1,38 \cdot (35,278 \cdot 0,2)^2 = 68,7m$$

$$H_3 = 1,38 \cdot (35,278 \cdot 0,3)^2 = 154,6m$$

$$H_4 = 1,38 \cdot (35,278 \cdot 0,4)^2 = 274,8m$$

$$H_5 = 1,38 \cdot (35,278 \cdot 0,6)^2 = 618,3m$$

Для точки С при $Q = 127000 \cdot 0,6 = 76200m^3 / год = 21,16m^3 / c$

$$R_C = \frac{268,84}{(35,278 \cdot 0,6)^2} = 0,6$$

$$H_C = R_{mC} \cdot Q_C^2, m$$

									Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					21

$$H_1 = 0.6 \cdot (35.278 \cdot 0)^2 = 0m$$

$$H_2 = 0.6 \cdot (35.278 \cdot 0.2)^2 = 29.8m$$

$$H_3 = 0.6 \cdot (35.278 \cdot 0.4)^2 = 119.5m$$

$$H_4 = 0.6 \cdot (35.278 \cdot 0.6)^2 = 268.8m$$

$$H_5 = 0.6 \cdot (35.278 \cdot 0.8)^2 = 477.9m$$

$Q_x, m^3 / c$	$0 \cdot Q_H$	$0,2 \cdot Q_H$	$0,4 \cdot Q_H$	$0,5 \cdot Q_H$	$0,6 \cdot Q_H$	$0,8 \cdot Q_H$
H_x, m	0	29,8	119,5	214,32	268,8	477,9

При регулюванні продуктивності обертанням робочого колеса, частота обертання двигуна визначається за виразом:

$$\omega_H = \omega_n \cdot \sqrt{\frac{H_x}{H_H}}, c^{-1}$$

$$\text{Де } \omega_n = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3.14 \cdot 740}{30} = 77.45^{-1}$$

$$\omega_1 = 77.45 \cdot \sqrt{\frac{249}{249}} = 77.45, c^{-1}$$

$$\omega_2 = 77.45 \cdot \sqrt{\frac{39.8}{249}} = 30.96c^{-1}$$

$$\omega_3 = 77.45 \cdot \sqrt{\frac{89.6}{249}} = 46.46c^{-1}$$

На рисунку 2.2 наведені розрахункові залежності.

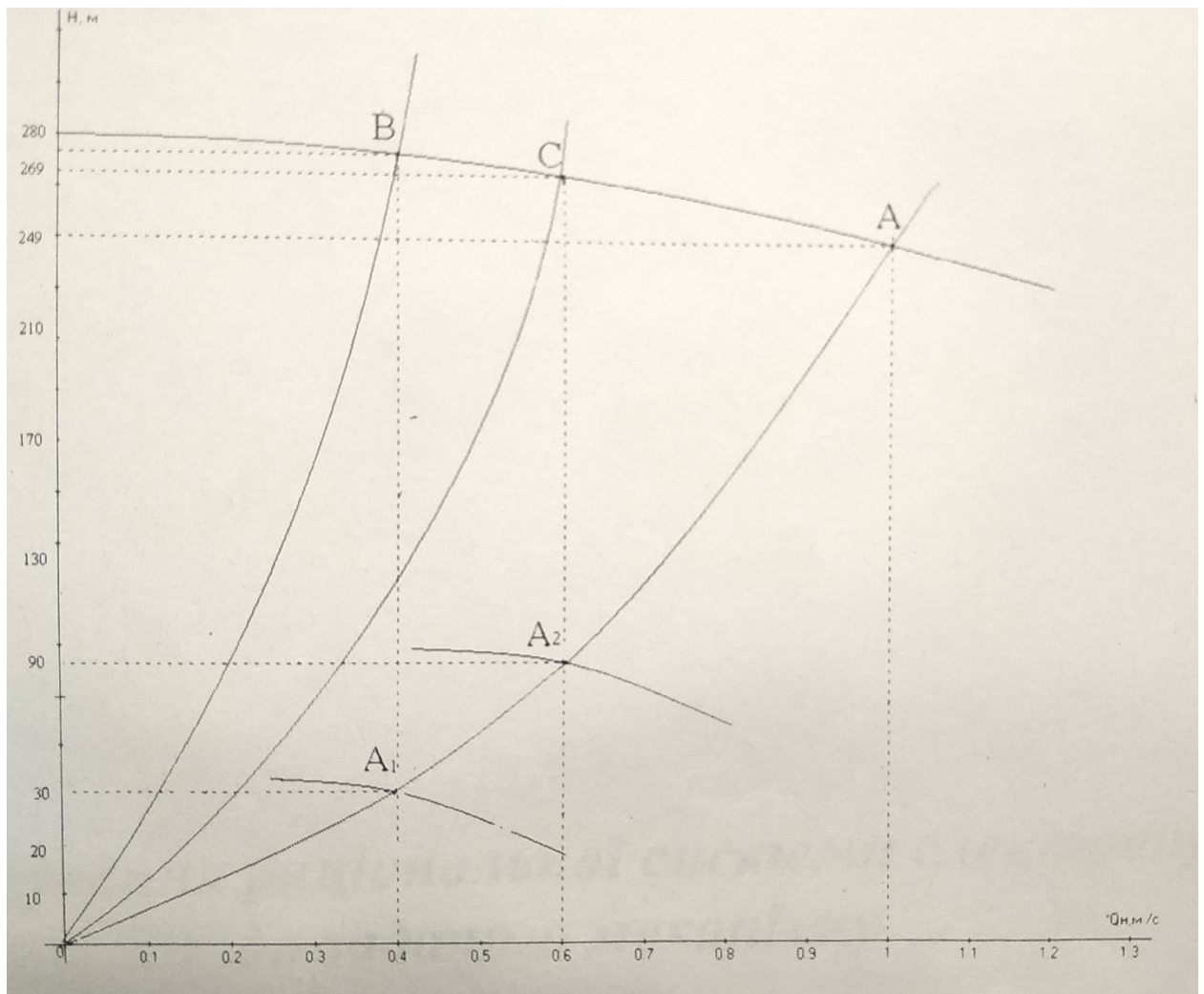


Рисунок 2.2 Характеристика вентиляторної установки при регулюванні продуктивності засувкою (точки А,В,С) та швидкістю обертання робочого колеса (точки А,А1, А2)

Розрахунок потужності відповідно часової діаграми зміни продуктивності з урахуванням коефіцієнта завантаження і вибір електродвигуна

$$P = \rho \cdot g \frac{Q \cdot H \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{НАС}}}, \text{кВт}$$

Де ρ - питома щільність повітря, $1 \text{ м}^3 / \text{с}$;

$$g = 9,81 \text{ м} / \text{с}^2$$

$\eta_{\text{НАС}}$ - ККД вентилятора 0.82.

$$P_H = 1 \cdot 9,81 \cdot \frac{35.278 \cdot 249 \cdot 10^{-3}}{0,82} = 105.1 \text{ кВт}$$

					Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	23

$$P_{\text{дв}} \geq P_B \quad \eta_{\text{дв}} = \eta_{\text{агр}} \quad P_{\text{дв}} = (1,1 \dots 1,5) P_{\text{агр}}$$

Вибираємо двигун по розрахунковій потужності.

Тип двигуна: 4АНК250М4

$$P = 110 \text{ кВт}$$

$$n_{\text{хх}} = 740 \text{ об/хв}$$

$$j = 0,97 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\eta = 92\%$$

$$E_p = 250 \text{ В}$$

$$I_p = 260 \text{ А}$$

$$\cos \varphi = 0,9$$

$$S_K = 18\%$$

$$S_H = 3,5\%$$

2.4 Вибір комплектного електропривода дугтьового вентилятора

При виборі типу електропривода перевагу варто віддавати системам електропривода змінного струму з таких причин:

- електроенергія виробляється і передається споживачам в основному на змінному струмі;
- електродвигуни постійного струму по габаритах, масі і вартості в 1,5...2,5 рази перевищують двигуни змінного струму тієї ж потужності і частоти обертання;
- надійність ДПС через наявність колекторно-щіткового вузла і майже повної відсутності закритого виконання значно нижче, ніж у двигунів змінного струму;
- момент інерції ДПС у 1,5...1,7 рази вище, ніж у АД з короткозамкненим ротором, що обумовлює більш високу швидкодію систем привода змінного струму;
- енергетичні показники і регульовальні властивості систем змінного струму з тиристорними перетворювачами не і гірше, ніж у приводі, постійного

									Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					24

специфічних вимог. Базове виконання полегшує проектування і забезпечує швидке введення в експлуатацію.

Базова комплектація шафи комплектні ПЧ є розширенням модельного ряду перетворювачів Altivar. Базове виконання укомплектовано ПЧ ATV61 або ATV71, мережевими запобіжниками, роз'єднувачем, дроселем для зниження гармонік і графічним терміналом. Конструкція виконана на базі шаф Sarel S6000 з вбудованою монтажною панеллю.

Компоненти управління розташовані на поворотній панелі. Це забезпечує компактність, простір для додаткового обладнання і легкий доступ до всіх частин для налагодження і ремонту.

Опис електротехнічний шафа. Шафи Sarel S6000 з додатковими, підсиленими елементами і направляючими для простого монтажу / демонтажу всередині шафи ПЧ і іншого силового обладнання. До стандартної шафи можуть бути додані будь-які аксесуари з продукції Sarel.

Робота / параметрування. Для безпечного управління, параметрування і швидкої діагностики графічний термінал встановлено на двері шафи. Прозора кришка захищає термінал від зовнішнього середовища. Несанкціонований доступ до параметрів можна закрити паролем. Індикація стану Стан ПЧ відображається постійно в верхньому рядку терміналу. Крім цього можливе створення користувальницької конфігурації терміналу. До 5 аналогових значень різних параметрів можуть відображатися на дисплеї одночасно.

Для підключення силових кабелів передбачено просторий відсік. Для ланцюгів управління передбачена можливість нарощування.

У стандартній конфігурації шафи введення кабелів передбачено знизу. Всі шафи оснащені великою поворотною панеллю для монтажу різного, додаткового, контрольно-вимірювального обладнання.

Технічні характеристики ATV71HC11N4

Двигун 110 кВт.

Максимальний струм в сталому режимі 215 А.

Максимальний струм протягом 60 секунд кожні 10 хвилин 323 А.

						Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		26

Тривала повна потужність 133 кВА.

Гальмівний модуль 85/165 кВт.

ККД $\geq 97,0\%$.

Вага нетто / брутто 275/315 кг.

Обсяг охолоджувального повітря 700 м³.

Рівень шуму 64 дВ.

Таблиця 1. Конструкція і технічні характеристики

Напруга живлення	380 В -15% до 415 В +10%, 50 / 60 Гц $\pm 5\%$ для TT, TN или IT сетей
Максимальний струм	150% протягом 60 сек кожні 10 хвилин, 165% протягом 2 сек
Робоча температура	0 ... + 40 ° С, до + 50 ° С з пониженням вихідної потужності
стандарты	CE, вбудований фільтр ЕМС для 2-ї категорії "промислового середовища" С3
конструкція	Шафа Sarel S6000, колір RAL 7032 Управління на двері шафи з додатковою захисною кришкою, Кабельний ввід з знизу, глибина шафи 616 мм (659 мм включно ручку шафи)
інтерфейсы	Клемники ланцюгів управління безпосередньо на ПЧ або на панелі, з можливістю нарощування, інтерфейс RS485 с протоколами Modbus або CANopen
IP54CV Компактне виконання	Доступ повітря через решітку з фільтром в двері шафи і викид витяжним вентилятором на даху шафи, Висота шафи 2264 мм
Базова комплектація Додаткове обладнання	ПЧ ATV71, роз'єднувач, мережні запобіжники, АС або DC дросель, клемники двигуна і тормозного резистора (тільки ATV71EX ●● D90N4 ... ATV71EX ●● C16N4), поворотна монтажна панель і графічний термінал на двері шафи.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Додаткове обладнання	Мережевий контактор, гальмівний модуль (починаючи з ATV71EX ●● C20N4), дросель двигуна, клемники, карти комунікаційні, кнопка аварійної зупинки, аварійна блокування (категорія 3 по EN 954-1 / ISO 13849-1 для "Аварійною Блокування" (категорія зупинки 0 або 1)), підсвічування шафи, обігрів шафи та інше

На рисунку 2.3 зображений загальний вигляд ATV71HC11N4

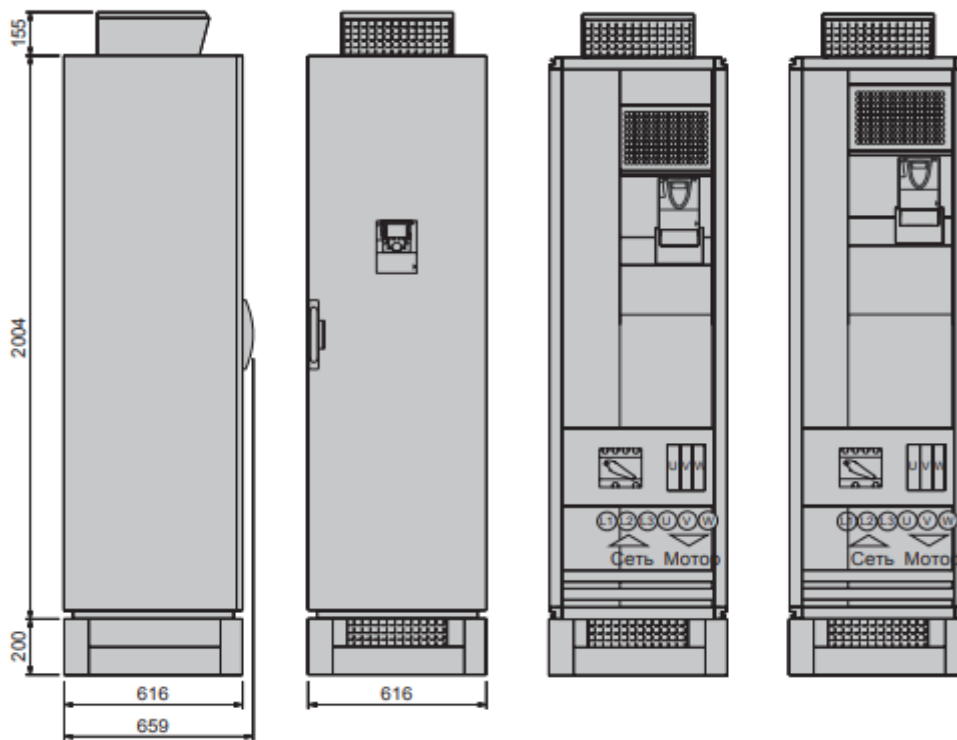


Рисунок 2.3 Загальний вигляд ATV71HC11N4

На рисунку 2.4 зображена конструкція ATV71HC11N4

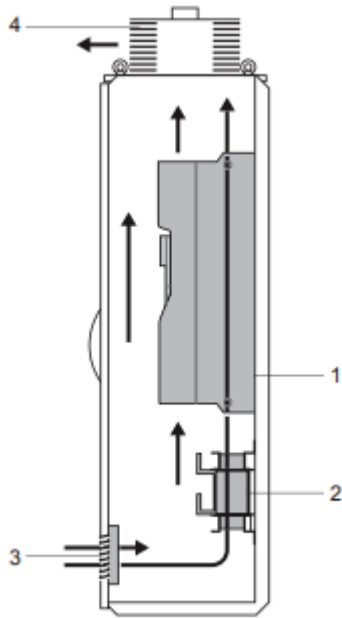


Рисунок 2.4 Конструкція: 1 - перетворювач частоти ATV71; 2 - мережевий дросель; 3 - решітка подачі повітря з фільтром; 4 - вентилятор з фільтром

На рисунку 2.5 зображений графік кривих зменшення номінального струму ПЧ (I_n) в залежності від температури і частоти комутації.

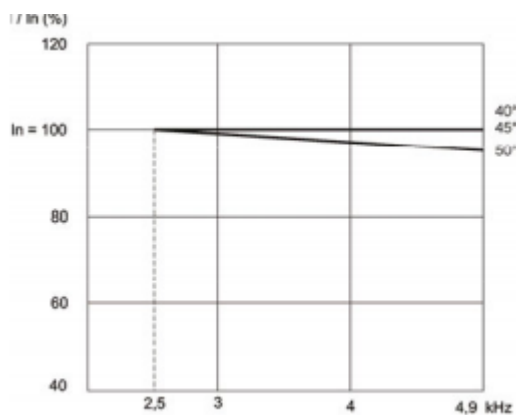


Рисунок 2.5 Криві зменшення номінального струму ПЧ (I_n) в залежності від температури і частоти комутації.

На рисунку 2.6 зображена схема з'єднань.

ATV71-Перетворювач частоти

MS-Мережевий роз'єднувач

Опція СВ-Мережевий автоматичний вимикач Може бути встановлений замість роз'єднувача

NH-Швидкодіючі запобіжники (в базовій комплектації) відповідно до таблиці "Запобіжники і перетин кабелів"

Опція MC-Мережевий контактор

Мережевий дросель / дросель DC-мережевий дросель вбудований (в базовій комплектації) для придушення гармонік від ПЧ в мережу

Фільтр-фільтр EMC вбудований у відповідності з категорією С3 по EN 61800-3 "Експлуатація в промислових умовах"

Опція BU-Гальмівний модуль

Опція BR-Гальмівний резистор

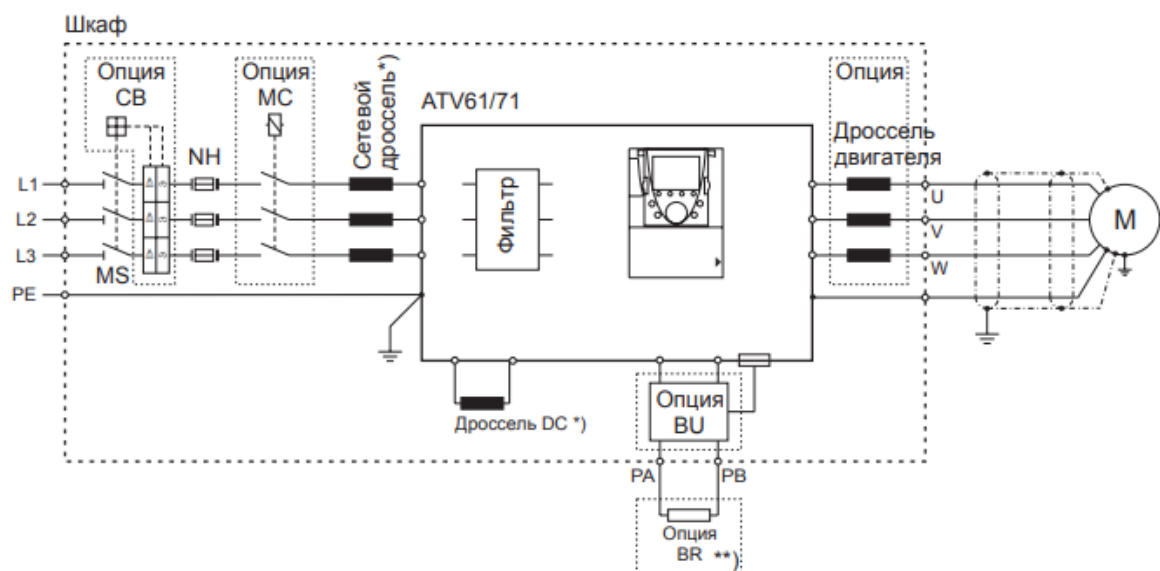


Рисунок 2.6 Схема з'єднань

3. Система автоматичного керування подачею загального повітря

3.1. Математична модель повітряного тракту котлоагрегату

Динамічні властивості тракту котла від напору дуттьових вентиляторів до місця вимірювання витрати повітря визначаються передавальною функцією послідовно з'єднаної аперіодичної ланки першого порядку і лінійної ланки з запізненням [6,7]

$$W_{VP}(p) = W_1(p)W_2(p), \quad (3.1)$$

де

$$W_1(p) = \frac{K_{VP}}{T_{VP}p + 1} \quad (3.2)$$

$$W_2(p) = e^{-\tau_1 p}; \quad (3.3)$$

$$K_{VP} = V_H / P_H \quad (3.4)$$

$$T_{VP} = \Phi_B / V_{BH} \quad (3.5)$$

$$\tau_1 = L / w_{BH} \quad (3.6)$$

V_H – витрата повітря при номінальному навантаженні котла, m^3 / c ;

P_H – середній тиск повітря при номінальному навантаженні котла, H / m^2 ;

$$P_H = \frac{P_{H1} + P_{H2}}{2} \quad (3.7)$$

P_{H1}, P_{H2} – тиск повітря в місцях відбору сигналу по перепаду тиску на повітрянагрівачі, H / m^2

Φ_B – об'єм повітрянагрівача між місцями відбору сигналу по перепаду тисків, m^3 ;

L – відстань по повітряному шляху між місцями відбору сигналу по перепаду тисків, м;

w_{BH} - швидкість повітря при номінальному навантаженні котла, м/с:

$$w_{BH} = V_H / F$$

					Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	31

F - площа прохідного перетину повітрянагрівача по повітрю, м².

Динамічні властивості тракту котла від місця виміру витрат повітря до місця виміру вмісту кисню O₂ в димових газах також можуть бути представлені передавальною функцією послідовного з'єднання аперіодичної ланки першого порядку і лінійної ланки з запізненням

$$W_{ov}(p) = W_3(p)W_4(p) \quad (3.8)$$

$$W_3(p) = \frac{K_{ov}}{T_{ov}p + 1} \quad (3.9)$$

$$W_4 = e^{-\tau p} \quad (3.10)$$

$$K_{ov} = \frac{O_{2H}}{V_H} = \frac{21(\alpha_H - 1)\Phi_r}{\alpha_H V_H} \quad (3.11)$$

$$T_{ov} = \frac{O_{2H}\Phi_r}{21V_H} = \frac{(\alpha_H - 1)\Phi_r}{\alpha_H V_H} \quad (3.12)$$

$$\tau_2 = \frac{L_B}{W_{BH}} = \frac{L_r}{W_{rH}} \quad (3.13)$$

α_H – коефіцієнт надлишку повітря при номінальному навантаженні котла;

Φ_r – газовий обсяг котла між серединою пальників і місцем відбору сигналу по O₂, м³;

L_B – довжина шляху повітря від напору вентилятора до пальників, м;

L_r – відстань між серединою пальників і місцем відбору сигналу по O₂, м;

W_{BH}, W_{rH} - середня швидкість повітря і димових газів при номінальному навантаженні котла, м/с.

						Арк
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		32

Для регулювання напору дуттьового вентилятора на барабанних котлах з регулюючим електроприводом вентилятора динамічні властивості тракту котла від керуючого впливу до напору дуттьового вентилятора з достатньою для інженерних розрахунків точністю визначаються функцією передачі аперіодичної ланки

$$W_{pu}(p) = \frac{K}{Tp + 1} \quad (3.14)$$

де

$$K = \frac{P_{\max}}{U_{\max}} \quad (3.15)$$

U_{\max} - максимальний керуючий вплив;

P_{\max} - напір дуттьового вентилятора при максимальній частоті обертання;

T - електромеханічна постійна часу.

3.2. Структурна схема повітряного тракту котлоагрегату

Структурна схема повітряного тракту котла складається з послідовно ввімкнених аперіодичних ланок першого порядку і ланок запізнення [9-11]. На рисунку 3.1 зображена структурна схема повітряного тракту котлоагрегату.

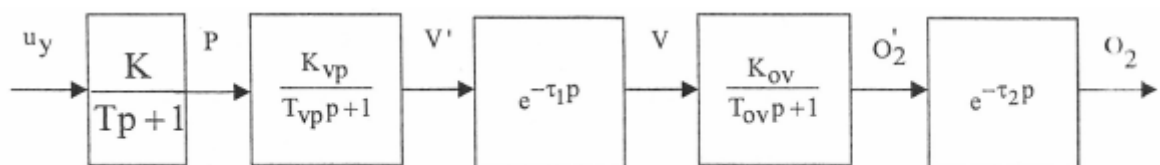


Рисунок 3.1. Структурна схема повітряного тракту котлоагрегату

3.3. Динамічні параметри повітряного тракту котла

Об'єкт управління витратами загального повітря котлоагрегату також як об'єкт управління тепловим навантаженням є нестационарним, підтвердженим дії параметричних і координатних збурень. У зв'язку з цим синтез алгоритмів керування витратою загального повітря здійснюється в результаті розв'язання задачі аналітичного конструювання регуляторів із застосуванням модифікованого принципу симетрії [16].

Структурна схема повітряного тракту котла складається з послідовно ввімкнених аперіодичних ланок першого порядку і ланок запізнення при сприятливому співвідношенні постійної часу і запізнювання. Для стабілізуючого регулятора повітря об'єм регулювання являється ланка повітряного тракту від входу дуттьового вентилятора до місця виміру витрат повітря, який має постійну часу $T_{vp} = 10...15c$ та $\tau_1 = 2...5 c$. Ланка повітряного тракту, яка входить до складу об'єкта регулювання коригуючого регулятора вмісту кисню в димових газах крім замкнутого контуру стабілізації витрати повітря, має постійну часу $T_{ov}=50...150c$ та запізненням $\tau_1=20...30 c$ [9-11].

3.4. Перетворена структурна схема повітряного тракту

Внаслідок того, що постійні часу цих ланок в 2,5...5 разів перевищують запізнення, лінійні ланки чистого запізнення з достатнім ступенем точності можуть бути замінені аперіодичними ланками першого порядку з постійними часу, рівними часу запізнення. Тоді структурна схема повітряного тракту прийме вигляд, зображений на рисунку 3.2.

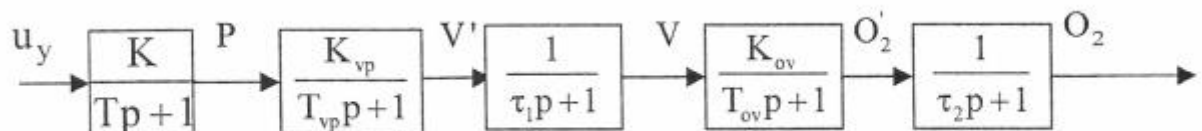


Рисунок 3.2. Перетворена структурна схема повітряного тракту

Тоді диференціальні рівняння, які описують об'єкт управління, можна записати наступним чином

$$\begin{aligned}
 pP &= -\frac{1}{T}P + \frac{K}{T}u_y \\
 pV' &= -\frac{1}{T_{vp}}V' + \frac{K_{vp}}{T_{vp}}P \\
 pV &= -\frac{1}{\tau_1}V + \frac{1}{\tau_1}V' \\
 pO_2' &= -\frac{1}{T_{ov}}O_2' + \frac{K_{ov}}{T_{ov}}V \\
 pO_2 &= -\frac{1}{\tau_1}O_2 + \frac{1}{\tau_1}O_2'
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

де $p = d/dt$ - оператор диференціювання.

3.5. Структурно-алгоритмічний синтез системи автоматичного керування витратами повітря

Для здійснення операції структурно-алгоритмічного синтезу САР витрат повітря рівняння (3.16) напишемо в безмірній формі, прийнявши в якості базових номінальні значення відповідних змінних і максимально можливе значення керуючого впливу [16],

$$\begin{aligned}
 py_1 &= b_{11}y_1 + b_{12}y_2 \\
 py_2 &= b_{22}y_2 + b_{23}y_3 \\
 py_3 &= b_{33}y_3 + b_{34}y_4 \\
 py_4 &= b_{44}y_4 + b_{45}y_5 \\
 py_5 &= b_{55}y_5 + m_5u
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

де $y_1 = O_2/O_{2H}$; $y_2 = O_2'/O_{2H}$; $y_3 = V/V_H$; $y_4 = V'/V_H$; $y_5 = P/P_H$; $u = u_y/u_{y\max}$,
 $b_{55} = -\frac{1}{T}$; $m_5 = \frac{1}{T}$;

$$b_{11} = -\frac{1}{\tau_2}; \quad b_{12} = \frac{1}{\tau_2}; \quad b_{22} = -\frac{1}{T_{ov}}; \quad b_{23} = \frac{1}{T_{ov}};$$

$$b_{33} = -\frac{1}{\tau_1}; b_{34} = \frac{1}{\tau_1}; b_{44} = -\frac{1}{T_{vp}}; b_{45} = \frac{1}{T_{vp}}; \quad (3.18)$$

Серед усіх траєкторій руху системи (3.17) виділимо бажаний або збурений рух $y^* = (y_1^*, \dots, y_n^*)$, який здійснюється під дією програмного управління u^* . Цей рух є рішенням системи рівнянь збуреного руху

$$\begin{aligned} p y_1^* &= b_{11} y_1^* + b_{12} y_2^* \\ p y_2^* &= b_{22} y_2^* + b_{23} y_3^* \\ p y_3^* &= b_{33} y_3^* + b_{34} y_4^* \\ p y_4^* &= b_{44} y_4^* + b_{45} y_5^* \\ p y_5^* &= b_{55} y_5^* + m_5 u^* \end{aligned} \quad (3.19)$$

При синтезі оптимального керування слід розглядати тільки такі бажані траєкторії руху, які можуть бути фізично реалізуємі. Рух об'єкта управління фізично реалізуєміми траєкторіями буде стійкий, а фізично неможливим рухам відповідають нестійкі рішення.

Дійсний рух системи (3.17) завжди відрізняється від бажаного (3.19) в результаті неточного значення початкових умов функціонування ОУ, неточної інформації про зовнішні збурення, які діють на систему, не чіткої реалізації бажаного управління, нестабільності параметрів об'єкта управління.

Відхилення реального руху ОУ від бажаної траєкторії характеризуються координатами збуреного руху

$$\eta_i(t) = y_i(t) - y_i^*(t), i = 1, \dots, n; \quad (3.20)$$

$$U(t) = u(t) - u^*(t) \quad (3.21)$$

Виділивши з системи (2.17) систему (2.19) і зробивши заміну змінних (2.20) та (2.21), отримаємо систему рівнянь збуреного руху

$$\begin{aligned} p \eta_1 &= b_{11} \eta_1 + b_{12} \eta_2; \\ p \eta_2 &= b_{22} \eta_2 + b_{23} \eta_3; \\ p \eta_3 &= b_{33} \eta_3 + b_{34} \eta_4; \\ p \eta_4 &= b_{44} \eta_4 + b_{45} \eta_5; \\ p \eta_5 &= b_{55} \eta_5 + m_5 U. \end{aligned} \quad (3.22)$$

						Арк.А
Зм.Зм	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата		

Синтез САР витрат повітря виконуємо шляхом послідовної оптимізації контурів регулювання [9,11] від внутрішнього до зовнішнього по мінімуму інтегральних квадратичних функціоналів. Стан повітряного тракту котлоагрегату характеризується трьома основними доступними для безпосереднього виміру змінними стану: напором дуттьових вентиляторів P , витратами повітря V , вмісту кисню в димових газах O_2 . Синтезуємо регулятори цих змінних [12-17].

Збурений рух об'єкту управління в контурі регулювання напору описується останнім диференціальним рівнянням системи (3.22)

$$p\eta_5 = b_{44}\eta_4 + m_5U \quad (3.23)$$

Не складно переконатися, що керуючий вплив регулятора напору

$$U_5 = -(g_5 / m_5)\eta_5 \quad (3.24)$$

мінімізує на траєкторіях руху системи функціонал якості

$$I_5 = \int_0^{\infty} g_5 \left(\eta_5^2 + \frac{m_5^2}{g_5} U_5^2 \right) dt = \int_0^{\infty} (\eta_5^2 + c_5 U_5^2) dt \quad (3.25)$$

Таким чином оптимальним є П- регулятор напору.

Тоді об'єкт управління для стабілізуючого регулятора витрат повітря буде представляти собою послідовно увімкнені замкнутий контур, складений із об'єкта (3.23) і регулятора (3.24), і ділянка повітряного тракту від напору дуттьового вентилятора до міста виміру витрат повітря. Збурений рух такого об'єкта описується трьома останніми рівняннями системи (3.22) після підстановки в них управління (3.24):

$$\begin{aligned} p\eta_3 &= b_{33}\eta_3 + b_{34}\eta_4; \\ p\eta_4 &= b_{44}\eta_4 + b_{45}\eta_5; \end{aligned} \quad (3.26)$$

$$p\eta_5 = b_{55}\eta_5 + m_3U_3$$

Де $m_3 = 1$.

При наявності обмеження керуючий вплив стабілізуючого регулятора витрати повітря, мінімізуючи на траєкторіях збуреного руху (3.26) інтегральний функціонал

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	37

$$I_3 = \int_0^{\infty} g_3 \left[\left(\frac{v'_{05}}{p} \eta_3 + v_{35} \eta_3 + v_{45} \eta_4 + v_{55} \eta_5 \right)^2 + \frac{m_5^2}{g_3} U^2 \right] dt, \quad (3.27)$$

має наступний вигляд

$$U_3 = -sat \left[g_3 \left(\frac{v'_{05}}{p} \eta_3 + v_{35} \eta_3 + v_{45} \eta_4 + v_{55} \eta_5 \right) \right]. \quad (3.28)$$

Ваговими коефіцієнтами функціонала якості (3.27) і керуючого впливу (3.28) є коефіцієнти функції Ляпунова

$$V(\eta) = v'_{00} \eta_0^2 + 2v'_{03} \eta_0 \eta_3 + 2v'_{04} \eta_0 \eta_4 + 2v'_{05} \eta_0 \eta_5 + v_{33} \eta_3^2 + 2v_{34} \eta_3 \eta_4 + 2v_{35} \eta_3 \eta_5 + v_{44} \eta_4^2 + 2v_{45} \eta_4 \eta_5 + v_{55} \eta_5^2, \quad (3.29)$$

$$\text{Де } \eta_0 = \frac{1}{p} \eta_3$$

У відповідності до [16,17] коефіцієнти (3.29) визначаються наступними залежностями

$$\begin{aligned} v'_{05} &= -b_{33} b_{44} b_{55}; & v_{35} &= -b_{44} g_5; \\ v_{45} &= -b_{33} g_5; & v_{55} &= b_{33} b_{44} \end{aligned} \quad (3.30)$$

Підставивши коефіцієнти (3.30) в рівняння (3.28) отримаємо керуючий вплив стабілізуючого регулятора витрат повітря у вигляді

$$U_3 = -sat \left[g_3 \left(\frac{b_{33} b_{44} b_{55}}{p} \eta_3 - b_{44} g_5 \eta_3 - b_{33} g_5 \eta_4 + b_{33} b_{44} \eta_5 \right) \right] \quad (3.31)$$

Підставив у (3.31) значення коефіцієнтів (3.18), остаточно представимо синтезоване керування наступним чином

$$U_3 = -sat \left[g_3 \frac{g_5}{T_{vp}} \left(\frac{m_5}{\tau_1} \frac{\eta_3}{p} + \eta_3 + \frac{T_{vp}}{\tau_1} \eta_4 + \frac{1}{\tau_1 g_5} \eta_5 \right) \right]. \quad (3.32)$$

При синтезі регулятора вільного кисню об'єктом керування є замкнута система управління витратами повітря з керуючим впливом (2.32) і тракт котла від місця виміру витрат повітря до місця виміру кисню. Диференціальні рівняння такого об'єкту керування отримаємо шляхом підстановки в систему (3.22) керувань (3.24) та (3.32), виразивши попередньо інтегральну складову

$$\frac{1}{p} \eta_2 \quad \text{через } \eta_2$$

					Арк.
Зм.	Днк	№ докум.	Підпис	Дата	38

$$\begin{aligned}
p\eta_1 &= b_{11}\eta_1 + b_{12}\eta_2; \\
p\eta_2 &= b_{22}\eta_2 + b_{23}\eta_3; \\
p\eta_3 &= b_{33}\eta_3 + b_{34}\eta_4 \\
p\eta_4 &= b_{44}\eta_4 + b_{45}\eta_5; \\
p\eta_5 &= b_2\eta_2 + b_3\eta_3 + b_4\eta_4 + b_5\eta_5 + m_1U_1
\end{aligned} \tag{3.33}$$

де

$$b_5 = -m_5g_5 - \frac{g_3}{T_{vp}\tau_1}; \quad b_4 = -\frac{g_3g_5}{\tau_1}; \quad b_3 = -\frac{g_3g_5}{T_{vp}}; \quad b_2 = -g_3\frac{g_5m_5}{T_{vp}\tau_1} \tag{3.34}$$

$$m_3 = 1.$$

Задаємо якість керування інтегральним квадратичним функціоналом

$$I_1 = \int_0^{\infty} g_1 \left[\left(v_{05} \frac{\eta_1}{p} + v_{15}\eta_1 + v_{25}\eta_2 + v_{35}\eta_3 + v_{45}\eta_4 + v_{55}\eta_5 \right)^2 + \frac{m_5^2}{g_1} \right] dt \tag{3.35}$$

і знайдемо керуючий вплив регулятора витрат вільного кисню у вигляді

$$U_1 = -sat \left[g_1 \left(\frac{v_{05}}{p} + v_{15} \right) \eta_1 + v_{25}\eta_2 + v_{35}\eta_3 + v_{45}\eta_4 + v_{55}\eta_5 \right] \tag{3.36}$$

де v_{i1} – коефіцієнт функції Ляпунова, які підпорядковуються

залежностям

$$\begin{aligned}
v_{05} &= -b_{11}(b_{22}b_{33}b_{44}b_5 - b_{22}b_{33}b_{45}b_4 + b_{22}b_3b_{34}b_{45} - b_2b_{23}b_{34}b_{45}) \\
v_{15} &= b_{22}b_{33}b_{44}b_5 - b_{22}b_{33}b_{45}b_4 + b_{22}b_3b_{34}b_{45} - b_2b_{23}b_{34}b_{45} \\
v_{25} &= -b_{12}(b_{33}b_{44}b_5 - b_{33}b_{45}b_4 + b_3b_{34}b_{45}) \\
v_{35} &= b_{12}b_{23}(b_{44}b_5 - b_{45}b_4) \\
v_{45} &= -b_{12}b_{23}b_{34}b_5.
\end{aligned} \tag{3.37}$$

Підстановка коефіцієнтів (3.37) і залежностей (3.18) і (3.20) в алгоритм (3.36) і введення наступних позначень

$$\begin{aligned}
A_1 &= \tau_2 O_{2H}; \quad A_2 = \frac{1}{O_{2H}}; \\
A_3 &= \frac{T_{ov}(g_5T_{vp}\tau_1 + g_3T_{up} + g_3g_5T_{vp}T_{up} + g_3g_5T_{up}\tau_1)}{\tau_2(g_5T_{vp}\tau_1 + g_3T_{up} + g_3g_5T_{vp}T_{up} + g_3g_5)} \cdot \frac{1}{O_{2H}};
\end{aligned}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$A_4 = \frac{\tau_1 (g_5 T_{vp} \tau_1 + g_3 T_{up} + g_3 g_5 T_{vp} T_{up})}{\tau_2 (g_5 T_{vp} \tau_1 + g_3 T_{up} + g_3 g_5 T_{vp} T_{up} + g_3 g_5)} \cdot \frac{1}{V_H}; \quad (3.38)$$

$$A_5 = \frac{T_{vp} (g_5 T_{vp} \tau_1 + g_3 T_{up})}{\tau_2 (g_5 T_{vp} \tau_1 + g_3 T_{up} + g_3 g_5 T_{vp} T_{up} + g_3 g_5)} \cdot \frac{1}{V};$$

$$A_6 = \frac{T_{vp} \tau_1}{\tau (g_5 T_{vp} \tau_1 + g_3 T_{up} + g_3 g_5 T_{vp} T_{up} + g_3 g_5)} \cdot \frac{1}{P_H};$$

$$A_7 = A_2 + \frac{A_3 + A_4 + A_5 + A_6}{A_2}$$

дозволяє представити синтезоване управління у вигляді

$$u_y = u_{y \max} \text{sat} \left[\frac{A_1}{p} (O_2^* - O_2) + A_7 \cdot O_2^* - A_2 \cdot O_2 - A_3 \cdot O_2' - A_4 \cdot V - A_5 \cdot V' - A_6 P \right]. \quad (3.39)$$

Виконавши необхідні структурні перетворення, остаточно представимо алгоритм (2.39) наступним чином

$$u_y = u_{y \max} \text{sat} \left[\left(\frac{1}{A_1 p} + A_2 + \frac{A_3 p}{p+1} \right) (O_2^* - O_2) + A_7 \cdot O_2^* - \left(A_4 + \frac{A_8}{T_{ov} p + 1} \right) V - \left(A_6 + \frac{A_9}{T_{vp} p + 1} \right) \cdot P \right], \quad (3.40)$$

$$\text{де } A_8 = K_{ov} A_3; \quad A_9 = K_{vp} A_5. \quad (3.41)$$

Структурна схема регулятора, яка реалізує алгоритм (3.40) приведена на рисунку 3.3.

При необхідності покращити статичні і динамічні показники роботи САР загального повітря, алгоритм (3.40) може бути доповнений інформацією про загальний збурений рух – витрати палива. В цьому випадку оптимальне керування приймає вигляд

$$u_y = u_{y \max} \text{sat} \left[\left(\frac{1}{A_1 p} + A_2 + \frac{A_3 p}{p+1} \right) (O_2^* - O_2) + A_7 \cdot O_2^* - \left(A_4 + \frac{A_8}{T_{ov} p + 1} \right) V - \left(A_6 + \frac{A_9}{T_{vp} p + 1} \right) \cdot P - B_1 f_B \right] \quad (3.42) \text{Де}$$

B_1 – коефіцієнт підсилення каналу зворотного зв'язку по витраті палива.

Структурна схема, яка реалізує алгоритм (3.42), показана на рисунку 3.4.

					Арк.
					40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Для покращення точності системи при вимірі коефіцієнта посилення алгоритму (3.42) доповнений підсистемою адаптації, з урахуванням якої він остаточно приймає наступний вигляд

$$u_y = u_{y, \max} \operatorname{sat} \left[\left(\frac{1}{A_1 p} + A_2 + \frac{A_3 p}{p+1} \right) (O_2^* - O_2) + A_7 O_2^* - (A_4 + A_6 p) - \operatorname{sat} \left\langle \left(\frac{A_8}{T_{ov} p + 1} V + \frac{A_9}{T_{vp} p + 1} P \right) \left(\frac{O_2}{\hat{O}_2} \right) \right\rangle - B_1 f_B \right], \quad (3.43)$$

де \hat{O}_2 – значення витрати кисню, обчислене за допомогою еталонної моделі, збурений рух якої описується системою диференціальних рівнянь (3.33)

Структурна схема регулятора кисню, яка реалізує алгоритм (3.43) приведена на рисунку 3.5.

При великих коефіцієнтах підсилення система регулювання витрат загального повітря має низьку чутливість до координатних і параметричних збурень і дозволяє компенсувати помилки і неточності визначення вагових коефіцієнтів і миттєвих значень змінних стану об'єкта управління.

Правильність обчислень здійснюється на підставі аналізу значень коефіцієнтів (3.37) - всі коефіцієнти повинні бути більше нуля, коефіцієнти $v_{15} - v_{45}$ мають розмірність c^{-4} , коефіцієнт $v_{05} - c^{-5}$.

В якості впливу, який задається, в алгоритмах (3.40), (3.42) і (3.43) служить сигнал з виходу схеми оптимізації витрат повітря, показаної на рисунку 3.6.

При формуванні керуючих впливів (3.40) та (3.42) можна виділити 3 етапи:

1. Визначення змінних стану, обчислення відхилень
2. Обчислення лінійних комбінацій
3. Визначення управління

Перераховані етапи виконують у приведеній послідовності, кожний наступний етап повинен починатися по завершенню попереднього.

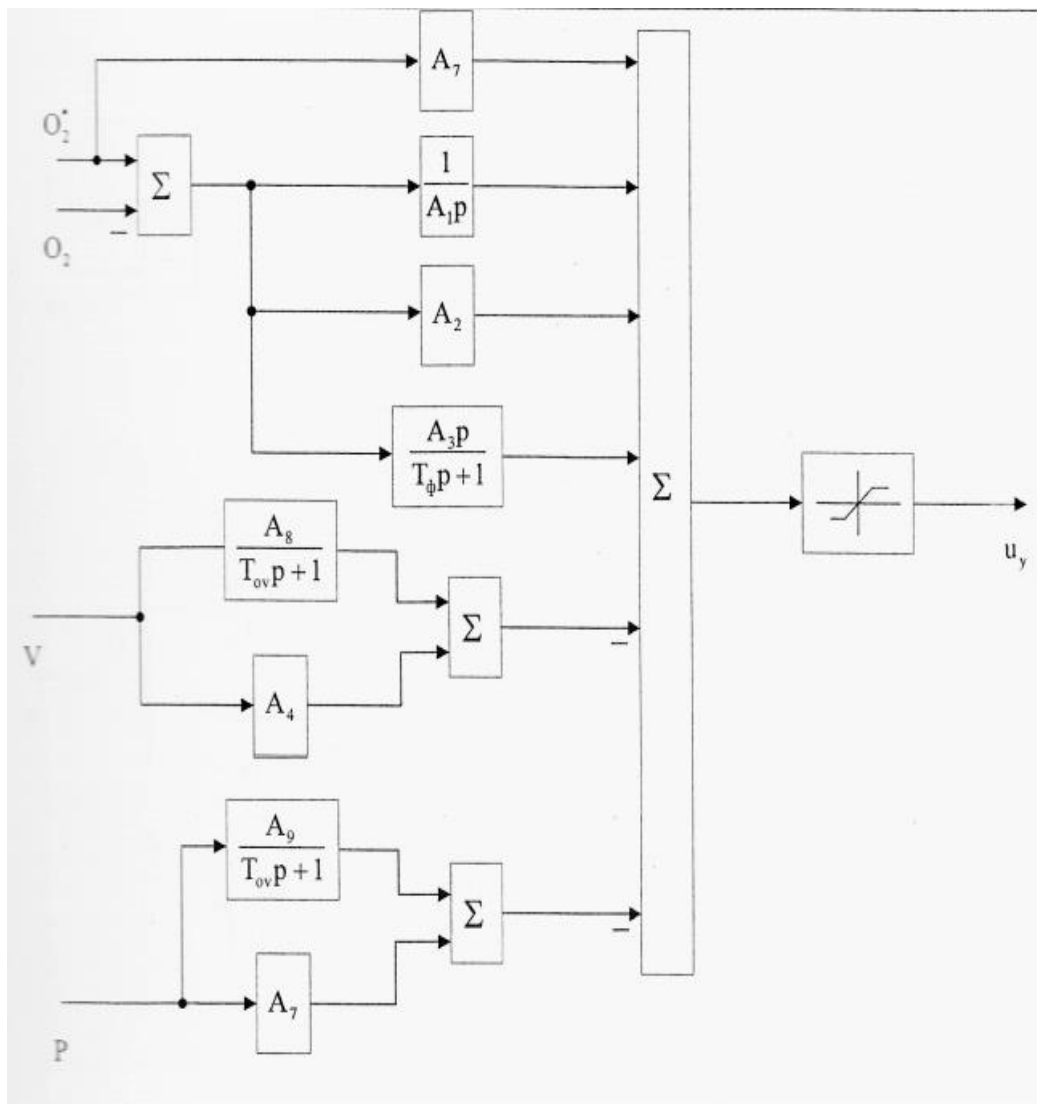


Рисунок 3.3 Структурна схема регулятора , який реалізує алгоритм (3.40)

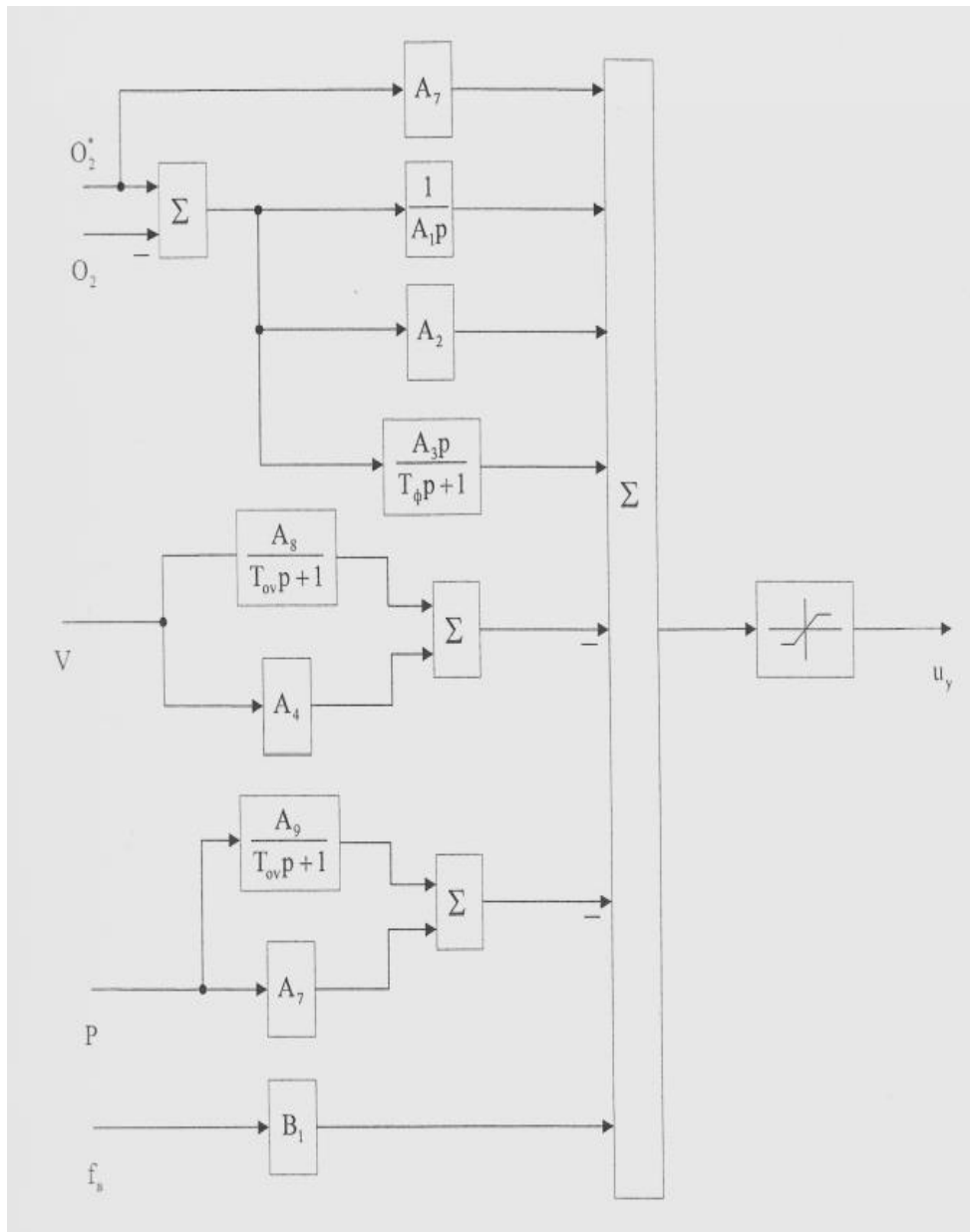


Рисунок 3.4 Структурна схема регулятора, який реалізує алгоритм (3.42)

Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дат

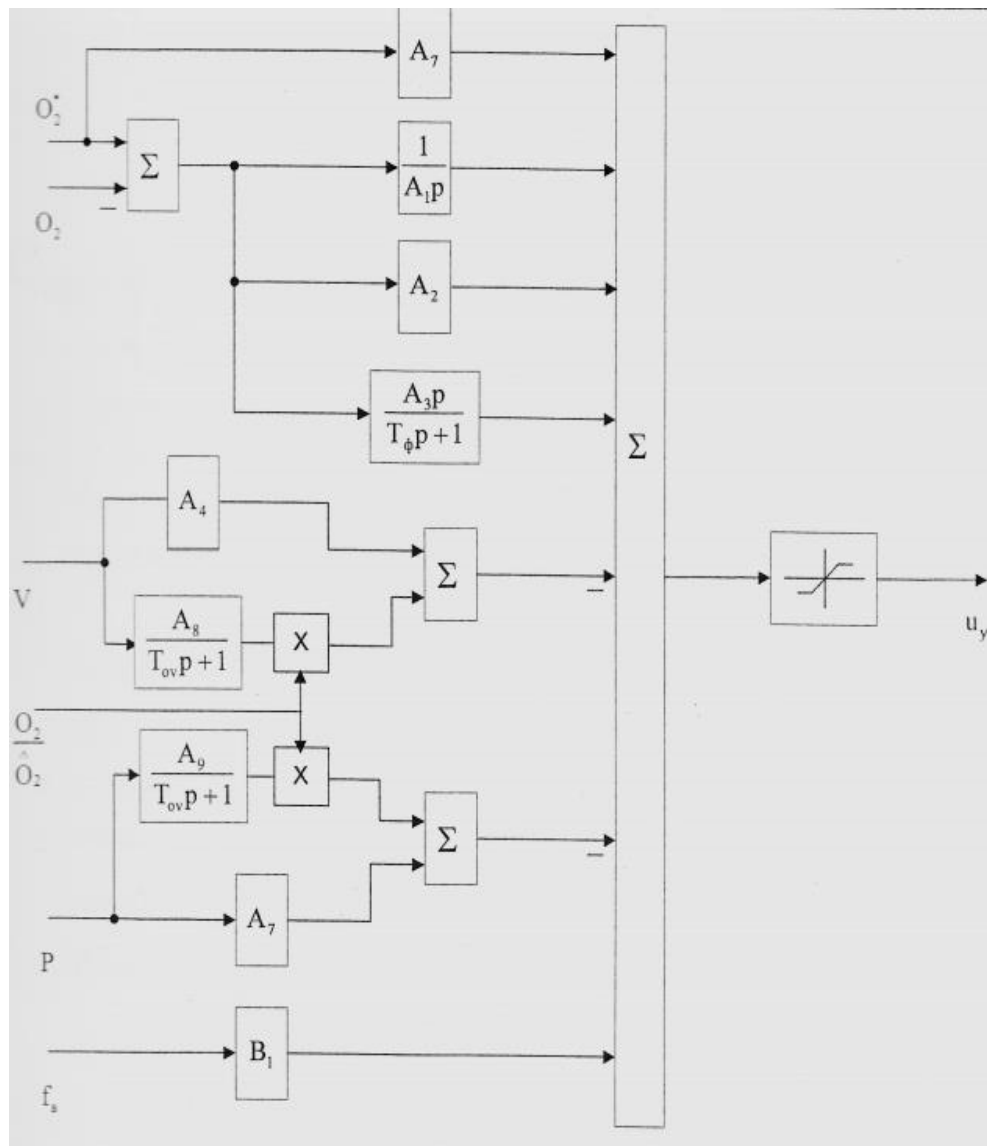


Рисунок 3.5 Структурна схема регулятора кисню, який реалізує алгоритм (3.43)

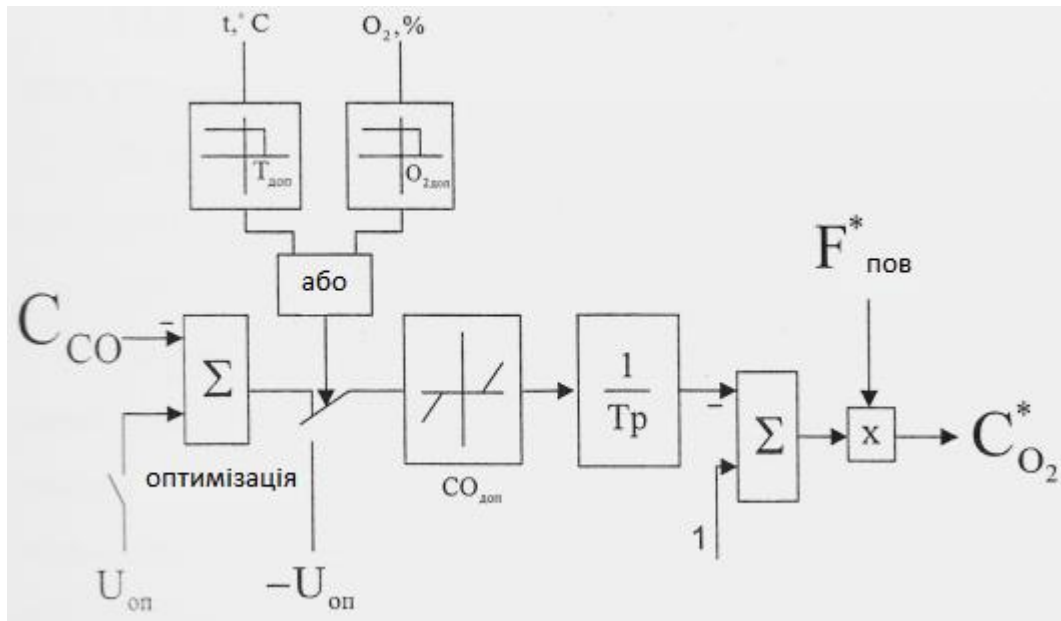


Рисунок 3.6 Схема оптимізації витрат повітря

3.6. Дослідження динаміки

На рисунку 3.7 показана схема набору математичної моделі системи оптимального управління надлишковим киснем, яка реалізує алгоритми (3.25), (3.32), (3.43).

На рисунку 3.8 показана схема набору математичної моделі класичної систем управління витратами загального повітря, яка реалізує ПІД - закони управління.

На рисунку 3.9 показані перехідні процеси в оптимальній системі управління (криві 1) при номінальних параметрах об'єкту управління, збільшення коефіцієнту підсилення K_{ov} та постійної часу T_{ov} в 2,33 рази у порівнянні з номінальними (рисунок 3.10) і зменшення цих же параметрів до значень 0,21 від номінальних (рисунок 3.11). Для порівняння на цих же рисунках показані результати математичного моделювання системи управління, структура якої показана на рисунок 3.7 (криві 2) при тих же значеннях параметрів.

Як впливає з аналізу перехідних процесів, оптимальна система управління має менше перегулюванням і низьку чутливість до зміни параметрів

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	45

об'єкта управління, що дозволяє їй на відміну від класичної системи з ПД-законами управління забезпечити підвищену якість управління при варіаціях параметрів об'єкта управління.

						Арк
						46
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

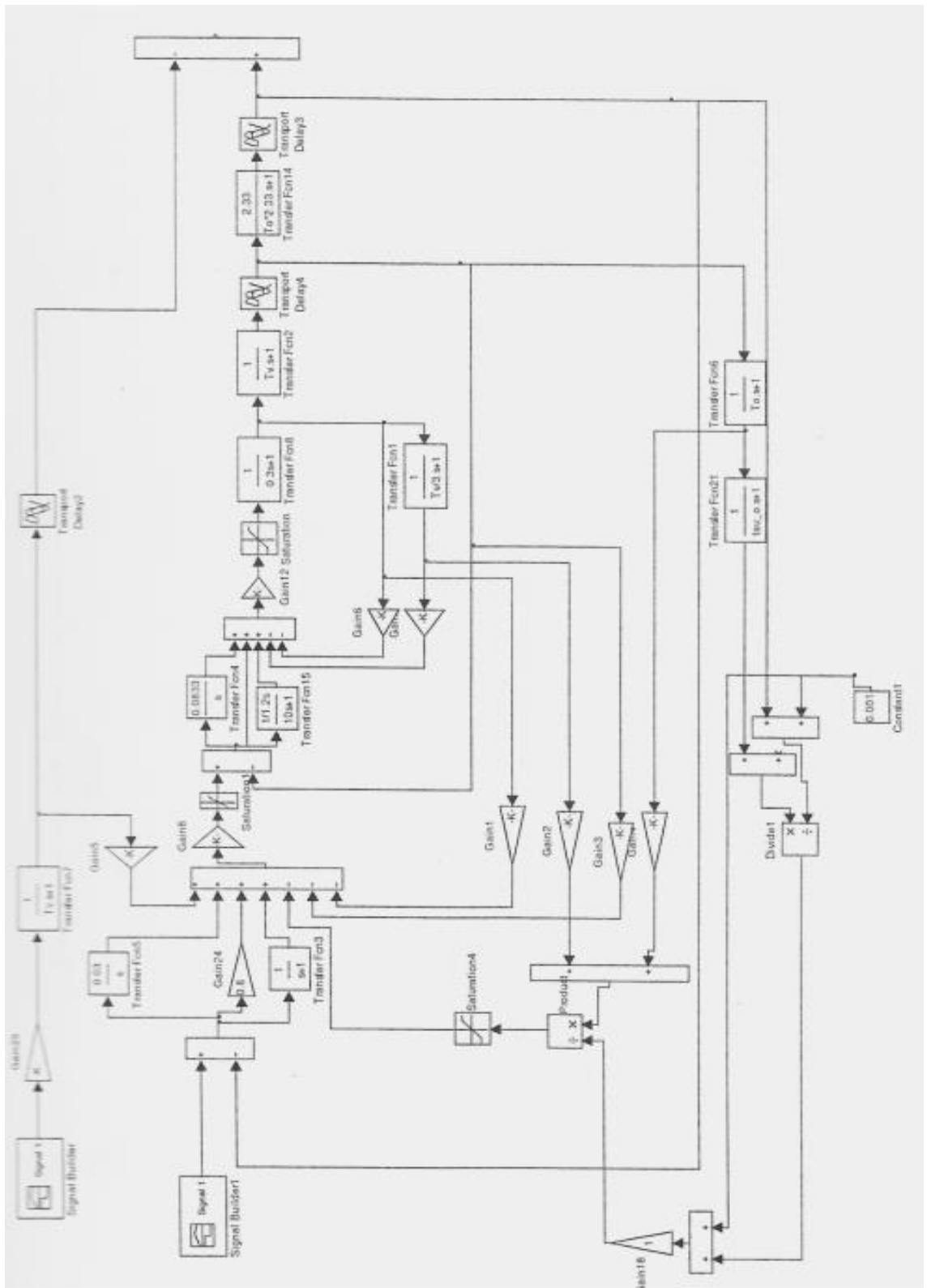


Рисунок 3.7. Схема набору математичної моделі оптимальної САР кисню, яка реалізує керування (3.25), (3.32), (3.43)

Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дат

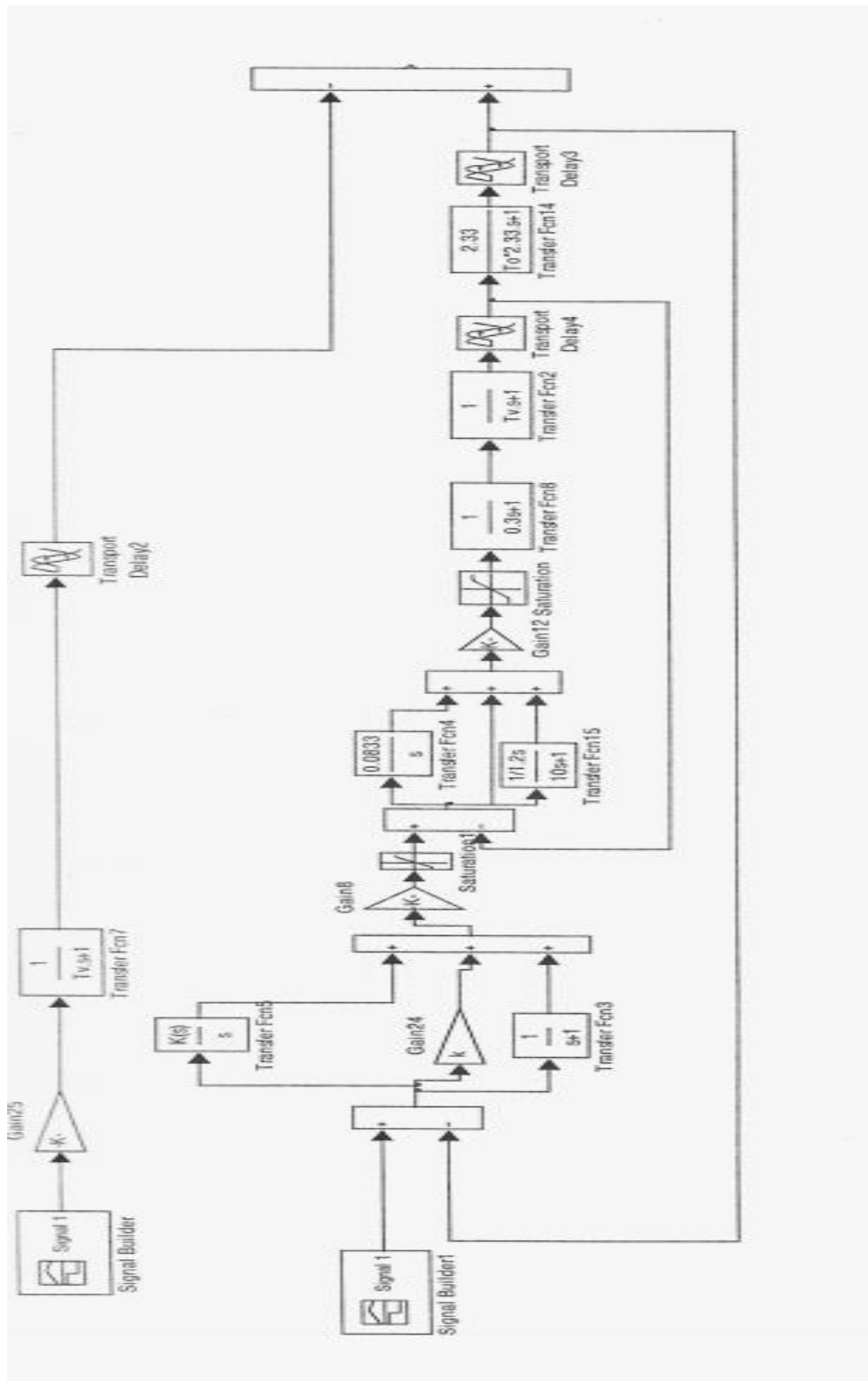


Рисунок 3.8 Структурна схема САР загального повітря з ПД регуляторами загального повітря і вільного кисню.

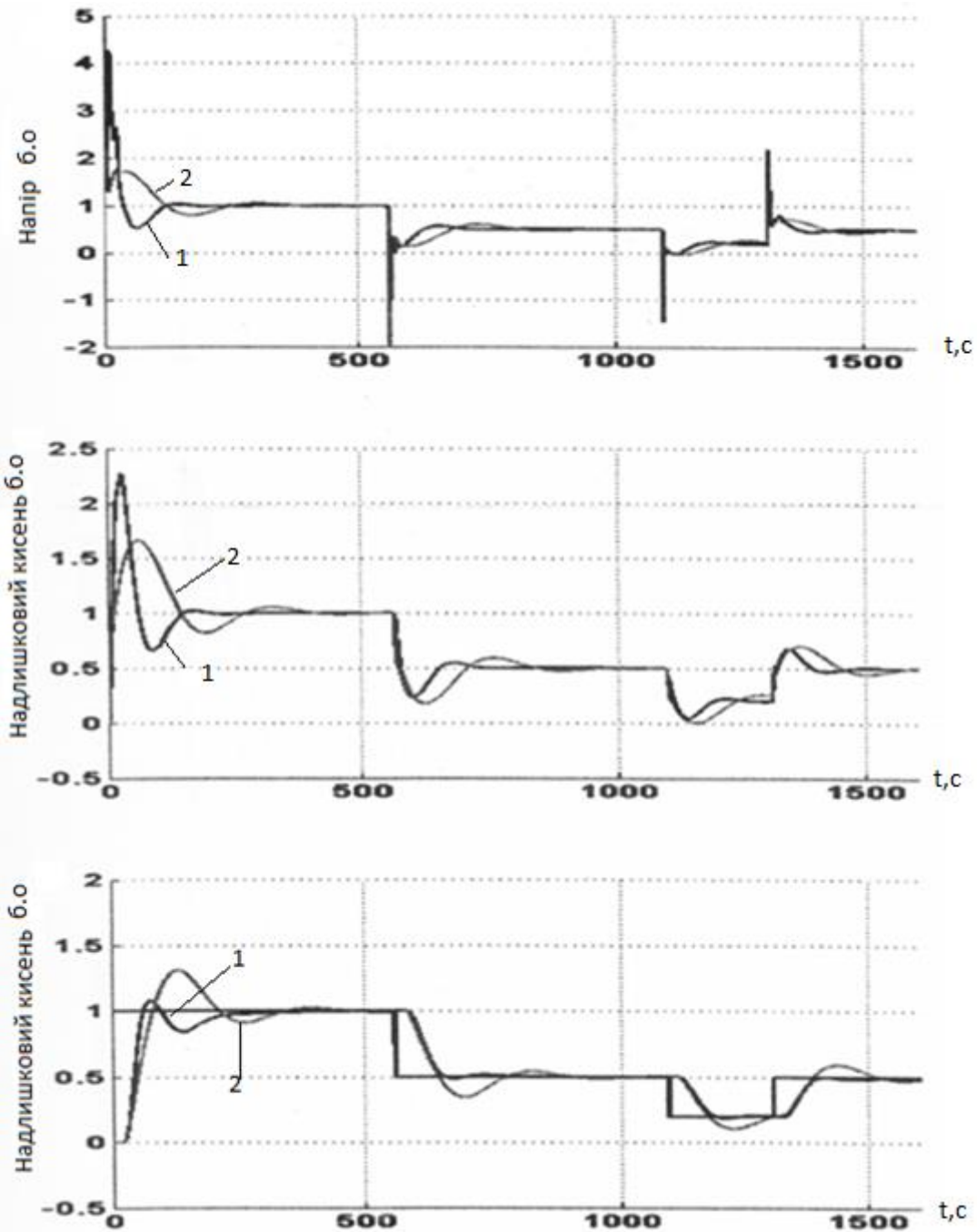


Рисунок 3.9 Перехідні процеси в оптимальній і класичній системах регулювання кисню при номінальних значеннях параметрів

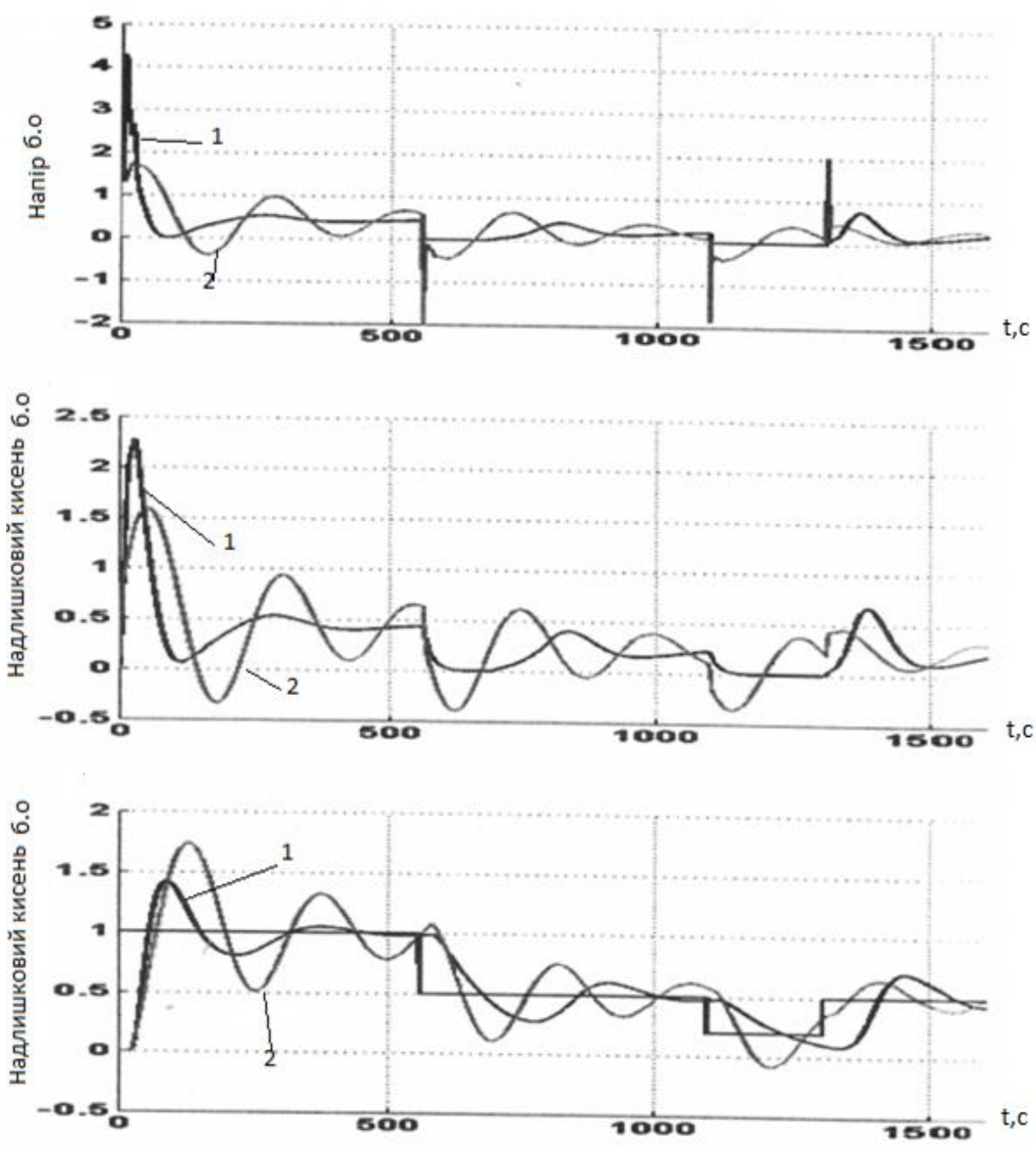


Рисунок 3.10. Перехідні процеси в оптимальній і класичній системах регулювання кисню при $T_{ov}=2.33T_{ovном}$, $K_{ov}=2.33T_{ovном}$

Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дат

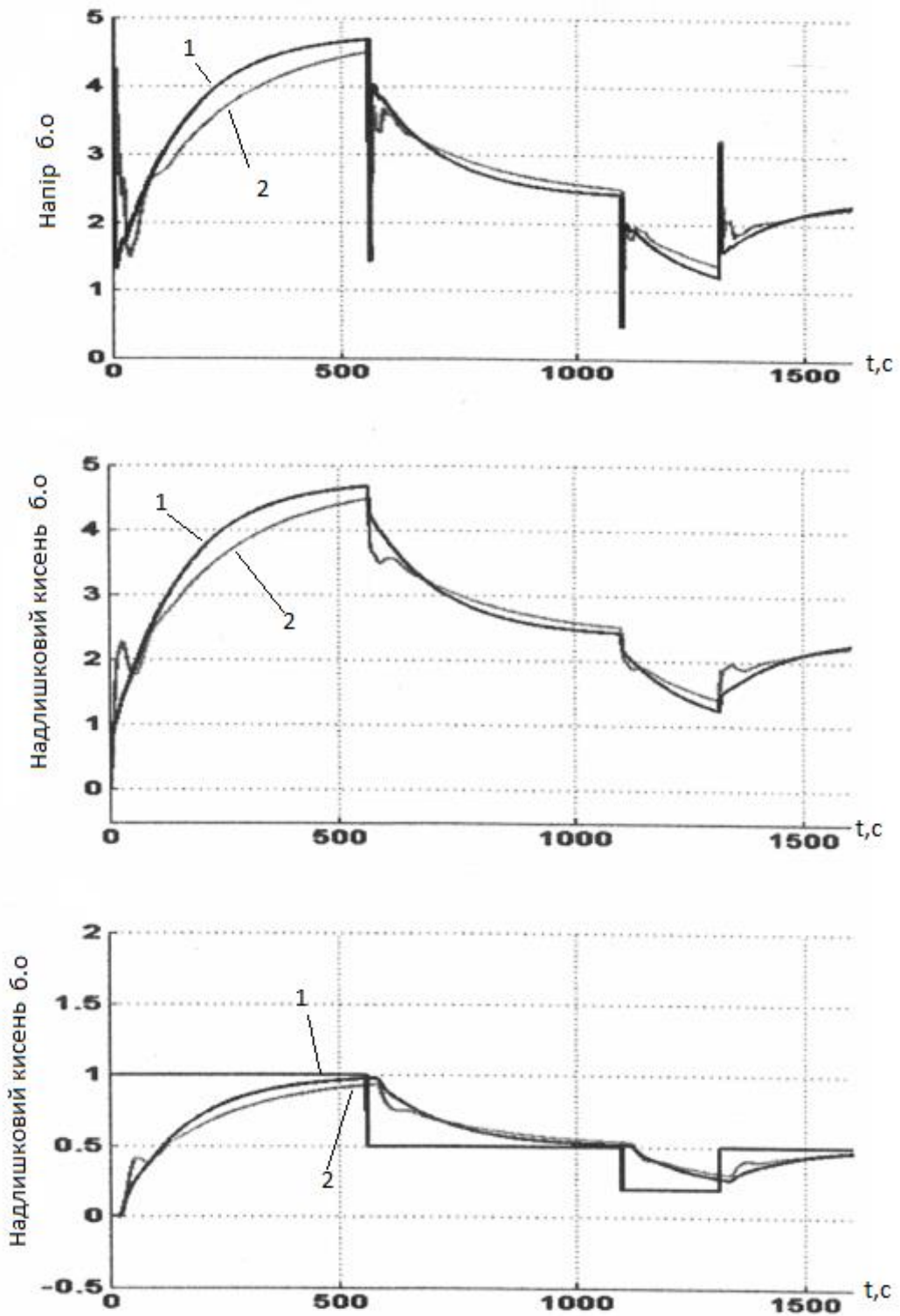


Рисунок 3.11. Перехідні процеси в оптимальній і класичній системах регулювання кисню при $T_{ov}=0,21T_{ovном}$, $K_{ov}=0,21T_{ovном}$

4. Техніко - економічне обґрунтування

Удосконалення технологій виробництва з метою підвищення якості продукції, економії витрачених коштів, впровадження нових ідей і відповідно поява нових видів продукції з новими якостями все це в умовах вільної конкуренції на ринку вимагає від товаровиробника удосконалювати і впроваджувати нове технологічне обладнання. Економічний ефект від впровадження засобів автоматизації є непрямим, так як впроваджені засоби автоматизації не є прямим джерелом доходу, а є допоміжним засобом організації отримання прибутку, або допомагають мінімізувати затрати. В даному розділі розглянуті пункти: -Конкурентні аналіз (оцінка науково-технічного рівня проекту, оцінка технічного рівня, оцінка наукового рівня , потенційні споживачі результатів дослідження); - планування комплексу робіт на створення проекту; -складання бюджету проекту (розрахунок витрат договірної ціни проекту, капітальні вкладений ня для розробки і впровадження, розрахунок витрат при експлуатації, витрати на ремонтно-експлуатаційне обслуговування); - економічна ефективність (термін окупності, чистий поточний дисконтований дохід, коефіцієнт рентабельності).

4.1 Розрахунок капітальних витрат

Для визначення капітальних витрат можна скористатися формулою

$$K_{np} = K_{об} (\sum Ci) + Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{пр} \text{ грн.}$$

де $K_{об} (\sum Ci)$ - вартість придбання електроустаткування (електричний двигун та перетворювач), необхідного для реалізації прийнятого технічного рішення.

$Z_{тзс}$ - транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{м}$ - витрати на монтажні витрати;

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	52

Z_n - витрати на налагоджувальні витрати;

Z_{np} - інші одноразові вкладення грошових коштів.

Свідка капітальних витрат занесена до таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Зведення капітальних витрат

№п/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн.
1	Тип двигуна: 4АНК250М4 $P_n = 110$ кВт	1	61800	61800
2	Перетворювач частоти Altivar	1	86600	86600
	ВСЬОГО	148400		

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат (Z_{mzc})

визначається виходячи з:

1. Відстані доставки устаткування від місця придбання до місця експлуатації;
2. Кількості, маси і габаритів устаткування;
3. Виду транспортних засобів;
4. Транспортних тарифів;
5. Розцінок на навантажувально -розвантажувальні роботи;
6. Витрат на складську обробку.

Витрати на монтажні (Z_m) і налагоджувальні роботи (Z_n) можна

визначити таким чином:

$$Z_m = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{cm} \cdot K_{np} = 3 \cdot 63 \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 1,375 \cdot 1,1 + 1500 = 4244,28 \text{ грн.}$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	53

$$Z_n = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_\delta \cdot K_{cm} \cdot K_{np} = 2 \cdot 63 \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 1,375 \cdot 1,1 + 1500 = 3329,52 \text{ грн.}$$

де C_i - чисельність працівників i -го розряду, необхідних для виконання певного об'єму монтажних (налагоджувальних) робіт, чол.

a_i - часова тарифна ставка 4-го розряду.

t_i - час, необхідний для виконання певного об'єму монтажних (налагоджувальних) робіт, години

K_δ - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{сз}$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

K_i - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Інші одноразові вкладення грошових коштів (Z_{np}) можуть включати витрати:

1. На демонтаж застарілого устаткування;
2. На проведення проектно-конструкторських робіт;
3. На підготовку персоналу;
4. На придбання готового програмного забезпечення.

Капітальні витрати:

$$K_{np} = 148400 + 5503 + 3501 = 157404 \text{ грн.}$$

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію і обслуговування об'єкту проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню відносяться:

1. Амортизаційні відрахування (Ca);
2. Заробітна плата обслуговуючого персоналу (Cз);

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3. Відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (C_c);
4. Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування (C_t);
5. Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування (C_e);
6. Інші експлуатаційні витрати (C_i).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_e + C_{np}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться по проектному і базовому варіанту паралельно.

4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат по видах основних фондів і нематеріальних активів по розділах зведення капітальних витрат для проектного варіанту і за даними підприємства про балансову вартість замінюваного устаткування для базового варіанту. Дані розрахунку занесені до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування показників	Капітальні витрати, грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
Проектний варіант	148400	20	29680
Базовий варіант	157404	20	31480

4.2.2. Розрахунок річного фонду заробітної плати.

Розрахунок річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу по проектному варіанту надано в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 Річний фонд заробітної плати

№ п/п	Найменування професій працівників	Явочний штат в змін,чол.	Годинна тарифна ставка, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, ч.	Разом, основна зарплата за тарифом, грн.
1.	Електромонтер з обслуговування електроустаткування електростанцій	1	48	1920	92160
3.	Електрослюсар з ремонту електричних машин	2	46	960	88320
	РАЗОМ		-	-	180480

Загальна величина річного фонду заробітної плати становить:

$$C_{з пр} = Z_{осн} + Z_{доп} = 180480 + 3984 = 184464, \text{ грн}$$

$$C_{з баз} = Z_{осн} + Z_{доп} = 276480 + 5904 = 282384, \text{ грн}$$

де $Z_{осн}$ - основна заробітна плата, грн;

$Z_{доп}$ - додаткова заробітна плата (5% від основної), грн.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Розрахунок річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу за базовим варіантом.

Таблиця 4.4 Річний фонд заробітної плати

№ п/п	Найменування професій працівників	Явочний штат в змінну, чол.	Годинна тарифна ставка, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, ч.	Разом, основна зарплата за тарифом, грн.
3.	Електрослюсар з ремонту електричних машин	3	48	1920	276480
	РАЗОМ		-	-	276480

4.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітником і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати по формулі:

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n R_i \cdot T_i \cdot m_i \cdot R_{\sum i} + \frac{s_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi}$$

де: n - число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	57

R_i - годинна ставка робочих, виконуючих ремонт, грн. (68,93 грн);
 t_i - трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту, год/од.: (середнього – 7 год)
 m_i - число ремонтів за рік;
 R_{Σ} - сумарна категорія складності ремонту залежно від виду електроустаткування :

Асинхронні двигуни від 30 до 150 кВт – 2,5;

S_i - вартість однотипних замінюваних елементів, грн.;

Π - кількість однотипних замінюваних елементів;

T - середній термін служби деталей цього типу, ч.;

T_f - число годин роботи апаратури в рік, ч.

$$Z_{m.p.} = 63 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 2,5 + \frac{213 \cdot 3}{1600} \cdot 1800 = 1821,37 \text{ грн.}$$

$$Z_{m.p.} = 68,93 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 2,5 + \frac{456 \cdot 3}{1000} \cdot 1800 = 3564,9 \text{ грн.}$$

4.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування впродовж року, визначається виходячи з його встановленої потужності і річного фонду робочого часу об'єкту проектування по формулі:

$$C_{e.пр} = W_p \cdot C_e = 57600 \cdot 2,02 = 116352 \text{ грн.}$$

$$C_{e.баз} = W_p \cdot C_e = 211200 \cdot 2,02 = 426220 \text{ грн.}$$

де: W_p - кількість спожитої за рік електроенергії, кВт·год.;

це - тариф на електроенергію, грн./кВт·год.

2,02 грн./кВт год - вартість електроенергії для підприємств станом на 01.12.2020;

						Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість спожитої за рік електроенергії, кВт-год розраховуємо по формулі:

$$W_{з.баз.} = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 20 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 110 = 211200 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_{з.пр.} = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 20 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 30 = 57600 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де: t_d - кількість робочих днів в місяць;

t_h - кількість робочих годин в зміну;

t_n - кількість місяців на рік;

P_n - потужність електродвигуна.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати у проектному варіанті:

$$C_{пр} = C_a + C_z + C_c + C_m + C_{\text{э}} + C_{пр} = 29680 + 1821,15 + 116352 + 8832,8 = 156685 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати у базовому варіанті:

$$C_{б} = C_a + C_z + C_c + C_m + C_{\text{э}} + C_{пр} = 31480 + 4489,47 + 426220 + 8832,8 = 471022,27 \text{ грн.}$$

Повна річна економія від впровадження варіанту визначається:

$$\text{Э} = \Delta\Pi + \Delta C = 12654 + 34325,8 = 53081,8 \text{ грн}$$

де: $\Delta\Pi$ - повний річний прибуток;

ΔC - економія (перевитрата) на експлуатаційних витратах, знаходиться за формулою.

$$\Delta C = C_{баз} - C_{пр} = 197108,66 - 145895,8 = 32212,8 \text{ грн.}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

4.6 Визначення і аналіз показників економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності що розглядаються в дипломному проекті технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення і аналізу наступних показників :

- а) Розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат E_p ;
- б) Терміну окупності капітальних витрат T_p ;

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат E_p показує, скільки гривень додаткового прибутку приносить одна гривна капітальних витрат :

$$E_p = \frac{\mathcal{E}}{K}$$

$$E_p = \frac{47081,8}{124340} = 0,37$$

де \mathcal{E} - загальна річна економія від впровадження об'єкту проектування, тисяч грн.;

K -капітальні витрати по варіанту, що викликали економію, тисяч грн.;

Термін окупності капітальних витрат T_p показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження варіанту :

$$T_p = \frac{K}{\mathcal{E}} = \frac{124340}{47081,8} = 2,3 \text{ роки}$$

Проект капітальних вкладень визнається доцільним за умови

$$E_p > E_k$$

Результати техніко-економічного обґрунтування ефективності впровадження результатів дипломного проекту наведено у таблиці 4.5

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таблиця 4.5 Порівняльна оцінка техніко-економічних показників

№	Найменування	Од. виміру	Базовий варіант	Проектний варіант
1	Капітальні витрати	грн.	426220	116352
2	Експлуатаційні витрати		471022	156685
3	Річна економія			
4	Розрахунковий коефіцієнт	од.		0,37
5	Термін окупності	років		2,3
6	Економія електроенергії	кВт×год	211220	57600

В даному розділі економічно обґрунтований вибір електроприводу з частотним регулюванням, був проведений розрахунок коефіцієнта, що вказує на високий потенціал даного проекту. Виконано планування проектних робіт, розрахунок витрат на проектування, розрахунок капітальних вкладень на реалізацію і розрахунок витрат при експлуатації даного електроприводу. Були розраховані витрати на ремонтно-експлуатаційне обслуговування електроприводів, тобто витрати на планово-попереджувальні роботи. Обраний електропривод є більш економічно вигідним так як має більш високі експлуатаційні показники. Це виражається у відсутності швидкозношуваних частин і більш сучасній елементній базі, що дозволяє проводити ремонт і обслуговування електропривода в рази швидше. Що безпосередньо впливає на можливість зниження експлуатаційних витрат. Варто відзначити економію електроенергії, яка досягається шляхом регулювання електроприводу, плавним пуском і можливістю регулювати частоту двигуна.

Загальні висновки

Для забезпечення якісного згоряння палива та економічної роботи котла коефіцієнт надлишку повітря повинен знаходитися в межах $\alpha = 1,05 \div 1,15$. Зниження коефіцієнта надлишку повітря призводить до неповноти згоряння палива, утворення сажистих відкладень на поверхнях нагріву і зниження ККД котла. Навпаки, збільшення коефіцієнта надлишку повітря призводить до додаткових втрат теплоти з димовими газами.

Оптимізувати процес спалювання палива можливо шляхом впровадження автоматизованого електропривода дуттьового вентилятора в складі системи оптимального керування витратами загального повітря, яка забезпечує мінімальне відхилення надлишкового кисню в димових газах котлоагрегата від заданого режимними картами в умовах зміни навантаження котла і його динамічних параметрів.

Виконаний в кваліфікаційній роботі проект модернізації системи керування подачею загального повітря з частотно керованим електроприводом дозволяє забезпечити максимальну енергетичну ефективність спалювання палива в котлоагрегаті в умовах дії параметричних і координатних збурень, що підтверджено результатами математичного моделювання.

Очікуваний термін окупності проекту складає 2,3 роки лише за рахунок економії витрат електроенергії, не враховуючи економію палива за рахунок підвищення коефіцієнта корисної дії котла.

					Арк
					62
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дат	

Перелік посилань

1. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Земляков С.Д., Адаптивное координатно – параметрическое управление нестационарными объектами. М.: Наука, 1980.- 244 с.
2. Срагович В.Г. Адаптивное управление. – М.: Наука, 1981. _ 384 с.
3. Земляков С.Д. Принципы построения и методы исследования адаптивных САУ. – М.: Наука, 1978. – 113 с.
4. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем автоматического управления. – Л.: Энергия, 1969. – 208 с.
5. Методы теории чувствительности в автоматическом управлении/Под ред. Е.Н. Розенвассера и Р.М. Юсупова. – Л.: Энергия, 1971. – 334 с.
6. Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов/ А.С. Ключев, А.Т. Лебедев, С.И. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с, ил
7. Ключев А.С., Товарнов А.Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. – М.: Энергия, 1970. – 280 с., ил.
8. Altivar 71 Плюс Руководство по выбору 90...2000 кВт.- [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.altivar.com.ua/>
9. Ремшин Б.И., Ямпольский Д.С. Проектирование и наладка систем подчиненного регулирования электроприводом. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.
10. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями/ О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С. Кузнецов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
11. Kessler C. Uber die Vorausberechnung optimal abgestimmter Regelkreise. – Regelungstechnik, 1954, №12, s. 274 – 281.
12. Кузовков Н.Т. Модельное управление и наблюдающие устройства. – М.: Наука, 1976. – 184 с

									Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					63

13. Летов А.М. Математическая теория процессов управления. – М.: Наука, 1981. – 256 с.

14. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Линейные модели. – М.: Наука, 1987. – 304 с.

15. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Нелинейные модели. – М.: Наука, 1987. – 304 с.

16. Садовой А.В., Сохина Ю.В. Синтез линейных систем оптимального управления на основе принципа симметрии. В сб.: Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Харьков: Основа, 1995. – с.44-48.

17. Системы оптимального управления прецизионными электроприводами/ А.В. Садовой, Б.В. Сухинин, Ю.В. Сохина. Под. Ред. А.В. Садового. – К.: ИСИМО, 1996. – 298 с., ил.

						Арк
						64
Зм.	Арк	№ докум.№	Підпис	Дата		