

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

На правах рукопису

Лещій Романа Михайлівна

УДК 681.5:678.743.22 (043)

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ
В ПРОЦЕСІ ЙОГО ВИРОБНИЦТВА**

05.11.13 - прилади і методи контролю та визначення складу речовин

**ДИСЕРТАЦІЯ НА ЗДОБУТТЯ НАУКОВОГО СТУПЕНЯ
КАНДИДАТА ТЕХНІЧНИХ НАУК**

*Науковий керівник-доктор
технічних наук, професор
Семенцов Георгій Никифорович*



Івано-Франківськ - 2005

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДНИХ СМОЛ ПВХ.....	13
1.1 Технологія виробництва ПВХ як об'єкта контролю, її особливості та показники якості ПВХ.....	13
1.2 Необхідність неперервного контролю якості ПВХ і шляхи його реалізації.....	21
1.3 Аналіз методів і засобів вимірювання споживаної потужності та крутного моменту на валі електродвигуна мішалки реактора полімеризації ПВХ.....	28
1.4 Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання реологічних характеристик ПВХ.....	34
1.5. Постановка задачі досліджень.....	37
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПВХ-Е.....	40
2.1. Узагальнена модель реактора полімеризації ПВХ-Е як об'єкта контролю..	40
2.2. Інформаційні показники процесу полімеризації ПВХ-Е.....	44
2.2.1. Статистичні характеристики флуктуації показників, що визначають якість процесу виробництва ПВХ-Е.....	45
2.2.2. Статистичні характеристики флуктуації активної потужності електроприводу мішалки реактора полімеризації ПВХ-Е.....	52
2.2.3. Оцінки кореляційних функцій параметрів технологічного процесу виробництва ПВХ-Е.....	54
2.2.4. Оцінка ефективності зв'язку константи К з параметрами технологічного процесу виробництва ПВХ-Е.....	57
2.3. Дослідження взаємозв'язку параметрів процесу виробництва ПВХ-Е зі споживаною потужністю на валі мішалки реактора полімеризації	60
2.4 Дослідження зв'язку споживаної потужності на валі мішалки реактора полімеризації ПВХ-Е з комплексним показником якості полівінілхлориду.....	65

2.5 Розробка методу контролю якості процесу виробництва ПВХ за споживаною потужністю на валі мішалки	74
2.6. Висновки з розділу 2	82
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ПВХ ЗА СПОЖИВАНОЮ ПОТУЖНІСТЮ НА ВАЛІ МІШАЛКИ РЕАКТОРА ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ПВХ.....	85
3.1. Розробка узагальненої структурної схеми системи контролю якості виробництва ПВХ.....	85
3.2. Розробка функціональної схеми вимірювача потужності на валі мішалки реактора полімеризації ПВХ.....	88
3.3. Дослідження динамічних властивостей вимірювального каналу та визначення інтервалу опитування датчиків при контролі якості виробництва ПВХ за споживаною потужністю на валі мішалки реактора.....	90
3.4. Визначення чутливості і точності методу контролю комплексного показника К.....	103
3.5. Фільтрація вимірювальних сигналів від завад та аналіз похибок контролю якості виробництва ПВХ-Е.....	109
3.6 Визначення вірогідності та оперативності контролю якості виробництва ПВХ.....	116
3.7. Висновки з розділу 3	122
4. МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАНАЛУ ВИМІРЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА К.....	124
4.1.Схема нагромадження похибок каналу контролю показника якості К.....	124
4.2. Структурна схема повірки каналу контролю показника якості К.....	132
4.3. Організація робіт з повірки каналу контролю показника якості К.....	136
4.4. Проведення повірки каналу контролю показника якості К.....	141
4.5. Порівняння розробленого методу контролю показника якості К з відомими і прив'язка пристрою його контролю до реактора полімеризації ПВХ.....	145
4.6. Визначення статистичних характеристик і результуючої відносної похибки пристрою контролю показника якості К.....	146

4.7. Висновки з розділу 4.....	151
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	153
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	156
ДОДАТКИ.....	166

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АКС – алгоритм кумулятивних сум;
- АМК – аналоговий метрологічний компонент;
- ВК – вимірювальний канал;
- ВН – відцентровий насос;
- ВПАП - вимірювальний перетворювач активної потужності трифазного струму;
- ВТН - вимірювальний трансформатор напруги;
- ВТС – вимірювальний трансформатор струму;
- ЕВН – електричний відцентровий насос;
- ЗЕД – заглибний електродвигун;
- K_{ϕ} – константа Фікентчера;
- К – комплексний показник якості;
- ОБ – обчислювальний блок;
- ПВХ – полівінілхлорид;
- ПВХ-Е – полівінілхлорид емульсійний;
- ПККП– пристрій контролю комплексного показника;
- ПО – пульт оператора;
- СД – система діагностування.

ВСТУП

Актуальність теми. Високі фізичні характеристики (густина, в'язкість та ін.) пластизолів, низька токсичність та наявність в Україні виробничих потужностей для виготовлення зумовили широке використання полівінілхлориду (ПВХ) як сировини для виробництва пластизолів [6,8,15,19].

Враховуючи, що в Україні кількість пластизолів, яка виробляється на душу населення, в 17 разів менша, ніж у США, внутрішній ринок недостатньо забезпечений полімерами конструкційного та спеціального призначення, розширюється мережа підприємств, що виробляють із пластизолів продукцію для нафтогазовидобувної, електротехнічної, харчової, будівельної промисловості, медицини та ін. [1,2,14,16,18].

Разом із розширенням виготовлення виробів із пластизолу постало питання контролю якості ПВХ. Сьогодні контроль показників якості ПВХ: числа в'язкості і константи Фікентчера K (далі по тексті – константи K_ϕ) проводиться за допомогою відбору проб з певною періодичністю і подальшим розрахунком комплексного показника якості – константи K_ϕ на виході технологічного ланцюга [6], тобто без неперервного контролю в процесі полімеризації вінілхлориду. Відсутні навіть методи розрахунку властивостей ПВХ в діапазонах температури $40-50^0$ С і тиску (не більше 0,8 МПа), властивих реактору полімеризації вінілхлориду.

Внаслідок відсутності необхідної неперервної інформації та неприйняття своєчасних заходів стосовно зміни режиму експлуатації погіршується якість ПВХ, відбувається передчасне відпрацювання технологічного обладнання. Це веде до втрат продукції, виникнення аварійних ситуацій, зупинок і простоїв апаратів, забруднення навколишнього середовища.

Таким чином, розробка нового і високоефективного методу неперервного контролю процесу полімеризації вінілхлориду в робочих режимах, властивих процесу полімеризації, є актуальною задачею, яка має важливе народногосподарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вибраний напрямок досліджень є складовою частиною тематичного плану науково-дослідних робіт Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). Дисертаційна робота виконувалась відповідно до плану науково-дослідної роботи кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології, який затверджено Науковою радою ІФНТУНГ, протокол № 4 від 20.11.2000р., та творчим договором ТВ-1 з заводом хлористого вінілу концерну «Оріана» від 12.04. 1999 р. Матеріали наукового дослідження використані при розробці держбюджетної теми ІФНТУНГ «Наукові основи контролю, управління і екологічного моніторингу об'єктами нафтогазового комплексу України», номер державної реєстрації 0101U001664. Результати дослідження використані при розробці розділу 2.6 даної теми. Держбюджетні роботи входять у координаційний план «Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового обладнання, поглибленої переробки нафти і газу з метою отримання високоякісних моторних палив, мастильних матеріалів, допоміжних продуктів і нафтохімічної сировини». Вказаний план входить в національну програму «Нафта і газ України до 2010 року». Роль автора у виконанні цих науково-дослідних робіт як виконавця, полягає у розробці методичних підходів, моделей, структур вимірювального каналу щодо неперервного контролю константи K_{ϕ} .

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка системи неперервного контролю комплексного показника якості K для роботи в умовах функціонування реактора полімеризації вінілхлориду, використання якої дозволить підвищити якість виробництва ПВХ та попередити виникнення аварійних ситуацій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати сучасний стан проблеми контролю якості полівінілхлоридних смол, виходячи з особливостей технології їх виготовлення;
- розробити узагальнену модель об'єкта контролю константи K_{ϕ} ;

- провести аналітико-статистичний аналіз та оцінити кореляційні зв'язки між параметрами стану об'єкта і вхідними змінними, а також зв'язки енергетичних показників електроприводу мішалки реактора полімеризації з параметрами і показниками режиму полімеризації вінілхлориду та комплексним показником якості K ;
- розробити метод неперервного контролю комплексного показника якості K в реакторі полімеризації вінілхлориду на основі встановлення його взаємозв'язку з найбільш впливовим фактором та проаналізувати похибки методу;
- на основі запропонованого методу розробити алгоритмічну структуру і принципову схему пристрою контролю показника якості K , обґрунтувати його параметри і схемотехнічні рішення та провести дослідження вимірювального каналу пристрою контролю комплексного показника якості полівінілхлориду K ;
- провести дослідження розробленого методу контролю показника K в промислових умовах і показати його ефективність.

Об'єктом дослідження є процеси, що відбуваються у виробництві полівінілхлориду емульсійного.

Предметом дослідження є розробка системи неперервного контролю процесу полімеризації.

Методи дослідження. В основу розробки інформаційної моделі об'єкта контролю покладено використання основних положень теорії розмірностей; дослідження взаємозв'язків параметрів і показників процесу полімеризації проведено за допомогою кореляційно-регресійного аналізу. При перевірці отриманих моделей зв'язку на адекватність було використано критерій Фішера. Експериментальні дослідження методу контролю комплексного показника якості K проводилися в цеху ПВХ ЗАТ "Лукор" та лабораторіях електричних машин і автоматизованого електроприводу і теорії автоматичного керування та регуляторів. При дослідженні методу контролю комплексного показника якості K використовувалися основні положення теорії планування експериментів, а обробка експериментальних даних проводилась з використанням методів математичної статистики та методів аналізу випадкових процесів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше запропоновано узагальнену модель об'єкта контролю – комплексного показника якості полівінілхлориду К, яка враховує особливості процесу полімеризації ПВХ-Е, що дозволяє визначити клас задач контролю як визначення подій в умовах невизначеності;

- дістали подальший розвиток аналітико-статистичні дослідження показників процесу полімеризації ПВХ-Е, в результаті яких визначена періодичність їх контролю ($T \leq (1.05 - 1.75) год$) і показника К ($T \leq 0.636 год$) при заданій похибці апроксимації $\xi = 2.5\%$, та встановлена відсутність кореляційного зв'язку константи Фікентчера K_ϕ з показниками процесу полімеризації ПВХ-Е;

- вперше встановлено взаємозв'язок комплексного показника якості К з активною потужністю електродвигуна приводу мішалки реактора полімеризації, зумовленою зміною якості латексу, на основі якого розроблено метод неперервного контролю процесу полімеризації;

- запропоновано інформаційну модель показника якості К за активною потужністю приводу мішалки, на основі якої встановлено межі зміни К, що дозволило підвищити вірогідність методу контролю до 0.988 та його ефективність до 0.89;

- на основі розробленого методу вперше запропоновано структуру пристрою контролю показника якості К, технічна реалізація якого дозволяє зменшити трудомісткість операції контролю процесу полімеризації і здійснювати його неперервне коригування, підвищити його точність та отримувати неперервну інформацію про якість латексу.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці:

- алгоритму контролю показника К за зміною активної потужності електроприводу мішалки, використання якого дозволяє проводити контроль процесу полімеризації вінілхлориду в неперервному режимі;

- алгоритмічної структури і принципів електричних схем пристрою контролю показника К та обґрунтуванні його параметрів і схемотехнічних

рішень, що дозволяє використати серійні комплектуючі вироби при його виготовленні і забезпечити визначену вірогідність контролю показника К;

- алгоритмічної і функціональної схем експериментальної установки для перевірки вимірювального каналу пристрою контролю показника К, його методичного і технічного забезпечення, використання якого дозволяє визначити похибки та здійснити градування пристрою;
- техніко-економічних рекомендацій, використання яких дозволяє підвищити якість латексу, знизити його собівартість та запобігти виникненню аварійних ситуацій, пов'язаних з виходом показника К за межі допуску.

Розроблений метод неперервного контролю показника якості К, пристрій для його реалізації, а також техніко-економічні рекомендації пройшли випробування в процесі виробництва ПВХ-Е (протоколи випробувань від 14.09.1999р. і 05.01.2004р., акти випробування пристрою від 07.10.1999 р. і від 05.01.2004 р.) і впроваджені ЗАТ “Лукор”, м. Калуш (акт впровадження від 26.08.2004 р.). Очікуваний річний економічний ефект від впровадження результатів роботи становить 95 тис.грн. у цінах 2003 року.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень використані в робочій програмі дисципліни “Автоматизація хіміко-технологічних процесів”, для студентів спеціальності 7.092501 “Автоматизоване управління технологічними процесами” ІФНТУНГ (Доповнення до робочої програми курсу від 28.08.2000 р.), а також впроваджені в навчальний процес у вигляді курсових і дипломних проектів студентів спеціальності 5.092503 “Монтаж, обслуговування засобів і систем автоматизації технологічного виробництва” (акт впровадження від 06.10.1999р.) та використані при розробці декількох курсів навчальних дисциплін для підготовки молодших спеціалістів за спеціальностями 5.092503 “Монтаж, обслуговування засобів і систем автоматизації технологічного виробництва” та 5.091406 “Обслуговування інтелектуальних інтегрованих систем” у Калузькому хіміко-технологічному технікумі (довідка від 16.08.2004 р.).

Наукові положення роботи впроваджені в науково-дослідному інституті нафтогазових технологій ІФНТУНГ (акт впровадження від 25.08. 2004 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Проаналізовані методи автоматичного контролю якості нафтопродуктів та високомолекулярних хлорвміщуючих вуглеводнів [77,79,90], запропоновано непрямий метод контролю моменту на валі електроприводу мішалки [38] та визначені показники якості емульсійного полівінілхлориду, які підлягають контролю [73,79,100]. Досліджено взаємозв'язок потужності на валі електроприводу мішалки з гідродинамічними параметрами ПВХ-Е, константою K_ϕ та розроблено метод неперервного контролю ступеня полімеризації емульсійного полівінілхлориду [23,74,89,101]. Розроблена схема нагромадження похибок каналу контролю показника якості K [103].

У роботах, опублікованих у співавторстві, проаналізовані методи контролю потужності на валі механізмів з електроприводом [88], запропоновано метод фільтрації вимірювальних сигналів при неперервному контролі показника K [98], проведена класифікація алгоритмів визначення зміни властивостей випадкових величин [102] та розроблена інформаційно-енергетична модель електродвигуна [99].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на 3-ій Українській конференції з автоматичного керування “Автоматика-96” (м.Севастополь, 1996 р.) [93]; на Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми нафтегазового комплексу Росії”, присвяченій 50-річчю УГНТУ (Росія, м. Уфа, 1998 р.) [90]; на 6-ій Міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ України-2000” (31.10-03.11.2000, м. Івано-Франківськ) [100]; на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (1987-1999,2002рр.) [78.89.101.102]; на 7-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Наука і освіта 2004» (м. Дніпропетровськ, 2004 р.) [84]; на Міжнародній науково-практичній конференції «Інтелектуальні системи прийняття

рішень та інформаційні технології» (м. Чернівці, 2004 р.) [24]; на 3-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Динаміка наукових досліджень-2004» (м. Дніпропетровськ, 2004 р.)[80]; на 11-й міжнародній конференції по автоматичному управлінню „Автоматика-2004” (м. Київ,2004р.) [83]; на розширеному науковому семінарі кафедри методів і приладів контролю якості та сертифікації продукції ІФНТУНГ (протокол № 15 від 24.02.2005р.).

Публікації. Основні положення дисертації відображені у 22 публікаціях, з них – 10 статей у фахових виданнях (7 одноосібних) та 12 тез доповідей на Міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків і рекомендацій, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 200 сторінок і включає 53 рисунки на 26 сторінках, 16 таблиць на 11 сторінках, список використаних літературних джерел із 104 найменувань і 18 додатків на 33 сторінках.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДНИХ СМОЛ ПВХ

1.1. Технологія виробництва ПВХ як об'єкта контролю, її особливості та показники якості ПВХ

З усіх полімерів, які відомі сьогодні, полівінілхлорид (ПВХ) використовується найчастіше. За обсягами світового виробництва, що перевищують 25,5 млн.т за рік, він посідає друге місце після поліетилену високого тиску [1-8].

Асортимент виробів з найбільш розповсюдженого матеріалу на основі ПВХ– пластизолу перевищує 30 назв, однак асортимент вітчизняних виробів дуже обмежений. Їх виробляє ВАТ “Київгума” і ЗАТ “Лукор”. В Україні випускаються практично всі необхідні інгредієнти для виробництва різних пластизолів [3], рецептури яких розробляє НДІ “Еластик”. Обладнання для виготовлення пластизолів виробляється в Україні серійно, в основному – змішувачі.

В Україні протягом 90-х років спостерігалось зменшення обсягів виробництва ПВХ. Однак, зараз існують виробничі потужності з випуску суспензійного і емульсійного ПВХ на рівні 120 тис. т на рік: ВАТ “Хімпром” (м. Первомайський Харківської області), ВАТ “Азот”(м. Дніпродзержинськ), е ЗАТ “Лукор” (м.Калуш) [6-13].

Існують різні методи одержання ПВХ: емульсійна (латексна) полімеризація, суспензійна полімеризація, полімеризація в присутності систем, які містять елементоорганічні з'єднання та ін. Впродовж тривалого часу емульсійна полімеризація (ПВХ-Е) була єдиним методом отримання ПВХ, хоча після освоєння суспензійного способу полімеризації в деяких галузях промисловості емульсійний ПВХ був частково витіснений суспензійним. Однак, суспензійною полімеризацією без додаткової обробки полімеру до цього часу не вдалося отримати достатнього асортименту марок ПВХ, придатних для

виготовлення паст, а ПВХ-Е широко застосовується саме для отримання пластизолів. Тому проблеми вдосконалення технології і подальшого покращення якості ПВХ-Е є актуальними.

До числа перспективних можна віднести виробництво емульсійного полівінілхлориду (ПВХ-Е) на ЗАТ “Лукор” [6], проектна потужність якого складала 45 тис. т на рік. За останні 20 років значно зріс попит і на продукти хлорорганічного синтезу, особливо на вінілхлорид, як вихідний продукт для синтезу одного з найбільш великотонажних полімерів – ПВХ. Сировиною для одержання вінілхлориду є 1,2-дихлоретан, який перетворюють у вінілхлорид шляхом термічного піролізу на ЗАТ “Лукор” у цеху вінілхлориду [6, 13]. Методом виробництва ПВХ-Е є безперервна водоемульсійна (латексна) полімеризація вінілхлориду з наступною розпилювальною сушкою латексу ПВХ-Е в баштах-сушарках прямої неперервної дії.

Відповідно до технологічного регламенту ЗАТ “Лукор” здійснюється контроль та управління технологічним процесом виробництва ПВХ-Е на всіх стадіях. Особливе значення має контроль технологічного процесу на стадії полімеризації вінілхлориду, від якого залежить якість кінцевого продукту. Слід зауважити, що в реакторі полімеризації контролюються такі параметри як: тиск, температура, рівень латексу, об’ємна видача емульсійної води і вінілхлориду, однак, вони безпосередньо не впливають на якісні показники ПВХ-Е, у зв’язку з чим якість ПВХ-Е контролюється непрямим методом – шляхом визначення числа в’язкості X і значення константи K_ϕ (далі за текстом – K_ϕ).

На даний час основним показником якості емульсійного ПВХ, як готового продукту, є K_ϕ , яка обчислюється згідно до методики [6,13] за результатами лабораторних експериментальних досліджень густини і в’язкості латексу переважно раз у добу.

Удосконаленню методів контролю якості полівінілхлоридних смол приділялася велика увага [1-6, 14-20], оскільки прямі методи не забезпечують отримання оперативної інформації в режимі реального часу, що призводить до значних матеріальних збитків. Розробка непрямого методу і засобів для його

реалізації з відповідним методологічним забезпеченням, у першу чергу, вимагає ґрунтового знання особливостей технологічного процесу виробництва ПВХ та представлення його у вигляді об'єкту контролю з визначенням усіх задаючих, керуючих та збурюючих впливів.

Оскільки вказана проблема є спільною для всіх виробництв полівінілхлоридних смол, розглянемо її на прикладі виробництва ПВХ-Е ЗАТ “Лукор” (м. Калуш). Це виробництво внаслідок великої потужності, високої категорії за техніко-економічним рівнем, використання неперервного методу виробництва полімеру з меншими матеріальними і енергетичними затратами, порівняно з періодичним, може розглядатися як типовий об'єкт, на прикладі якого розглянемо особливості технології виробництва ПВХ як об'єкта контролю показників його якості.

Технологічний цикл виробництва ПВХ є неперервним в часі і розподілений в просторі [4-9]. У виробничому процесі приймає участь значна кількість технологічних об'єктів, які вимагають постійного контролю.

Основними технологічними стадіями виробництва ПВХ-Е є наступні:

- приготування емульсійної води і розчину ініціатора;
- полімеризація вінілхлориду;
- дегазація латексу;
- виділення порошку ПВХ з латексу [8].

Технологічна схема виробництва емульсійного полівінілхлориду зображена на рис.1.1.

Полімеризація вінілхлориду проводиться в реакторах, в які неперервно подаються помповим агрегатом з ємності: вінілхлорид з температурою не вищою 25°C і тиском від 1 до 1,5 МПа – з витратою не більше $0,5 \text{ м}^3/\text{год}$ і емульсійна вода з температурою не вищою 25°C і тиском від 1 до 1,5 МПа – з витратою не більше $0,5 \text{ м}^3/\text{год}$.

При необхідності очистки вінілхлориду від механічних домішок схемою передбачено встановлення прес-фільтра на вході трубопроводів.

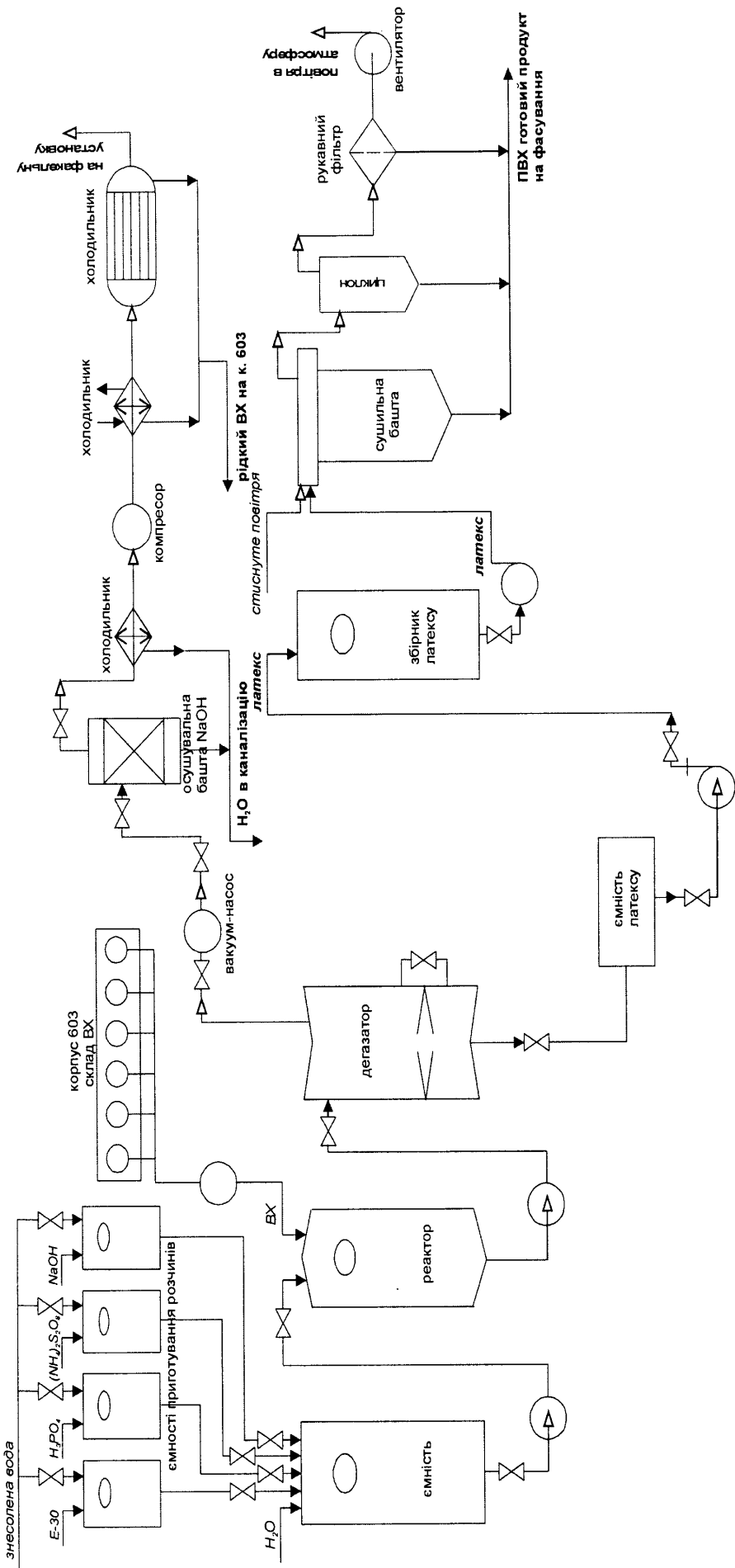


Рис.1.1. Технологічна схема виробництва емульсійного полівінілхлориду

Практикується безпосередня подача вінілхлориду та емульсійної води в реактори полімеризації лопатевої мішалки по окремих трубопроводах, або за схемою попереднього змішування.

У реакторі процес полімеризації проходить у дві стадії: у верхній частині реактора починається реакція полімеризації за рахунок неперервної подачі рідкого вінілхлориду та емульсійної води, які змішуються з існуючою реакційною масою за допомогою лопатевої мішалки. Однак, процес полімеризації не завершується. В нижній частині реактора процес полімеризації проходить до вищих ступенів конверсії з утворенням латексу.

За сучасними уявленнями емульсійна або латексна полімеризація нерозчинного у воді хлористого вінілу здійснюється через стадію його колоїдного розчинення в міцелах емульгатора, в яких під дією водорозчинного ініціатора персульфату амонію протікають реакції росту і обривання ланцюга.

Емульсійна полімеризація починається не відразу в усіх міцелах, а лише в деякій їх невеликій частині, де вміст хлористого вінілу набагато більший, відношення поверхні до об'єму значно більше, і куди поступають із водного розчину вільні радикали. (SO_4^{*+}), утворені в результаті розпаду водорозчинного ініціатора $(NH_4)_2 S_2O_8$. В міру полімеризації хлористого вінілу свіжі порції його, які поступають із крапель емульсії розчиняються в полімері з перетворенням міцел емульгатора в полімерно-мономерні частинки, поверхня яких покрита адсорбційним шаром емульгатора. Далі реакція полімеризації протікає в утворених полімерно-мономерних частинках, в які із крапель емульсії поступають нові порції хлористого вінілу з перетворенням їх у латексні частинки з розмірами від 0,1 до 1 мкм, колоїдна дисперсія яких у воді і являє собою латекс полівінілхлориду. Полімерно-мономерні частинки розглядаються як окремі мікроблоки, незалежні один від одного.

Залежно від необхідної марки полівінілхлориду і якості сировини, що використовується, процес полімеризації протікає при температурі $t_n=40\div 60^{\circ}C$ та тиску $P_n \leq 0,9$ МПа.

Відведення тепла реакції полімеризації здійснюється охолодженою, знесоленою та знекисненою водою, яка з метою підвищення теплопередачі та для досягнення стабільних температурних співвідношень постійно циркулює через оболонку реактора за допомогою відцентрової помпи в замкненому циклі.

Заданий температурний режим у реакторі полімеризації підтримується шляхом подачі в циркулярний контур оболонки охолодження реактора (царги реактора) охолодженої, знесоленої та знекисненої води з температурою до 10°C .

Отриманий у процесі полімеризації полівінілхлорид у вигляді латексу разом з непрореагованим вінілхлоридом надходить з нижньої частини реактора на дегазацію в башти-дегазатори (рис.1.1), де виділяється непрореагований вінілхлорид, який повертається в повторний цикл.

Рівень латексу в реакторі полімеризації підтримується автоматично в межах від 6,35 до 6,55 м за допомогою регулятора рівня з таким розрахунком, щоб у верхній частині залишався вільний газовий простір приблизно 1m^3 для уникнення можливої вибухонебезпеки.

Через 150-200 год роботи реактора на його внутрішній поверхні утворюється шар твердого полівінілхлориду, який погіршує теплопередачу і призводить до порушення режиму полімеризації. У зв'язку з цим реактор зупиняють для проведення очисних робіт з витисненням реакційної маси на резервний реактор.

Якість ПВХ характеризується багатьма факторами: вологопоглинанням, пастоутворюючими властивостями та ін., а сам процес полімеризації вінілхлориду залежить теж від значної кількості взаємозв'язаних факторів: емульсійної води, вінілхлориду, енергії, що витрачається на змішування, та ін. Деякі з них, у свою чергу, залежать від ряду інших впливових факторів і змінюються в часі за заздальгідь невідомими законами. Таким чином, вплив різних факторів на процес полімеризації вінілхлориду є комплексним, що ускладнює аналіз впливу кожного з них на якість кінцевого продукту.

Тому узагальнену модель процесу полімеризації вінілхлориду з точки зору об'єкта контролю можна зобразити у вигляді (рис.1.2):

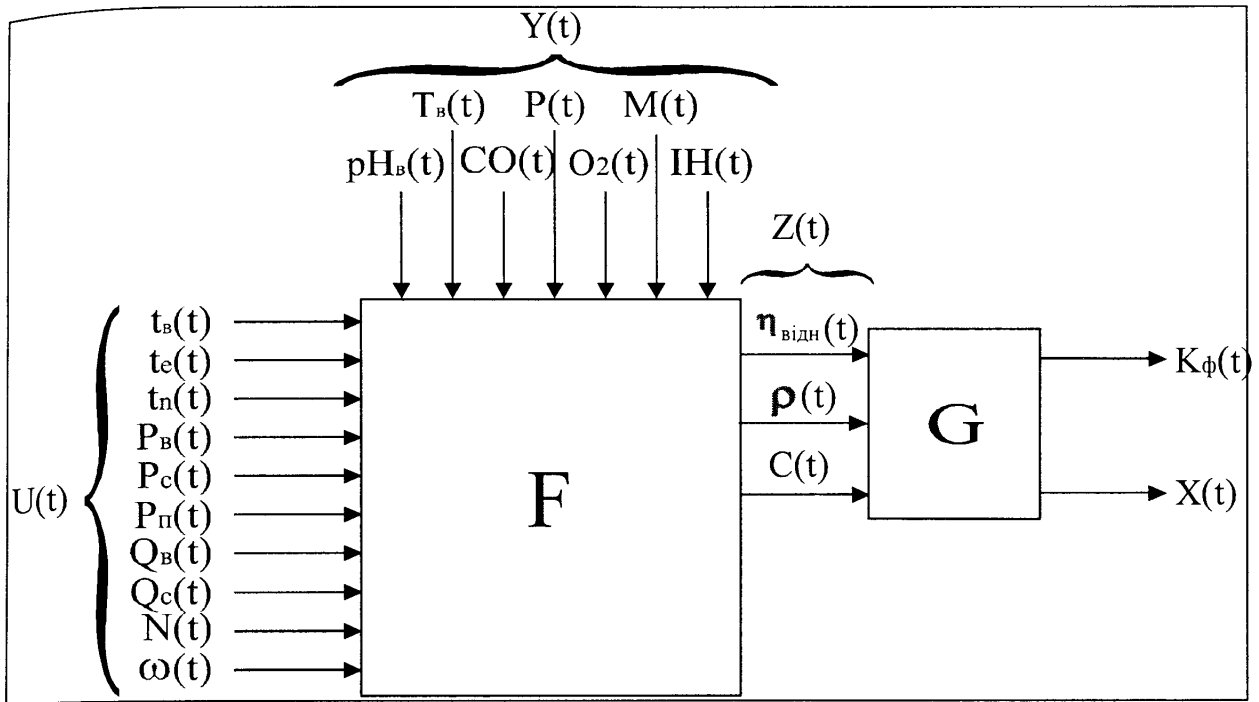


Рис. 1.2. Узагальнена модель процесу полімеризації вінілхлориду як об'єкта контролю

Фактори (параметри і показники), що з умовляють процес полімеризації вінілхлориду, в залежності від їх впливу, можна поділити на такі групи:

1. Вхідні параметри $U(t)$ режиму полімеризації: температура вінілхлориду t_b , емульсійної води t_e , температура в реакторі полімеризації t_n ; тиск вінілхлориду P_b , емульсійної води P_c , в реакторі полімеризації P_n ; витрата вінілхлориду Q_b , емульсійної води Q_c ; потужність на валі електродвигуна мішалки N і частота його обертання ω :

$$U(t) = [t_b(t), t_e(t), t_n(t), P_b(t), P_c(t), P_n(t), Q_b(t), Q_c(t), N(t), \omega(t)].$$

2. Вхідні параметри $Y(t)$, що характеризують фізико-хімічні властивості емульсійної води: водневий показник pH_b , вміст ініціатора IH , CO , вміст буферної суміші-титру (числа P і M), твердість води T_b , вміст кисню O_2 :

$$Y(t) = [pH_b(t), IH(t), CO(t), P(t), M(t), T_b(t), O_2(t)].$$

3. Показники $Z(t)$ якості режиму полімеризації вінілхлориду: відносна в'язкість $\eta_{в\text{ідн}}$, концентрація C , густина $\rho(t)$, які використовуються для розрахунку

комплексного показника якості латексу ПВХ-Е – $K_{\phi}(t)=G[\eta_{\text{відн}}(t),C(t), \rho(t)]$ і коефіцієнта в'язкості $X(t)$.

Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу полімеризації показує, що він описується сукупністю випадкових процесів $c(t)$, $\rho(t)$, $K(t)$, $\eta_{\text{відн}}(t)$, $pH_{\text{в}}(t)$, $t_{\text{в}}(t)$, $P_{\text{в}}(t)$, $Q_{\text{в}}(t)$, $N(t)$ та ін., які стохастично зв'язані між собою [78,79].

Параметри $Z_i(t)$, які характеризують якість латексу, пов'язані з вхідними параметрами режиму полімеризації $U(t)$, параметрами $Y(t)$, що характеризують фізико-хімічні властивості емульсійної води, залежністю:

$$Z_i(t) = F_i[U(t), Y(t)], i = 1, 2, \dots, n.$$

$$K_{\phi}(t) = G\{\eta_{\text{відн}}(t), C(t)\}.$$

Константа K_{ϕ} є досить зручною характеристикою і дає достатнє для практичної мети наближення. Для різних видів ПВХ вона має різні значення:

$$\text{емульсійний ПВХ } K_{\phi_e} = 54 - 77,$$

$$\text{суспензійний ПВХ } K_{\phi_c} = 47 - 76,$$

$$\text{ПВХ в масі } K_{\phi_m} = 56 - 72.$$

Відносна в'язкість [6,8] $\eta_{\text{відн}}(t)$, константа K_{ϕ} і коефіцієнт в'язкості $X(t)$ взаємозв'язані.

У сучасному виробництві ПВХ, як було відмічено вище, єдиним способом отримання інформації про K_{ϕ} залишається експеримент. Основними недоліками експериментального визначення даних для розрахунку K_{ϕ} є похибки визначення реологічних властивостей латексу, методичні похибки, зміни координат процесу між лабораторними пробами, велика кількість проб, похибки від впливаючих величин, а також несвоєчасність отримання інформації оперативним персоналом. Все це вимагає дослідження властивостей процесу полімеризації ПВХ, як об'єкта контролю, з метою вибору технологічних параметрів, що містять інформацію безпосередньо про хід процесу полімеризації ПВХ, та вибору на їх основі методу контролю.

При цьому будемо враховувати взаємозв'язки між параметрами $Z_i(t)$, що характеризують якість латексу: константою K_Φ , числом в'язкості X і відносною в'язкістю $\eta_{\text{відн}}$ ПВХ.

Графіки залежності $X=f(\eta_{\text{відн}})$ і $K_\Phi=f(\eta_{\text{відн}})$ наведені на рис 1.3.

Користуючись графіком (рис.1.3), можна визначити значення константи K_Φ , але для цього потрібно відбирати проби латексу для аналізу і визначати відносну в'язкість згідно методики, описаної в [20]. Кількість і розмір проб впливають на величину відносної похибки контролю. Тому потрібно визначити кількість проб, необхідну і достатню для об'єктивної оцінки константи K_Φ .

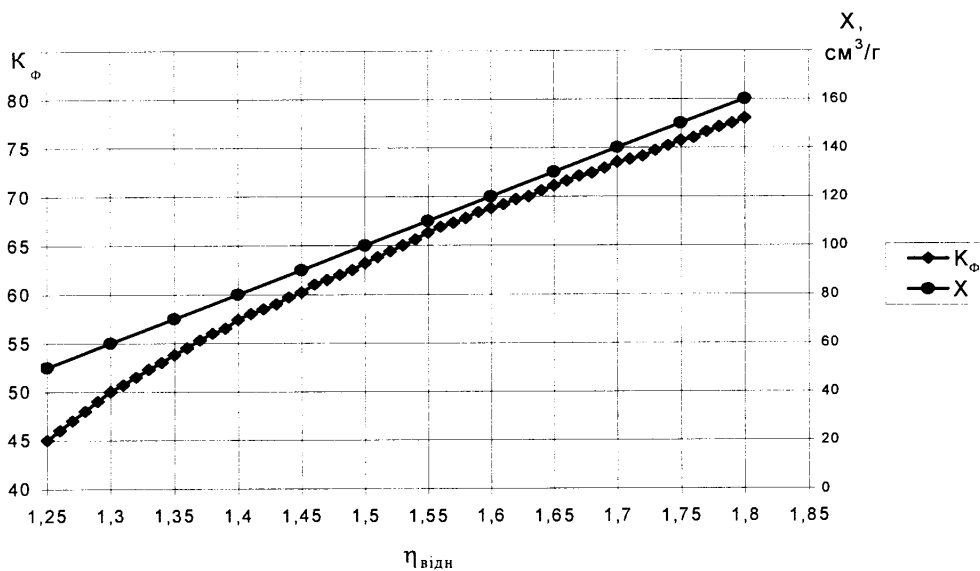


Рис. 1.3. Графіки залежностей константи K_Φ і числа в'язкості X від відносної в'язкості ПВХ $\eta_{\text{відн}}$

1.2. Необхідність неперервного контролю якості ПВХ і шляхи його реалізації

Якість латексу ПВХ, що виробляється неперервно, оцінюється значенням контрольованого показника якості – константи K_Φ . Це формальна абстрактна змінна, яка є похідною від динамічної в'язкості і концентрації, і не має конкретного фізичного змісту. Припустимо, що $K_{\Phi 0}$ – номінальне, тобто потрібне значення показника якості ПВХ. Технологічна схема має природну

похибку ΔK_{ϕ} виготовлення продукції, тобто фактичне значення константи K_{ϕ} завжди відрізняється від номінального значення $K_{\phi 0}$ і $\Delta K_{\phi} = K_{\phi} - K_{\phi 0}$.

Технічні вимоги до якості продукції визначаються полем допуску:

$$\delta = K_{\text{в}} - K_{\text{н}} = T_{\text{в}} + T_{\text{н}}, \quad (1.1)$$

де $K_{\text{в}}$, $K_{\text{н}}$ – верхнє і нижнє допустиме значення показника якості – константи K_{ϕ} , $T_{\text{в}}$, $T_{\text{н}}$ – верхнє і нижнє допустиме відхилення K_{ϕ} від $K_{\phi 0}$.

Продукція вважається придатною, якщо виміряне значення показника якості K_{ϕ} лежить у межах поля допуску $K_{\phi} [K - T_{\text{н}}; K_0 + T_{\text{в}}]$ (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Марки ПВХ-Е і допустимі значення константи K_{ϕ}

Марки ПВХ-Е	Середнє значення K_{ϕ}	Допустимі значення K_{ϕ}
ПВХ-Е-6650	67,5	66-69
ПВХ-Е-6250-Ж	63,5	62-65
ПВХ-ЕП-7002-С	71,5	70-73
ПВХ-ЕП-6602-С	67,5	66-69
ПВХ-ЕП-6602	67,5	66-69
ПВХ-ЕП-7702-А	72,5	70-75
ПВХ-Е для будівельної індустрії	66,0	62-70

Якщо значення K_{ϕ} , відповідно до табл.1.1, виходить за вказаний допустимий діапазон, то продукція вважається бракованою. Брак є наслідком сумарних похибок роботи технологічної системи, які мають дві складові: випадкову і систематичну.

До випадкових похибок можна віднести неоднорідність сировини, зміни навколишнього середовища, механічні вібрації і т.п.

На підставі центральної граничної теореми теорії ймовірності можна вважати, що розподіл випадкової похибки підпорядковується нормальному закону з нульовим математичним сподіванням і деякою дисперсією σ^2 .

Систематичні похибки зв'язані з появою в технологічному процесі стійких і, як правило, зростаючих відхилень внаслідок впливу таких факторів, як зношування обладнання, забруднення корпусу полімеризатора і лопаток мішалки і т.п. Величина систематичної похибки впливає на положення центру групування показника якості K_{ϕ} .

Зростання будь-якої складової похибки технологічної системи веде до зростання частки браку. Розглянемо це за допомогою графіків, які зображені на рис.1.4 і рис.1.5.

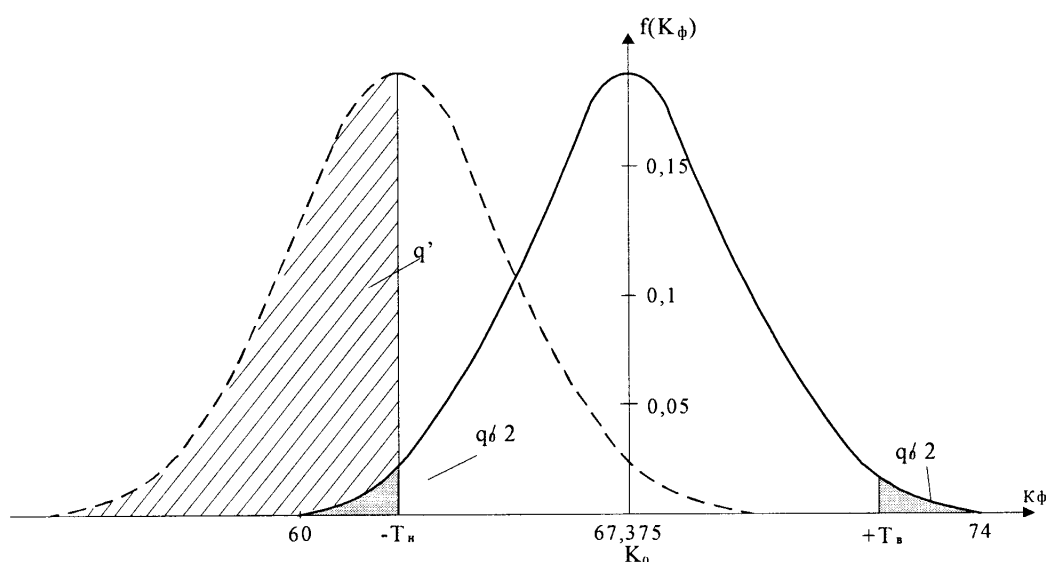


Рис. 1.4. Вплив систематичної похибки роботи технологічної схеми на зростання частки браку ПВХ

На рис.1.4 по горизонталі зображена вісь значень показника якості K_{ϕ} , на якій позначені номінал $K_{\phi 0}$ і межі допуску $[-T_n; +T_n]$. Якщо технологічна система налаштована на потрібний номінал $K_{\phi 0}$ і відсутня систематична похибка, то математичне сподівання показника якості $M[K_{\phi}]$ співпадає з номіналом $K_{\phi 0}$, і крива густини розподілу відповідає на графіку рис. 1.4 неперервній лінії. Заштриховані частки площі під кривою відповідають ймовірності q_0 того, що фактичне значення константи K_{ϕ} опиниться за межами допуску. Тоді при сталій дисперсії системи σ^2 і відсутності систематичної похибки відсоток браку у продукції, що виготовляється, дорівнює $q_0 \cdot 100\%$. При появі систематичної похибки математичне очікування константи $K_{\phi} M[K_{\phi}]$ зміщується відносно номіналу $K_{\phi 0}$. У цьому випадку ймовірність q' виходу значень константи K_{ϕ} за

межі допуску визначається заштрихованою часткою площі під пунктирною кривою. Як бачимо, $q' > q_0$, що свідчить про зростання частки браку з появою систематичної похибки, хоча дисперсія σ^2 роботи технологічної системи може бути незмінною.

Аналогічно на рис. 1.5 зображено зростання частки браку при збільшенні δ^2 .

Технологічний процес протікає стабільно, якщо не виникає систематичної похибки і не змінюється величина випадкової похибки σ^2 .

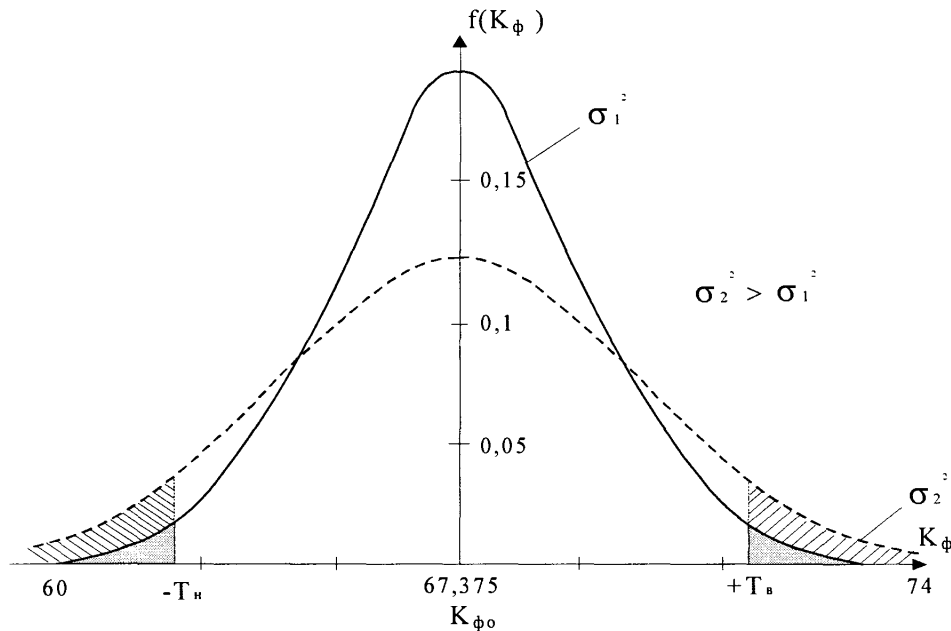


Рис. 1.5. Вплив випадкової похибки роботи технологічної схеми на зростання частки браку ПВХ

Але навіть та технологічна система, яка стабільно працює, при певному співвідношенні між полем допуску δ і величиною σ^2 випускає брак, частку якого можна визначити, наприклад, при умові, що $T_b - T_n = T$. Тоді, з врахуванням дисперсії σ^2 , ймовірність появи браку $P_{бр}$ складає

$$q = P_{бр} = P\{K_{\phi} < K_{\phi 0} - T\} + P\{K_{\phi} > K_{\phi 0} + T\} = P\{(K_{\phi} - K_{\phi 0}) \sigma^{-1} < -T \sigma^{-1}\} + P\{(K_{\phi} - K_{\phi 0}) \sigma^{-1} > T \sigma^{-1}\}. \quad (1.2)$$

При стабільному процесі полімеризації ПВХ-Е випадкова величина $(K_{\phi} - K_{\phi 0}) \sigma^{-1} = (\Delta K) \sigma^{-1}$ має нормальний розподіл з нульовим математичним сподіванням і одиничною дисперсією [1,2]. Тоді:

$$P\{(K_{\phi} - K_{\phi_0}) \sigma^{-1} < -T \sigma^{-1}\} = \Phi_0(-T \sigma^{-1}) = 0,5 - \Phi_0(T \sigma^{-1}) \quad (1.3)$$

та
$$P\{(K_{\phi} - K_{\phi_0}) \sigma^{-1} > -T \sigma^{-1}\} = 0,5 - \Phi_0(T \sigma^{-1}), \quad (1.4)$$

де $\Phi_0(T \sigma^{-1})$ – визначається з таблиці значень нормованої функції Лапласа ймовірностей Φ_0 в залежності від аргументу $t_x = (x - m_x) \sigma_x^{-1}$. Отже, величина

$$q = 2 [0,5 - \Phi_0(T \sigma^{-1})] \cdot 100\% \quad (1.5)$$

є дуже важливим показником статистичного контролю якості латексу ПВХ-Е, оскільки характеризує відсоток браку, що створюється під час нормального і стабільного технологічного процесу. Так, за даними рис.1.4, відсоток браку виробництва ПВХ-Е складає приблизно 1,7 % і може сягати 50 %, а за даними рис.1.5 відсоток браку може дорівнювати приблизно 8 %.

Проте в умовах сучасного виробництва ПВХ для оцінювання якості латексу використовують не суцільний стовідсотковий контроль якості латексу, а статистичні методи вибіркового контролю. При цьому в ролі генеральної сукупності виступає вся продукція, що виготовлена за контрольний термін, а в ролі вибірки – проби, ретельний аналіз яких дає можливість зробити висновок про можливу частку браку усєї сукупності. Користуючись результатами такого контролю, розв'язують дві основні задачі: регулювання якості продукції і здійснення приймального контролю.

Регулювання якості повинно дозволяти за допомогою періодичних відборів невеликих за об'ємом проб попереджати збільшення браку і слідкувати за якістю ПВХ одночасно з виробничим процесом.

Приймальний контроль служить для визначення частки браку в уже виготовленій продукції, яка поставляється споживачам.

Отже, при такому методі контролю якості ПВХ частка браку досить висока, а регулювати процес доводиться за даними контролю попереднього процесу.

Розглянемо це детальніше. Вище було показано, що константа K_{ϕ} є випадковою величиною з нормальним розподілом, що характеризується математичним сподіванням $M [K_{\phi}]$ і дисперсією σ_K^2 .

Припустимо, що на початку роботи технологічна схема налаштована на номінальне значення константи $K_{\phi 0}$. Через деякий час Δt ми можемо зробити L послідовних вимірювань: $K_{\phi 1}, K_{\phi 2}, K_{\phi 3}, \dots, K_{\phi L}$ і на їх базі перевірити 0-гіпотезу $H_0': M[K_{\phi}] = K_{\phi 0}$ при альтернативній гіпотезі $H_1': M[K_{\phi}] \neq K_{\phi 0}$.

Згідно до методології перевірки статистичних гіпотез [22] результати замірів з ймовірністю $p_1=1-q_{1n}$ не суперечать гіпотезі H_0' , якщо виконується співвідношення:

$$\left| \frac{\bar{K}_{\phi} - K_{\phi 0}}{\sigma_K} L^{1/2} \right| < U_{q_1/2}, \quad (1.6)$$

де \bar{K}_{ϕ} – середнє значення константи Фікентчера K ; q_1 – вибраний рівень значущості; $U_{q_1/2}$ – табличне значення нормованої випадкової величини для $q_1/2 = 0,5 - \Phi_0(U_{q_1/2})$.

Якщо співвідношення (1.6) має місце, то з ймовірністю $p_1=1-q_1$ можна стверджувати, що за інтервал часу Δt , який розділяє початок роботи системи і момент відбору проби, в системі не виникло систематичної похибки, і вона забезпечує заданий номінал константи $K_{\phi 0}$.

Якщо при цьому відібрані проби $K_{\phi 1}, K_{\phi 2}, K_{\phi 3}, \dots, K_{\phi L}$ з ймовірністю $p_2=1-q_2$ не суперечать і другій гіпотезі $H_0'': \sigma_K^2 = \sigma_K^2$ при альтернативній $H_0'': \sigma_K^2 \neq \sigma_K^2$, то вважають, що за інтервал часу Δt процес полімеризації ПВХ був стабільним, і відсоток браку не перевищував $q_0 \cdot 100\%$.

Ця процедура статистичної перевірки технологічного процесу виробництва ПВХ повинна регулярно повторюватися через інтервал часу Δt , і таким чином контролюється хід технологічного процесу. Мінімальний інтервал часу в умовах виробництва ПВХ-Е складає $\Delta t = 4$ год. Якщо після обробки даних g -ї проби обсягом L : $(K_{g1}, K_{g2}, K_{g3}, \dots, K_{gL})$, що взята в момент $t_g = g \cdot \Delta t$, з'ясується, що одна з гіпотез H_0' або H_0'' відхиляється, то це означає, що в проміжку часу $t_g - t_{g-1}$ у технологічній системі відбулося розузгодження, і частка браку зросла. В цьому випадку процес зупиняють і всю продукцію, що була вироблена за проміжок часу $t_g - t_{g-1}$, перевіряють додатково. Після з'ясування

причин появи розузгодження технологічний процес налагоджують і запускають знову.

Для полегшення процедури регулювання якості ПВХ використовується техніка контрольних карт. Існує декілька типів карт: карта середніх значень (карта \bar{K}_ϕ); карта медіан (карта \tilde{K}_ϕ); карта середніх квадратичних відхилень (карта S_k); карта розмахів (карта R); комбіновані карти (\bar{K}_ϕ / R , карта \tilde{K}_ϕ / R) [6,13].

Найчастіше використовують карти типу “середне-розмах”. Вони складаються з двох діаграм: діаграми середніх значень $\bar{K}_{\phi g}$ і діаграми розмахів R_g . Вважається, що технологічний процес протікає задовільно, якщо значення $\bar{K}_{\phi g}$ і R_g у черговій пробі не виходять за задані межі регулювання і розмахів. Вихід середніх значень $\bar{K}_{\phi g}$ і (або) розмахів R_g за допустимі межі регулювання сигналізує про порушення нормального перебігу процесу. Процес слід зупинити, відшукати і усунути причину, що викликала порушення. Продукція, яка була виготовлена між даною і попередньою пробою, підлягає суцільному контролю силами виробничого персоналу.

Отже, існуючі методи контролю якості ПВХ, які базуються на періодичному визначенні константи K_ϕ за допомогою проб, передбачають наявність браку, головним чином, за рахунок неможливості своєчасного виявлення зростання випадкової і систематичної похибок роботи технологічної системи. Час, що витрачається на контроль константи K_ϕ і на регулювання якості продукції виробництва ПВХ, досить великий. За цей час, як показує теоретичне дослідження і виробничий досвід, можуть суттєво змінитися і випадкова, і систематична похибки роботи технологічної системи. Тому в умовах сучасної високопродуктивної технології виробництва ПВХ-Е необхідний суцільний неперервний контроль якості продукту, що виготовляється. Для цього необхідно розглянути модель об'єкта контролю і вибрати такі контрольовані параметри, які би дозволили отримати неперервну інформацію про якість ПВХ.

1.3. Аналіз методів і засобів вимірювання споживаної потужності та крутного моменту на валі електродвигуна мішалки реактора полімеризації ПВХ

Попередній аналіз показників процесу полімеризації показує, що джерелом неперервної інформації про фізико-механічні процеси в реакторі полімеризації може бути такий енергетичний показник електроприводу мішалки, як потужність на її валі, яка піддається неперервному контролю [23,24,100,101]. Тому доцільно розглянути взаємозв'язки енергетичних показників приводу мішалки з константою K_{ϕ} .

Основним видом механізмів виробництва ПВХ-Е є мішалки з електроприводом. Потужність електродвигунів коливається в межах 3,8÷12 кВт. Основні типи апаратів, мішалок і параметри електродвигунів виробництва ПВХ-Е наведені в таблиці 1.2.

Контроль якості продукту в різних апаратах здійснюється періодично шляхом відбору і аналізу проб. Єдиним можливим джерелом неперервної інформації про фізичні процеси в апаратах виробництва ПВХ-Е є мішалки.

У зв'язку з необхідністю одержання інформації про процеси, що відбуваються в апаратах, актуальним є дослідження методів контролю моменту на валі мішалки, який залежить від фізичних властивостей змішувальних речовин.

У процесі змішування має місце передача і перетворення не лише енергії, але й інформації. Кабель – електродвигун мішалки утворюють канал, по якому відбувається передача енергії від трансформатора до мішалки. Енергетичні процеси в силовій частині є одночасно інформативними, оскільки потік енергії, що поступає від силового трансформатора до електродвигуна мішалки, несе в собі інформацію про параметри режиму змішування і зміну умов змішування.

Вимірюючи, наприклад, активну потужність на затискачах електродвигуна, можна одержати інформацію про потужність і момент на його валі та показники змішування [23,93].

Таблиця 1.2

Типи апаратів, мішалок і параметри електродвигунів ПВХ-Е

Апарат	Мішалка	Параметри електродвигуна
1	2	3
Ректор полімеризації	лопатева	тип КР 132.24/4 P=4.4 кВт, $\omega=24 \text{ c}^{-1}$ ω варіатора=(2.9-0.48) c^{-1}
Ємність для латексу полівінілхлориду	лопатева	P=12кВт, $\omega=15 \text{ c}^{-1}$ Редуктор А-12-С3-180 КРА 160.2/4
Ємність для приготування 25-35 % розчину емульгатора	рамна	P=8 кВт; $\omega=24.3 \text{ c}^{-1}$ Редуктор В-90-63-160 ТГП 21372 $\omega=0.37 \text{ c}^{-1}$
Ємність для приготування 25-35 % розчину емульгатора	горизонтальна	КРА 160.2/4 P=8 кВт; $\omega=26.8 \text{ c}^{-1}$ Редуктор 10 ЛАО ТГП 190 $\omega=0.27 \text{ c}^{-1}$
Ємність для приготування емульсійної води	турбопластка	КРА 160.3/6 P=6 кВт $\omega=0.27 \text{ c}^{-1}$
Ємність для латексу полівінілхлориду	лопатева	КРВ 181.6/1 P=8 кВт, $\omega=24.3 \text{ c}^{-1}$ Редуктор А-12-с3-180 ТГЛ 21372 P=12кВт, $\omega=15 \text{ c}^{-1}$

1	2	3
Вакуум-сушарка	лопатева з нагрівальною оболонкою	КР 160.1 P=3.8/ 6.0 кВт $\omega=11.83/24 \text{ c}^{-1}$
Ємність для стічних вод	лопатева	P=8 кВт, $\omega=15 \text{ c}^{-1}$
Ємність для зберігання латексу ПВХ	рамна	КРА 132.3/4 P=6 кВт
Ємність для розчинення кальцитової соди	лопатева	КРА 160.3/4 P=10 кВт, $\omega=24.17 \text{ c}^{-1}$

Питання вимірювання споживаної електричної потужності різноманітних електричних машин розглядалося доволі давно [25,26,27], і відома класифікація цих методів [28].

З точки зору використання для побудови технічних засобів вимірювання електричної потужності найбільшу цікавість представляють аналогові обчислювальні перетворювачі, зокрема аналогові напівпровідникові інтегральні перемножувачі, які мають вищі показники точності ($\delta \in 0.1 \dots 2.5\%$), однак, вони є гіршими з точки зору надійності [29,30,31], а також спеціалізовані обчислювачі, в яких використовуються спеціальні мікросхеми для вимірювачів потужності [32,33,34].

Відомо [25,104], що для асинхронних двигунів у межах ділянки механічної характеристики $n=f(M)$ існує функціональна залежність між крутним моментом на валі M_B і потужністю на валі P_B :

$$M_B = 955 \cdot P_B [\omega_c (1-s)]^{-1}, \quad (1.7)$$

де ω_c - синхронна частота обертання електродвигуна, c^{-1} ; s - величина ковзання електродвигуна. Тобто за значенням потужності на валі електродвигуна можна непрямим методом контролювати крутний момент.

Класифікація відомих методів контролю крутного моменту на валі електроприводу механізмів [35, 36, 37, 38, 39, 104] наведена в [38].

Оскільки в процесі виробництва ПВХ-Е для приводу мішалок використовуються електродвигуни змінного струму, проаналізуємо непрямі методи контролю моменту на валі виробничих механізмів за енергетичними параметрами електродвигуна. Вони базуються на використанні закону Ампера, що встановлює взаємозв'язок між моментом, магнітною індукцією і струмом якоря або ротора електричних заступних схем, які моделюють електричну машину; енергетичних діаграм потужності, що споживається двигуном із мережі.

Використовуючи закон Ампера, момент розраховується за формулою:

$$M = a_1 B I_{\text{я}}, \quad (1.8)$$

де a_1 - коефіцієнт пропорційності; B - магнітна індукція; $I_{\text{я}}$ - струм якоря двигуна.

Вимірювання струму якоря прямим методом викликає труднощі, тому вимірювання здійснюють за допомогою двох основних способів вимірювання індукції: прямого і непрямого.

При використанні прямих вимірювань магнітної індукції в пазах статора двигуна встановлюють додаткову обвитку, що створює певні труднощі, які і обмежують застосування цього методу.

При використанні непрямих вимірювань магнітну індукцію визначають за електрорушійною силою E обвитки двигуна:

$$B = \frac{E}{a_2 \omega}, \quad (1.9)$$

$$E = U - I_{\text{я}} R_{\text{я}} - U_{\text{к}}, \quad (1.10)$$

де U -напруга живлення; $R_{\text{я}}$ - опір обмотки якоря; $U_{\text{к}}$ - втрати напруги на щітках колектора; a_2 - коефіцієнт пропорційності; ω - частота обертання якоря двигуна.

Після підстановки (1.9) і (1.10) в (1.8) отримаємо алгоритм функціонування пристрою автоматичного контролю моменту:

$$M = \frac{a_1 I_{\text{я}} (U - I_{\text{я}} R_{\text{я}} - U_{\text{к}})}{a_2 \omega}. \quad (1.11)$$

Пристрої, які реалізують алгоритм (1.11), вимірюють електромагнітний момент, а не момент на валі електродвигуна, тобто не враховуються втрати потужності в приводі, що є основним недоліком методу.

Метод еквівалентних схем передбачає створення моделі електродвигуна відповідно до заступних схем. Якщо параметри моделі підібрати так, що при живленні двигуна моделі від одного джерела напруги струми двигуна і моделі рівні, то електромагнітна потужність двигуна буде відповідати потужності на резисторі, що імітує опір якоря.

Зрівноваження здійснюється за модулем струму, який споживається схемою моделі, або за модулем і фазою струму одночасно.

Процес вимірювання піддається автоматизації. Точність цього методу не дуже висока, а схема пристрою досить складна, тому практичне застосування знаходять затупні схеми із зрівноважуванням лише за модулем струму, який споживається вимірювальною схемою.

Найбільш розповсюдженим є метод діаграм приводу. Вважають, що момент на валі двигуна пропорційний до струму якоря:

$$M = a_3 I_{\text{я}} \quad (1.12)$$

або до потужності P , яка споживається електродвигуном:

$$M = a_4 P, \quad (1.13)$$

де a_3, a_4 - коефіцієнти пропорційності .

Однак, ці методи мають суттєву похибку, що виникає внаслідок нелінійності залежностей струму або потужності від моменту на валі електродвигуна.

Точність контролю підвищують, враховуючи втрати потужності в двигуні шляхом вимірювання к.к.д. двигуна. Тоді:

$$M = a_4 U_{\eta} P, \quad (1.14)$$

де $U_{\eta} = a_5 \cdot \eta$ - напруга , яка пропорційна к.к.д. η двигуна; a_4, a_5 - коефіцієнти пропорційності.

Пристрої контролю, які реалізують алгоритм (1.14), мають незначну похибку, оскільки к.к.д. залежить не лише від струму навантаження двигуна, але і від напруги живлення.

Більш досконалі є пристрої, що враховують втрати пружності в елементах приводу і використовують такі алгоритми функціонування:

$$M = a_3(P - P_{xx}), \quad (1.15)$$

$$M = a_6(P - P_{xx} - \Delta P), \quad (1.16)$$

де P_{xx} – втрати потужності холостого ходу; $\Delta P = I^2 r_d$ – втрати потужності в обвитках статора електродвигуна; r_d – опір обвитки двигуна; I – струм статора; a_3, a_6 – коефіцієнти пропорційності.

Однак, пристрої, що реалізують алгоритми (1.15) і (1.16), мають значну похибку вимірювання, викликану зміною швидкості обертання ω електродвигуна. Тому підвищити точність контролю моменту на валі механізмів можна шляхом використання алгоритмів, які враховують швидкості обертання:

$$M = \frac{a_5(P - P_{xx})}{a_7 \omega}, \quad (1.17)$$

$$M = a_6(P - P_{xx} - \Delta P), \quad (1.18)$$

де a_7 – коефіцієнт пропорційності.

До комплексу пристроїв, що реалізують алгоритми (1.11, 1.17, 1.18) входять тахогенератори для вимірювання швидкості обертання валу, на якому контролюється крутний момент.

Якщо вимірювання швидкості обертання валу за допомогою тахогенератора неможливе, то використовують непрямий метод контролю цього параметру, який базується на обробці потоку енергії, що поступає до електродвигуна [35,36]:

$$\omega = \omega_0 - a_8 P_B \quad (1.19)$$

де ω_0 – синхронна частота обертання двигуна, яка задається за допомогою стабілізатора регульованої напруги; a_8 – коефіцієнт пропорційності.

У пристроях такого типу необхідним є використання давача активної потужності і блоку обчислювальних операцій.

1.4. Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання реологічних характеристик ПВХ

Технологічному процесу виробництва ПВХ, як і будь-якому іншому технологічному процесу, властиві коливання показників $Z(t)$ якості. Під якістю в широкому змісті розуміють сукупність корисних експлуатаційних або виробничо-технологічних властивостей, що характеризують продукцію [9,10]. Як відзначалося вище, універсального показника, придатного для характеристики якості ПВХ не існує, тому для наступного аналізу була вибрана [8] група параметрів, які найбільше характеризують цю продукцію, а саме: ступінь полімеризації, що оцінюється константою Фікентчера K_f , густина, в'язкість та концентрація.

Концентрацію латексу, як правило, визначають шляхом його коагуляції за допомогою електролітів. Полімер відокремлюють фільтруванням, промивають водою і просушують до досягнення сталої маси під вакуумом або в сушильній шафі при температурі не більше 60°C . Концентрацію латексу можна також визначити, користуючись графіком [8] залежності концентрації латексу C від його густини ρ (рис. 1.6).

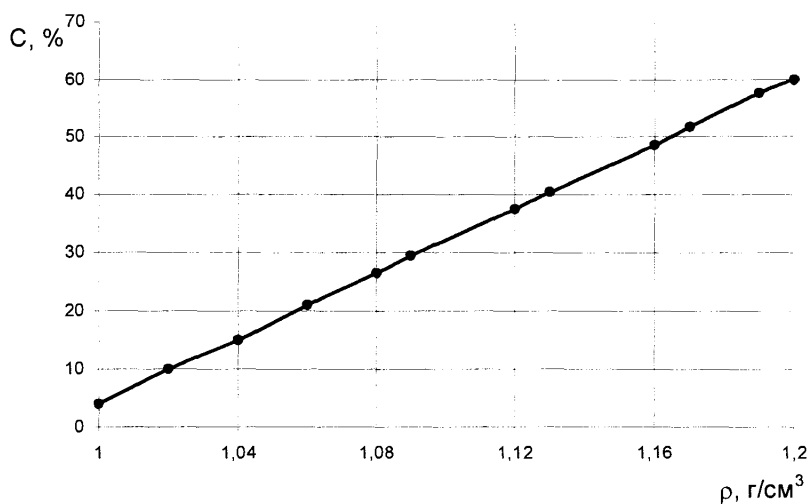


Рис.1.6. Графік залежності концентрації латексу C від густини ρ

У свою чергу, константа K_{ϕ} також пов'язана із концентрацією розчину латексу, тому можна зробити висновок, що найбільш розповсюдженими реологічними характеристиками ПВХ є густина і в'язкість.

Для вимірювання густини використовують спеціальні прилади – густиноміри, які можна розділити на такі групи [40÷48]: поплавкові, вагові, гідростатичні, п'єзометричні, радіоактивні, вібраційні.

Недоліком поплавкових густиномірів є суттєві похибки вимірювання, які виникають під впливом вмісту газу в рідині і її адгезії на чутливих елементах рівнемірів – поплавках.

Недоліками вагових густиномірів [40-44] є відносно низька надійність приладів, а також випадкова похибка, яка виникає від налипання часток розчину на стінки вимірювального елемента.

Недоліками гідростатичних густиномірів, розроблених ОКБ НПО «Хімавтоматика» [43] є малий діапазон вимірювання густини, велика похибка вимірювання, мала в'язкість рідини, що досліджується, можливість роботи лише при температурі $+5...+50^{\circ}\text{C}$. Для вимірювання густих речовин у виробництві ПВХ ці прилади непридатні.

У вібраційних густиномірах використовується перетворення контрольованого параметра в частотно-модульований сигнал [43,46]. Відомі вібраційні густиноміри зарубіжних фірм I. Agar (Велика Британія), Schlumberger (Франція) та ін. Недоліками їх є вплив адгезії на точність вимірювання і низька надійність.

Недоліками п'єзометричних густиномірів є обмежений діапазон вимірювання і залежність результатів вимірювання від величини тиску стисненого повітря та базової відстані між торцями двох п'єзометричних трубок.

Радіоактивні густиноміри в умовах виробництва ПВХ є найбільш перспективними, оскільки за їх допомогою можна забезпечити неперервний контроль густини речовин, що полімеризуються, суспензій, агресивних рідин безконтактним методом в ємностях під високим тиском, у важких умовах

експлуатації. Але і ці густиноміри мають основну похибку вимірювання $\pm 2\%$. Слід зауважити, що згідно з Міжнародною конвенцією, використання цих приладів заборонено, однак, введення конвенції в дію відкладено ще на 5 років. Ці прилади були використані при проведенні експериментів.

Крім густини латексу, для оцінки властивостей контрольованого об'єкту необхідно мати інформацію про його в'язкість. Відомі методи вимірювання в'язкості базуються на використанні математичних залежностей, що описують протікання процесів у контрольованому середовищі. В сучасних віскозиметрах течію рідин вимірюють у вигляді таких потоків: капілярних, кюветних, ковзаючих, нестационарних шарових [48]. Відповідно, для вимірювання в'язкості використовують [45] капілярні, потенційні, ультразвукові, з падаючою кулькою, і крутні віскозиметри [46-47].

До віскозиметрів, що задовольняють умови неперервного контролю технологічних процесів, можна віднести лише капілярні і ротаційні [48].

Капілярні віскозиметри мають високу чутливість, але внаслідок певних недоліків вони не є розповсюдженими в системах автоматичного контролю. Основним недоліком їх є необхідність створювати постійну об'ємну витрату контрольованої рідини. Відомий пристрій, в якому об'єднані переваги ротаційного і капілярного методів вимірювань в'язкості [47,52]. Однак, необхідність стабілізації перепаду тиску ускладнює конструкцію такого пристрою, а підвищення вимог до умов експлуатації (відсутність вібрацій) обмежує область його застосування і робить неможливим використати у виробництві ПВХ. Тому в умовах ЗАТ "Лукор" використовується віскозиметр капілярний ВПЖ-1 з внутрішнім діаметром капіляру 54 мм і методикою вимірювання, передбаченою стандартом [20].

Згідно до стандарту [20] проводять чотири вимірювання, але результати першого вимірювання не враховують. Вимірювання повторюють, якщо результати вимірювань відрізняються більше, ніж на 0,2с. Обробка результатів експериментів проводиться згідно до методу визначення в'язкості X і K_{ϕ} [20].

В'язкість X в $\text{см}^3/\text{г}$ розраховують за формулою:

$$X = \frac{t - t_0}{t_0 \cdot C}, \quad (1.20)$$

де t — середнє значення часу витікання розчину, с; t_0 — середнє арифметичне часу витікання розчинника, с; C — концентрація розчину, $\text{г}/\text{см}^3$, що обчислюється за формулою $C = m/50$, де m — наважка полівінілхлориду, г.

В'язкість X розраховують з точністю до $0,5 \text{ см}^3/\text{г}$.

Значення K_ϕ розраховують за формулою:

$$K_\phi = \frac{10^{-3} \left[(1,5 \log \eta_{\text{відн}} - 1) + \sqrt{1 + \left(3 + \frac{300}{C} + 2,25 \log \eta_{\text{відн}} \right) \log \eta_{\text{відн}}} \right]}{150 + 3C}, \quad (1.21)$$

де $\eta_{\text{відн}}$ — відносна в'язкість, що розраховується за формулою:

$$\eta_{\text{відн}} = \frac{t}{t_0}, \quad (1.22)$$

де t — середнє арифметичне часу витікання розчину, с; t_0 — середнє арифметичне часу витікання циклогексану, с.

Значення в'язкості X і константи K_ϕ визначають залежно від відносної в'язкості $\eta_{\text{відн}}$ також за таблицею [20].

Отже, аналіз сучасних методів контролю K_ϕ з точки зору їх застосування в умовах реактора полімеризації ПВХ показує, що відсутні методи, які дозволяють отримати інформацію в режимі реального часу про ступінь полімеризації ПВХ. Результати аналізу показують, що для побудови системи контролю якості процесу полімеризації ПВХ необхідним є метод прямих вимірювань.

Враховуючи викладене вище, можна зробити висновок, що сьогодні відсутні засоби контролю реологічних властивостей ПВХ з відповідним метрологічним забезпеченням, які можуть бути використані для неперервного контролю ступеня полімеризації ПВХ у реакторі процесу полімеризації.

1.5. Постановка задачі досліджень

Як показує практика, виробництво емульсійного полівінілхлориду ПВХ-Е залишається одним із найбільш перспективних для отримання пластизолів. При

цьому особлива увага надається контролю технологічного процесу на стадії полімеризації вінілхлориду, від якого залежить якість кінцевого продукту, а також безпосередньо методам контролю його якості.

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва ПВХ-Е як об'єкта контролю показав, що він є неперервним в часі, розподіленим в просторі і включає значну кількість технологічних об'єктів, які вимагають постійного контролю.

Проаналізовано сучасний стан контролю ступеня полімеризації ПВХ-Е константи K_{ϕ} у процесі його виробництва, в результаті чого встановлено, що контроль константи K_{ϕ} ведеться за допомогою непрямих методів визначення концентрації і відносної в'язкості з великим запізненням у часі, що не забезпечує оперативний персонал необхідною інформацією. Несвочасність отримання інформації оперативним персоналом при існуючих методах і техніці контролю константи K_{ϕ} вимагає дослідження властивостей процесу полімеризації вінілхлориду, як контрольованого об'єкту, з метою вибору технологічних параметрів, що несуть в собі інформацію про хід процесу полімеризації вінілхлориду.

Однак, складність створення такого методу контролю K_{ϕ} зумовлена імовірнісним характером і зміною контрольованих параметрів у часі, відсутністю пристроїв для безпосереднього вимірювання константи K_{ϕ} , а також методів розрахунку ступеня полімеризації ПВХ в діапазонах тиску і температури, властивих реактору полімеризації вінілхлориду, що приводить до розрахунку K_{ϕ} з великим запізненням у часі за результатами лабораторного аналізу в'язкості і концентрації латексу. Тому необхідно ввести комплексний показник якості полівінілхлориду K , який характеризував би хід технологічного процесу і який можна було б визначати в неперервному режимі, використовуючи для цього інформацію про значення споживаної потужності приводу на валі мішалки. З цією метою необхідним встановлення зв'язку між активною потужністю і іпоказником K з врахуванням впливаючих факторів та

оцінити точність такого зв'язку. Виходячи з викладеного, в дисертаційній роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити узагальнену модель реактора полімеризації ПВХ-Е, як об'єкта контролю;
- дослідити взаємозв'язок параметрів процесу виробництва ПВХ-Е зі споживаною потужністю на валі мішалки реактора полімеризації ПВХ-Е;
- ввести комплексний показник якості K процесу полімеризації і дослідити його взаємозв'язок зі споживаною потужністю;
- на основі встановленого взаємозв'язку споживаної потужності на валі мішалки з комплексним показником якості K розробити метод і пристрій неперервного контролю K та провести його дослідження;
- розробити методи і засоби повірки каналу вимірювання потужності та провести їх промислову апробацію.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПВХ-Е

Для розробки методу контролю якості полівінілхлориду необхідно розглянути модель реактора полімеризації ПВХ-Е, виявити інформаційні показники процесу полімеризації ПВХ-Е, дослідити їх статистичні характеристики та встановити взаємозв'язок параметрів процесу виробництва зі споживаною потужністю на валі мішалки.

2.1 Узагальнена модель реактора полімеризації ПВХ-Е як об'єкта контролю

Реактор полімеризації ПВХ-Е є основним елементом хіміко-технологічної системи виробництва ПВХ-Е. Мета функціонування реактора полімеризації - забезпечення певного фізико-хімічного впливу на технологічні потоки вінілхлориду та емульсійної води за допомогою зміни параметрів стану і ефективного змішування. Процес змішування в реакторі полімеризації здійснюється за допомогою лопатевої мішалки з електричним приводом.

Успішний розв'язок задачі контролю процесу виробництва ПВХ передбачає наявність математичної моделі об'єкта контролю, що відображає зв'язки інформативного параметра з контрольованими показниками якості ПВХ. Враховуючи, що процес полімеризації ПВХ є складним хіміко-технологічним процесом, його модель повинна бути деяким компромісом між достатньою простотою опису процесів, що моделюються, і складними ефектами (такими, як обрив ланцюга, адгезія тощо), що існують в реальному процесі. Будемо вважати, що при вивченні хіміко-технологічних процесів використовують гомоморфні моделі двох класів: узагальнені і математичні (рис.2.1) [9].

З точки зору поставлених в роботі задач найбільш цікавими є символічні математичні моделі, які стосовно реальної хіміко-технологічної системи є

сукупністю математичних співвідношень у вигляді формул, рівнянь, операторів, логічних умов або нерівностей, що визначають характеристики стану матеріальних та енергетичних потоків хімічних продуктів на виході системи в залежності від параметрів вхідних технологічних потоків, технологічних параметрів, параметрів стану елементів системи. Така модель є результатом створення чіткого формально-математичного опису процесу функціонування реактора полімеризації ПВХ з необхідним ступенем наближення до дійсності.

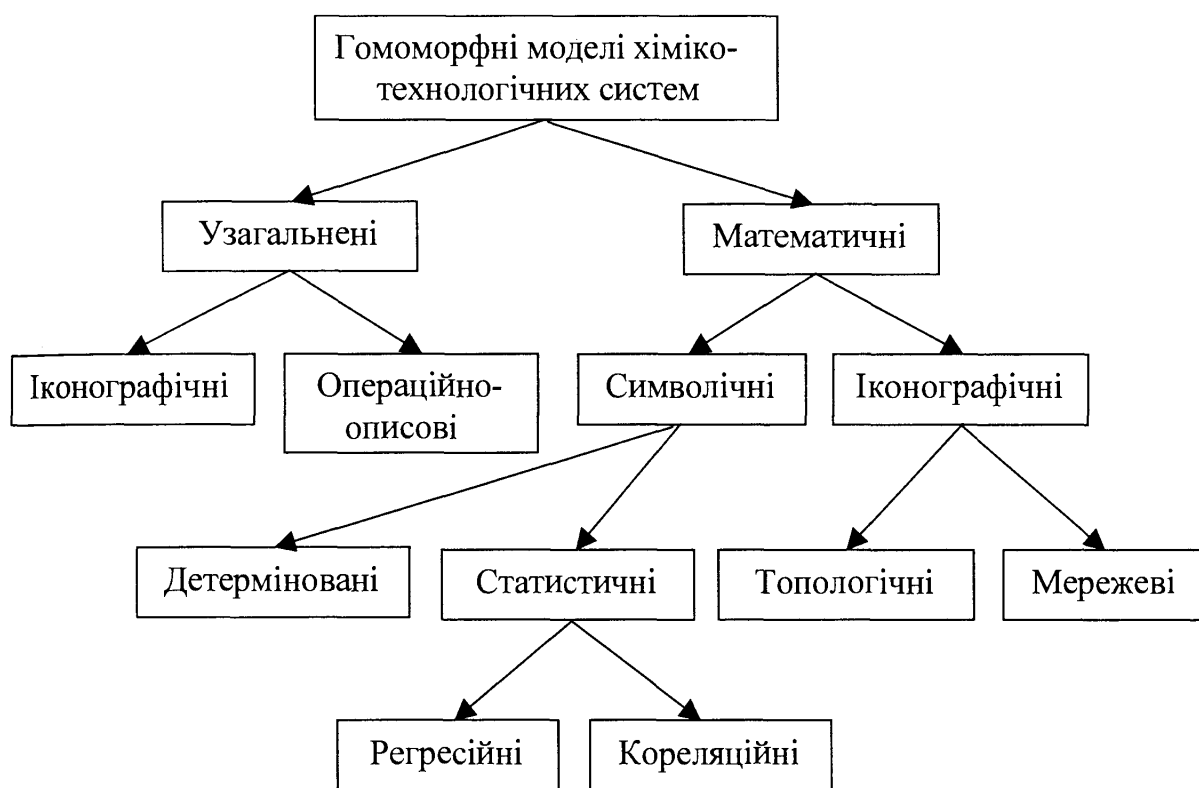


Рис.2.1. Класифікація моделей хіміко-технологічних процесів

При цьому можуть бути використані два методи складання систем рівнянь: один базується на глибокому вивченні фізико-хімічної сутності процесу полімеризації, а другий – на використанні формально-емпіричних математичних залежностей, отриманих в результаті статистичного дослідження діючого процесу. Статистичні математичні моделі мають вигляд регресивних і кореляційних співвідношень між параметрами вхідних і вихідних технологічних потоків (розглянуті в першому розділі). Ці математичні моделі якісно і кількісно

більш вірно відображають процес функціонування і властивості системи навіть при наявності недостатньо точних (у кількісному відношенні) параметрів моделі і дозволяють досліджувати загальні властивості процесу полімеризації ПВХ-Е.

Оскільки побудова математичних моделей процесу полімеризації вінілхлориду здійснюється у просторі станів $Z(t)$, то необхідно мати інформацію про ступінь полімеризації вінілхлориду.

Відомі формули містять емпіричні коефіцієнти, які визначаються після завершення процесу полімеризації з великим запізненням у часі. Відсутність засобів контролю K_{ϕ} не дозволяє використовувати ці формули з метою неперервного керування процесом полімеризації ПВХ-Е.

Емпіризм математичних моделей K_{ϕ} , неможливість вимірювання в реальному режимі часу параметрів, що входять до їх складу, вузька область застосування є суттєвими недоліками. Однак, для того, щоб адекватно вирішувати задачі керування технологічним процесом полімеризації вінілхлориду, необхідно мати математичну модель з певними властивостями. При цьому в математичній моделі не повинно бути таких невимірюваних показників, як відносна в'язкість і число в'язкості, отже, потрібна модель контролю комплексного показника якості ПВХ.

Виходячи з викладеного, було використано комплексний аналітико-статистичний підхід для отримання інформаційних моделей і розв'язку задач контролю.

При дослідженні процесів функціонування реактора полімеризації ПВХ-Е будемо розглядати його як технологічний оператор, що якісно перетворює фізичні параметри вхідних матеріальних і енергетичних технологічних потоків вінілхлориду і емульсійної води $U(t), Y(t)$, рН_в(t) води, її твердості $T_{\text{в}}(t)$, вмісту кисню $a_2(t)$ у фізичні параметри вихідного продукту $Z(t)$.

Процес полімеризації ПВХ-Е є багатомірним технологічним оператором, символічна модель якого може бути записана у вигляді функціональної залежності:

$$Z_i(t) = F_i[U(t), Y(t), a, t], \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

де $Z(t)$ – вектор фізичних параметрів вихідного продукту.

у зв'язку з тим, що показники групи $Z(t)$ не дозволяють оперативно отримати інформацію про комплексний показник якості K , ввели додаткову групу показників процесу полімеризації: потужність на валі мішалки $P_v(t)$, момент на валі мішалки $M(t)$, швидкість обертання валу мішалки $\omega(t)$.

Для правильного вибору контрольованих величин визначимо клас задачі контролю K . Враховуючи, що процес полімеризації вінілхлориду є нестационарним випадковим процесом, який розвивається в часі, і між точками простору параметрів стану Z і простору спостережень Z_c немає однозначної відповідності, будемо вважати, що цей варіант контролю відповідає визначенню подій в умовах невизначеності [102].

Розглянемо джерела невизначеності:

- для контролю вибрана лише частина параметрів стану, тобто про стан об'єкта можна судити лише з деякою імовірністю;
- замість змінної стану вимірюється стохастично зв'язана з нею величина;
- має місце похибка вимірювання величини, джерелом якої є зовнішні параметри і похибка давача, що визначається його метрологічними характеристиками;
- має місце похибка персоналу під час обробки проб, при записах, передачі і введенні даних в ЕОМ, а також похибка, яка викликана неодноразовістю вимірювань.

Використання ефективної системи контролю константи K_ϕ може зменшити невизначеність стану об'єкта. Тому слід розглянути вплив системи контролю на невизначеність стану об'єкта – процесу полімеризації ПВХ-Е.

Для цього необхідно проаналізувати параметри і показники процесу полімеризації з точки зору виявлення найбільш інформативних параметрів, за допомогою яких можна було б контролювати процес полімеризації в режимі реального часу.

2.2 Інформаційні показники процесу полімеризації ПВХ-Е

Попередній аналіз процесу полімеризації ПВХ-Е [6,8.19] показує, що об'єкт дослідження достатньо складний, стохастичний і залежить від багатьох факторів. Детермінований підхід до аналізу властивостей процесу полімеризації ПВХ-Е не дає необхідного ефекту, тому найбільш доцільним є використання статистичного методу.

Коректність, а також інтерпретація результатів аналізу в значній мірі залежать від основних властивостей аналізованого процесу. Такими властивостями, в першу чергу, є нормальність процесу, його стаціонарність і ергодичність. Оцінка цих властивостей процесу полімеризації ПВХ-Е проводилась в умовах ЗАТ "Лукоор" за результатами промислових даних, отриманих для процесу полімеризації в різних режимах (Додаток А1).

З метою отримання інформації використовувалися серійні вимірювальні прилади, що експлуатуються на виробництві, які були повірені за відомими методиками.

Для відображення інформації про хід технологічного процесу використовувались наявні на пульті управління прилади, а саме:

- вторинні прилади: РПВ 4,3 Э, кл.1; РПВ 4,2 Э, кл.1; ПВ 1,1, кл.1; ПВ 10,1 Э, кл.1; ПВ 10,2 Э, кл.1, ОТР 361, кл.1; ППВ 1,1, кл.1; ПВ 3,2, кл.1;
- мости автоматичні: А5666-01-06, кл.0,5; ЕКА, кл.0,5; ВМК, кл.0,5; ЕКV, кл.0,5; КСМ-3, кл.0,5; КСМ-4, кл.0,5;
- потенціометри автоматичні: КСП-4; кл.0,5;
- логометри-сигналізатори: ЕМ-N; СЕ-N;
- логометри-індикатори: АV-N; А-N.

Вказані технічні засоби дозволили отримати необхідну інформацію про технологічні та енергетичні параметри, а також показники режиму полімеризації, яка була використана для наступних досліджень.

Отримані експериментальні дані були оброблялися на ПЕОМ за допомогою стандартних програм, що входять до програмного пакету для інженерних та наукових розрахунків типу MathCad 7.0.

2.2.1 Статистичні характеристики флуктуацій показників, що визначають якість процесу виробництва ПВХ-Е

За результатами експерименту, наведеними в Додатку А1, побудована реалізація флуктуації константи K_ϕ в часі (рис.2.2).

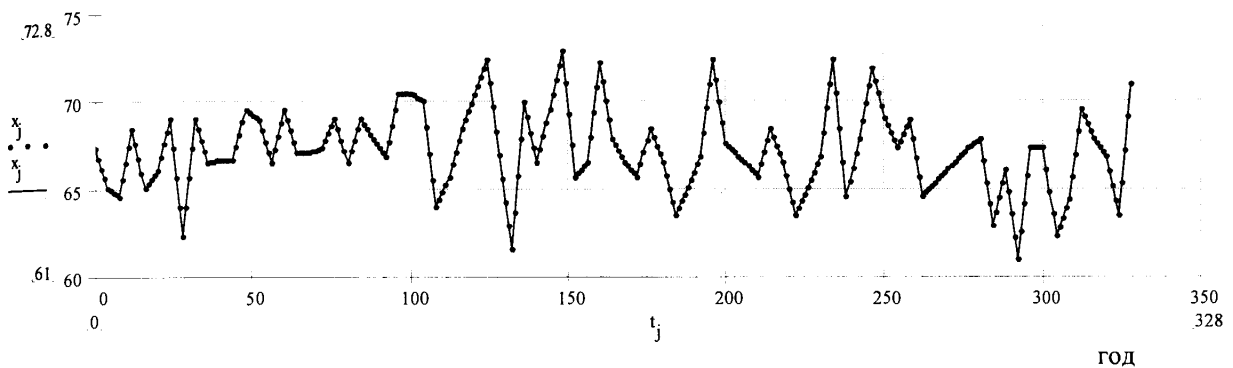


Рис. 2.2. Флуктуація константи K_ϕ у часі

Для встановлення закону розподілу K_ϕ була взята вибірка об'ємом $n=329$ значень на ділянці стаціонарності з кроком дискретизації $\Delta t=1$ год. Крок дискретизації і довжину реалізації вибрали з умови [49]: $T \geq (10 \div 20)T_{нч}$; $\Delta t \leq 0,5T_{вч}$; де $T_{нч}$ і $T_{вч}$ – періоди відповідно найбільш високочастотної і низькочастотної складових сигналу. Із сукупності значень K_ϕ після перевірки однорідності знайдені найменше $K_{\phi_{\min}}=61,0$ і найбільше значення $K_{\phi_{\max}}=72,8$.

Весь проміжок між ними розділений на рівні інтервали h , довжину яких визначили, користуючись формулою Стерджеса [50]:

$$h = (K_{\phi_{\max}} - K_{\phi_{\min}})(1 - 3,322 \cdot \lg n)^{-1} \quad (2.1)$$

Після підстановки числових значень одержали $h=1,3$.

Після встановлення шкали інтервалів і групування результатів вимірювання отримали дані для побудови гістограми, яка наведена на рис. 2.3.

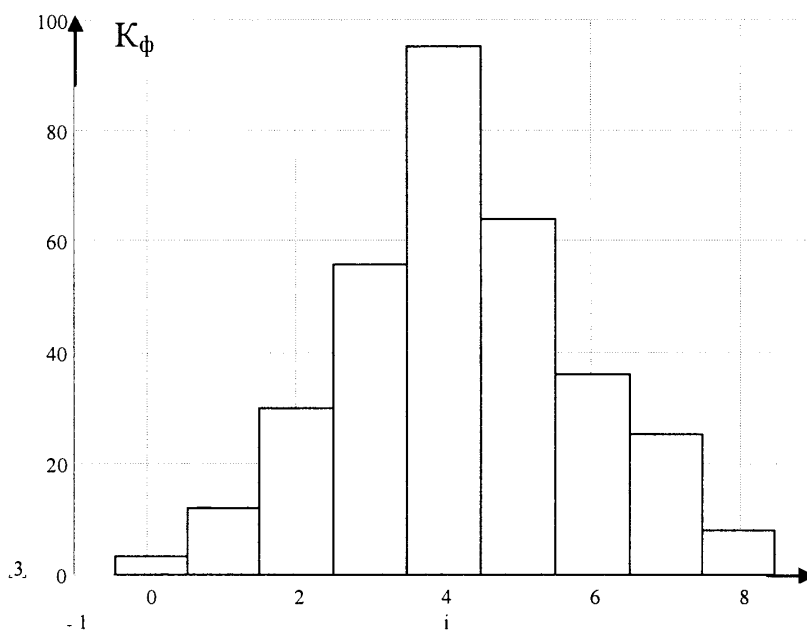


Рис. 2.3. Гістограма розподілу константи K_{ϕ}

Для досліджуваного розподілу застосували критерій узгодження Пірсона [50,51,59], щоб знайти ймовірність того, що досліджуваний розподіл є нормальним. Для даного розподілу вибрали рівень значущості $\alpha=0,05$. Порівняння теоретичного і емпіричного розподілів було проведено за критерієм Пірсона (табл.2.1).

У таблиці прийняті наступні позначення: m_i – теоретичне значення частот; $t = \frac{x_i - MX}{\sigma}$ – параметр функції Лапласа; $\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2A}} e^{-\frac{t^2}{2}}$ – щільність ймовірності нормального розподілу; $\Phi(x)$ – ймовірність інтервалів; m_i' – теоретичне значення частот.

В нашому прикладі $\chi^2=9,346$, $k=n-2-1=6$. Із додатку 10 [22] знаходимо значення ймовірності:

$$P(\chi^2=9,346)=0,1736,$$

з чого можна зробити висновок, що емпірична крива узгоджується з рівнем значущості 0,05.

Таблиця 2.1

Результати перевірки нормальності закону розподілу випадкової величини К

Но- мер інтер- валу	Поча- ток інтер- валу	Кі- нець інтер- валу	Сере- дина інтер- валу x_i	m_i	$t = \frac{x_i - M\bar{x}}{\sigma}$	$\varphi(t)$	$\varphi(x) = \frac{\varphi(t)h}{\sigma}$	$m'_i = \varphi(x_i)N$	$ m_i - m'_i ^2$	$\frac{ m_i - m'_i ^2}{m'_i}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	62,3	62,3	62,3	3	-2,596	0,014	0,0085	2,802	0,039	0,014
1	63,6	63,6	63,6	12	-1,984	0,056	0,035	11,347	0,392	0,034
2	64,9	64,9	64,9	30	-1,372	0,156	0,097	31,753	3,072	0,097
3	66,2	66,2	66,2	56	-0,76	0,299	0,185	60,959	24,596	0,403
4	67,5	67,5	67,5	95	-0,148	0,395	0,245	80,481	210,8	2,619
5	68,8	68,8	68,8	64	0,464	0,358	0,222	73,07	82,267	1,126
6	70,1	70,1	70,1	36	1,076	0,224	0,139	45,623	92,594	2,03
7	71,4	71,4	71,4	25	1,688	0,096	0,06	19,589	29,278	1,495
8	72,9	72,9	72,9	8	2,347	0,025	0,016	5,185	7,924	1,528
Сума										$\chi^2 = 9,346$

Вибіркові асиметрія і ексцес відповідно рівні:

$$A_k = 0,069, E_k = 0,056$$

Оскільки $|A_k| < 3\sqrt{D(A)}$ і $|E_k| < 5\sqrt{D(E)}$, то можна вважати закон розподілу K_ϕ нормальним.

Реалізація випадкового процесу $K_\phi(t)$ перевірялася на стаціонарність за тестом стаціонарності [53] згідно з гіпотезою про стаціонарність.

За результатами експериментальних даних $K_\phi(t)$ визначалася оцінка автокореляційної функції:

$$R_{K_\phi K_\phi}(k\Delta t) = \frac{1}{n-k} \sum_{i=0}^{n-k-1} K_{\phi_{i+k}} K_{\phi_i}$$

На рис.2.4 зображені графіки оцінки автокореляційної функції $R_{K_\phi K_\phi}(k\Delta t)$ і її нелінійної апроксимації рівнянням:

$$F(K_\phi, \alpha, \beta, \gamma) = e^{-\alpha|k|} \cos \beta |K_\phi| \cdot \cos \gamma |K_\phi|,$$

де $\alpha=0,096$; $\beta = -0,265$; $\gamma=0,143$.

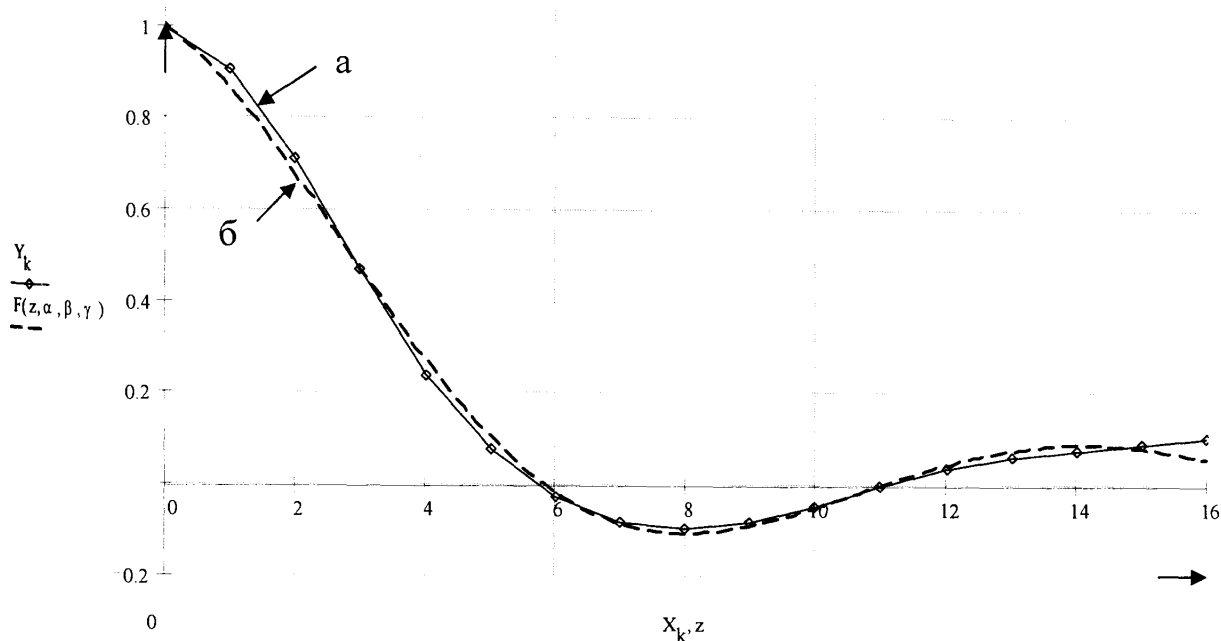


Рис. 2.4. Графіки зміни оцінки автокореляційної функції $R_{K_\phi K_\phi}(k\Delta t)$ (а) і її нелінійної апроксимації (б)

Похибка апроксимації складає $\delta_k = 5,795 \cdot 10^{-4}$. Із аналізу графіків автокореляційної функції $R_{K_\phi K_\phi}(k\Delta t)$ можна зробити наступний висновок: досліджена автокореляційна функція має властивість:

$$R_{K_\phi K_\phi}(k\Delta t) < R_{K_\phi K_\phi}(0),$$

що відповідає властивості позитивної визначеності.

Враховуючи те, що достатня умова ергодичності стаціонарного випадкового процесу $K_\phi(t)$ за математичним сподіванням:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} R_{K_\phi K_\phi}(k\Delta t) = 0$$

виконується, можна вважати, що досліджуваний процес ергодичний і, практично відсутня зміна автокореляційної функції в різних експериментах.

У зв'язку з тим, що математичне сподівання постійне, і автокореляційна функція є лише функцією зсуву між аргументом, можна вважати процес $K_\phi(t)$ стаціонарним у широкому розумінні. Це дозволяє достатньо коректно використати математичний апарат ергодичних випадкових процесів.

Для отримання вичерпної інформації про стан знесолоної та емульсійної води у визначений момент часу, необхідно знати закон розподілу кожного з компонентів у розчині та його чисельні характеристики.

Під час дослідженні випадкових процесів були проаналізовані статистичні сукупності з метою встановлення закону розподілу випадкових величин. Статистичні характеристики досліджуваних параметрів наведені в табл. 2.2, 2.3.

Відповідність одержаного розподілу нормальному закону перевірена за критерієм Пірсона χ^2 :

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}.$$

Послідовність вирівнювання і порівняння за χ^2 наведена в табл. 2.4 на прикладі рН емульсійної води. Результати експерименту взяті з Додатку А1.

У табл.2.4 прийняті позначення аналогічні до позначень у табл. 2.1

За експериментальними даними побудовані гістограми розподілу емпіричних частот для рН_в (Додаток А2, рис.1), а також для інших параметрів (Додаток А2, рис. 2.9).

Таблиця 2.2

Статистичні характеристики параметрів обезсоленої води

Статистичні характеристики	Параметри обезсоленої води			
	рН	СІ	О ₂	Тв
Математичне сподівання	7,503	0,227	0,077	$9,541 \cdot 10^{-3}$
Дисперсія	0,442	$3,684 \cdot 10^{-5}$	$1,116 \cdot 10^{-4}$	$1,773 \cdot 10^{-6}$
Середньоквадратичне відхилення	0,665	$6,07 \cdot 10^{-3}$	0,011	$1,331 \cdot 10^{-3}$
Центральний момент асиметрії	$-5,62 \cdot 10^{-3}$	$-3,195 \cdot 10^{-7}$	$-1,774 \cdot 10^{-6}$	$1,426 \cdot 10^{-9}$
Коефіцієнт асиметрії	-0,019	-1,429	-1,506	0,605
Центральний момент ексцесу	0,43	$4,846 \cdot 10^{-9}$	$9,418 \cdot 10^{-8}$	$7,183 \cdot 10^{-12}$
Коефіцієнт ексцесу	-0,803	0,571	4,569	-0,714

Таблиця 2.3

Статистичні характеристики параметрів емульсійної води

Статистичні характеристики	Параметри емульсійної води		
	рН	Р	М
Математичне сподівання	9,51	2,417	8,525
Дисперсія	0,073	1,284	3,968
Середньоквадратичне відхилення	0,27	1,133	1,992
Центральний момент асиметрії	$4,18 \cdot 10^{-4}$	1,057	$8,893 \cdot 10^{-3}$
Коефіцієнт асиметрії	0,021	0,726	$1,125 \cdot 10^{-3}$
Центральний момент ексцесу	0,013	6,914	38,254
Коефіцієнт ексцесу	-0,633	1,193	-0,57

Порівняння розподілів здійснили за критерієм Пірсона χ^2 . У даному прикладі $\chi^2=10,501$; $k=9-3=6$; $P(\chi^2)=0,1247$. Оскільки $P(\chi^2) > 0,05$, то різницю між емпіричним і теоретичним розподілом можна вважати випадковою, тобто емпірична крива добре узгоджується з кривою нормального розподілу.

Результати оцінки відповідності емпіричного розподілу до нормального закону для інших параметрів знесоленої та емульсійної води наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Результати оцінки відповідності емпіричного розподілу нормального закону

№ п/п	Параметр, що досліджується	Критерій χ^2	Ймовірність узгодження P	Відповідність нормальному закону ($P > 0,01$)
1	pH обезсоленої води	9,672	0,14	відповідає
2	Вміст кисню	10,676	0,584	відповідає
3	Твердість води	837,937	0,00	не відповідає
4	Вміст хлоридів	$6,54 \cdot 10^{14}$	0,00	не відповідає
5	Число М	15,298	0,0185	відповідає
6	Число Р	16,63	0,011	відповідає
7	pH емульсійної води	10,501	0,1247	відповідає
8	СО	44,924	0,00	не відповідає
9	ІН	41,325	0,00	не відповідає

З табл. 2.4 видно, що для рівня значущості 0,01 емпіричний розподіл узгоджується з теоретичним для рН_в, O₂, М, Р, рН_е. Для параметрів Т_в, Сl, СО, ІН ймовірність узгодження менша від 0,01, тобто розбіжність суттєва, що вимагає підбору іншого закону розподілу.

Кожному з цих законів відповідає своє значення дисперсії центру розподілу.

Для таких параметрів знесоленої води, як вміст хлоридів і твердість, де дисперсія має відповідно значення $\sigma_{Cl}^2 = 3,684 \cdot 10^{-5}$, $\sigma_{T_v}^2 = 1,773 \cdot 10^{-6}$, які наближаються до нуля, і ексцес додатній (табл. 2.2), криві розподілу ймовірностей наближаються до δ -функції Дірака. В додатку АЗ на рис.1–4 наведено графіки розподілу для рН_е, рН_в, O₂ і Т_в.

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що добре перемішані композиції характеризуються нормальним розподілом компонентів у суміші. Таким чином, дослідження закономірностей розподілу концентрації компонентів знесоленої і емульсійної води показують, що їм можуть відповідати теоретичні розподіли, які достатньо добре характеризуються першим і другим початковим та центральними моментами розподілу випадкових величин, що надалі можуть бути використані для оцінки отриманих сумішей.

2.2.2 Статистичні характеристики флуктуацій активної потужності електроприводу мішалки реактора полімеризації ПВХ-Е

Статистичні характеристики флуктуацій активної потужності електродвигуна мішалки досліджувалися на основі аналізу діаграми (рис.2.5) зміни потужності від часі $P(t)$, яку отримали за допомогою реєструючого приладу КСП-2, кл.0,5 і вимірювального перетворювача активної потужності трифазного струму Е849/7-М1, що виготовляється Вітебським ВО “Электроизмеритель”.

Основні технічні характеристики вимірювального перетворювача активної потужності наведені в додатку А4.

Для виявлення закону розподілу потужності P була взята вибірка об'ємом $n=149$ значень (Додаток А5) на ділянці стаціонарності з кроком дискретизації $\Delta t=1,5$ с, що визначений згідно до рекомендацій [49].

Із сукупності значень P після перевірки однорідності знайдені найменше $P_{\min}=3,648 \cdot 10^3$ Вт і найбільше значення $P_{\max}=3,873 \cdot 10^3$ Вт. Весь проміжок між ними розділений на рівні інтервали, довжина яких визначена за формулою Стерджеса [50]. Розрахована кількість інтервалів дорівнює 11.

Після встановлення шкали інтервалів і групування результатів вимірювання отримали дані для побудови гістограми.

Для досліджуваного розподілу застосували критерій узгодження Пірсона [50,51] з метою підтвердження нормального закону досліджуваного розподілу. Порівняння теоретичного і емпіричного розподілів провели за критерієм Пірсона χ^2 (табл. 2.5) для рівня значущості $\alpha=0,05$. У нашому прикладі отримали $\chi^2=7,138$, $k=n-2-1=8$. Із додатку 10 [22] знаходимо значення ймовірності:

$$P(\chi^2=7,138)=0,5366,$$

що вказує на узгодження емпіричної кривої з нормальною кривою і рівнем значущості 0,05.

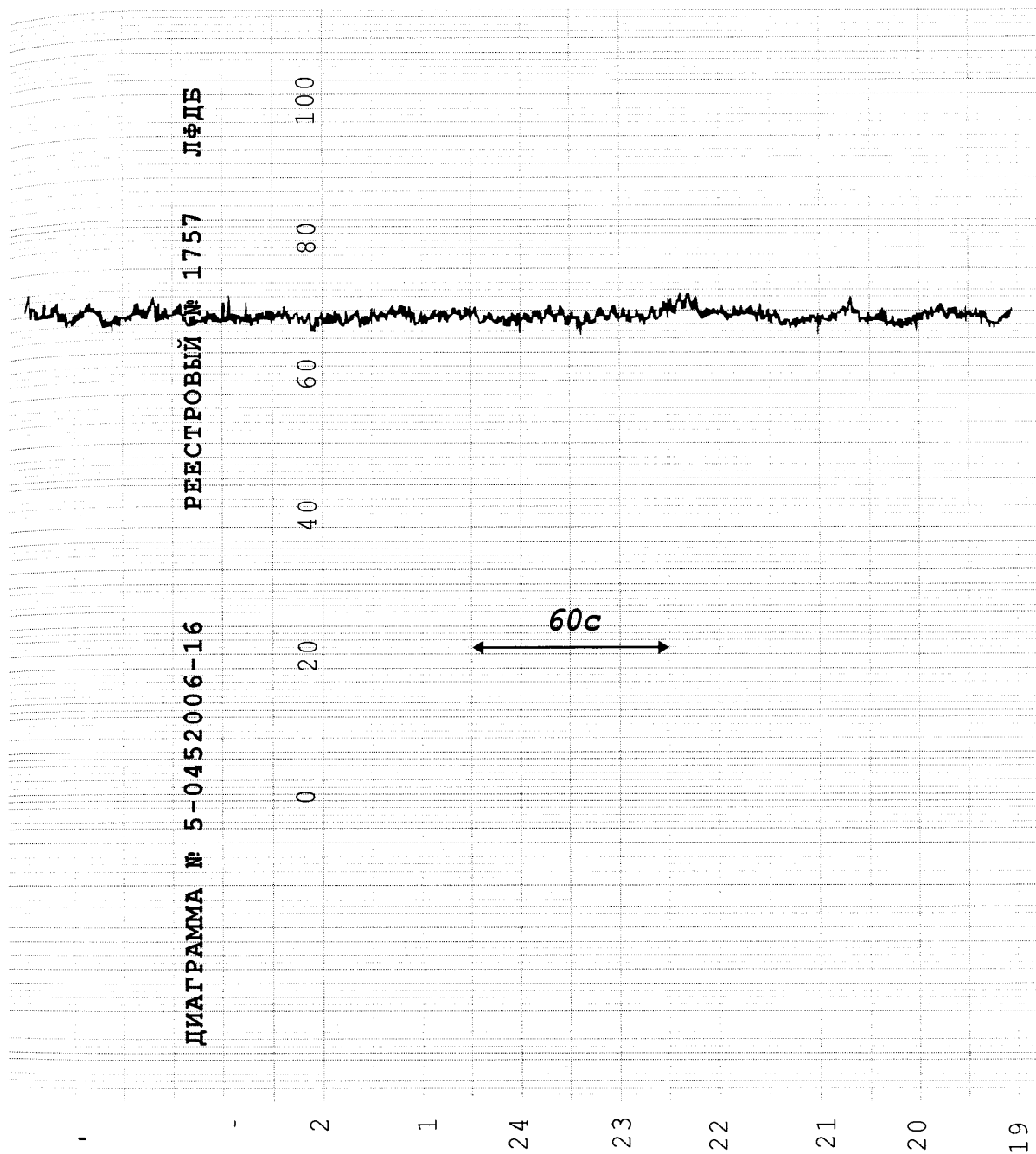


Рис. 2.5. Приклад запису зміни діаграми активної потужності електродвигуна мішалки в часі

Прийнявши гіпотезу про нормальний закон розподілу, визначили інші статистичні характеристики, які наведені в табл. 2.5.

За результатами експериментальних даних $P(t)$ визначена оцінка автокореляційної функції $R_{pp}(k\Delta t)$, що наведена на рис.2.6.

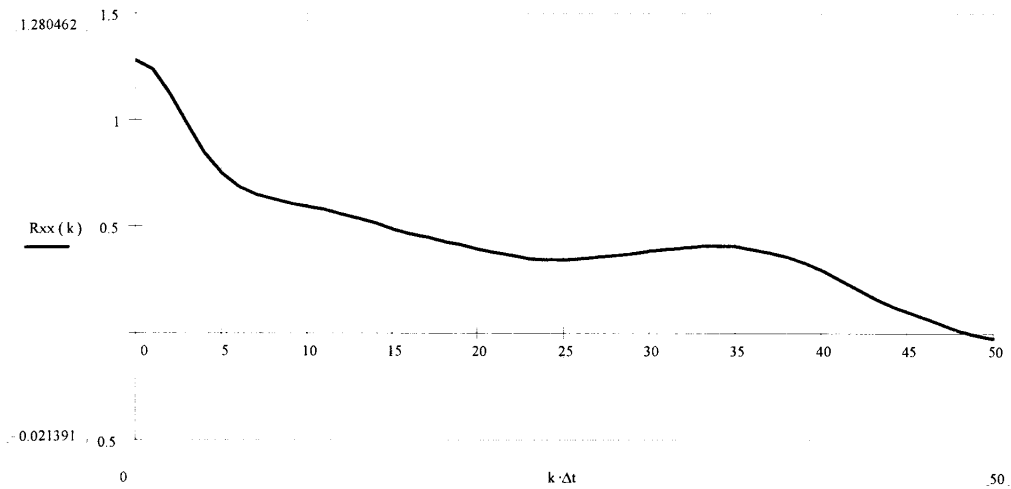


Рис.2.6. Графік оцінки автокореляційної функції $R_{pp}(k\Delta t)$

Апроксимація $R_{pp}(k\Delta t)$ здійснена нелінійним рівнянням:

$$F(P, \alpha, \beta, \gamma) = e^{-\alpha|P|} \cos(\beta|P|) \cos(\gamma|P|)$$

де $\alpha=0,427$, $\beta=3,65 \cdot 10^{-4}$, $\gamma=3,663 \cdot 10^{-4}$.

При цьому похибка апроксимації складає $\delta P=4,553 \cdot 10^{-3}$.

Виходячи з виконання достатньої умови ергодичності стаціонарного випадкового процесу $P(t)$ за математичним сподіванням $\lim_{K \rightarrow \infty} R_{xx}(k\Delta t) = 0$, вважаємо, що досліджуваний процес є ергодичним, та враховуючи, що математичне сподівання постійне, а автокореляційна функція є лише функцією зсуву між аргументом, вважаємо процес $P(t)$ стаціонарним у широкому розумінні.

2.2.3 Оцінки кореляційних функцій технологічних параметрів

Враховуючи, що для вирішення поставлених в роботі задач - вибору кроку квантування контрольованих параметрів залежно від часу, синтезу алгоритмів непрямих вимірювань, оцінки точності інтерполяції вимірюваних величин і складних показників, діагностування стану обладнання та вимірювальних каналів потрібні оцінки автокореляційних функцій, визначили їх на підставі експериментальних даних (Додаток А1) для параметрів знесоленої води

(рН_с, хлоридів, твердості, O₂) і емульсійної води (рН_в, СО, вмісту ініціатора).
Графіки оцінок автокореляційних функцій R_{cl}(kΔt), R_{рНс}(kΔt), R_{со}(kΔt), R_{тв}(kΔt),
R_м(kΔt), R_р(kΔt), R_{ін}(kΔt), R_{рНв}(kΔt), R_{O₂}(kΔt) наведені на рис.1-8 (Додаток А6).

Аналіз графіків автокореляційних функцій показує, що всі досліджені автокореляційні функції мають властивість:

$$R_{xx}(k\Delta t) < R_{xx}(0),$$

яка відповідає властивості позитивної визначеності. Крім того, оскільки достатня умова ергодичності, стаціонарності випадкових процесів Cl(t), рН_с(t), СО(t), T_в(t), M(t), P(t), ІН(t), рН_в(t), O₂(t) за математичним сподіванням $\lim_{K \rightarrow \infty} R_{xx}(k\Delta t) = 0$ виконується, можна вважати, що всі досліджувані процеси ергодичні. Аналіз показав, що практично відсутня зміна автокореляційних функцій названих параметрів у різних експериментах.

Для нелінійної апроксимації нормованих автокореляційних функцій (рис.1.9. Додатку А7) використане рівняння:

$$F(x, \alpha, \beta, \gamma) = e^{-\alpha|x|} \cdot \cos(\beta|x|) \cos(\gamma|x|), \quad (2.2)$$

після розв'язання якого були знайдені коефіцієнти рівняння і похибки апроксимації, зведені в табл. 2.5.

З рис. 1.9 (Додаток А7) видно, що апроксимація графіків автокореляційних функцій рівнянням (2.2) здійснена задовільно.

Таблиця 2.5

Коефіцієнти рівнянь нелінійної апроксимації автокореляційних функцій і похибки апроксимації

Кореляційна функція	Коефіцієнти рівнянь			Похибка апроксимації
	α	β	γ	
R _с (kΔt)	0,105	8,821·10 ⁻³	0,039	1,167·10 ⁻³
R _{рНс} (kΔt)	0,07	-1,288·10 ⁻³	6,561·10 ⁻³	1,14·10 ⁻³
R _{со} (kΔt)	0,1	0,025	3,119·10 ⁻³	2,971·10 ⁻³
R _{тв} (kΔt)	0,078	4,124·10 ⁻³	1,81·10 ⁻⁴	2,69·10 ⁻³
R _м (kΔt)	0,066	0,965·10 ⁻³	—	8,555·10 ⁻⁴
R _р (kΔt)	0,078	5,203·10 ⁻⁶	2,783·10 ⁻³	3,925·10 ⁻³
R _{ін} (kΔt)	0,058	-1,536·10 ⁻³	-1,433·10 ⁻³	5,604·10 ⁻³
R _{рНв} (kΔt)	0,055	0,035	0,04	5,529·10 ⁻⁴
R _{O₂} (kΔt)	0,152	-7,132·10 ⁻³	4,652·10 ⁻⁴	9,696·10 ⁻³

Користуючись графіками автокореляційних функцій, визначили необхідну періодичність контролю, яка забезпечує задану точність вимірювань.

Контроль технологічних параметрів виробництва ПВХ-Е в умовах ЗАТ “Лукор” здійснювався циклічно шляхом відбору і аналізу проб, але періодичність контролю не обґрунтовувалася. В той же час відомо, що вибір періоду контролю залежить як від швидкості зміни вимірюваного параметра в часі, так і від статичних та динамічних характеристик інформаційно-вимірювальної системи.

Тому для визначення періодичності контролю параметрів знесоленої води, емульсійної води і латексу використали статистичну інтерполяцію, яка дає для випадкових функцій мінімальне середньостатистичне відхилення кривої апроксимації від істинної кривої реалізації випадкової функції і здійснюється використанням за допомогою формули Лагранжа [54,55].

Як показує практика, найчастіше використовуються два найпростіші види статистичної інтерполяції: за однією ($n=1$) і двома ($n=2$) точками. Для цього використали дві формули, що зв'язують інтервали часу дискретних вимірювань із заданою похибкою апроксимації δ_3 через оцінки фіксованих точок автокореляційної функції $R_{xx}(t_0)$: для $n=1$ $\sigma_s^2 = R_{xx}(0) - \frac{R_{xx}^2(t_0)}{R_{xx}(0)}$,

$$\text{для } n=2 \quad \sigma_s^2 = R_{xx}(0) - \frac{R_{xx}(0)R_{xx}^2(t_0) - 2R_{xx}^2(t_0)R_{xx}(2t_0) + R_{xx}(0)R_{xx}^2(2t_0)}{R_{xx}^2(0) - R_{xx}^2(t_0)}.$$

За оцінкою кореляційних функцій знаходимо розрахункові періоди контролю параметрів виробництва ПВХ-Е, що наведені в таблиці 2.6.

З табл. 2.6 видно, що періодичність контролю технологічних параметрів при $\delta_3 = 2,5\%$, повинна бути для всіх параметрів $T \leq (1,05 \div 1,75)$ години, а для константи $K_\phi - T_k \leq 0,636$ години.

Правильний вибір періоду контролю дозволяє зберегти похибку у визначенні значень параметрів на інтервалі між моментами часу контролю. При зменшенні похибки апроксимації до $1,5\%$ періодичність контролю константи K_ϕ зменшується до $0,18$ години, що забезпечує неперервність контролю цього важливого показника якості ПВХ. На рис. 1-6 (Додаток А8) представлені графіки взаємно-

кореляційних функції $R_{KCl}(k\Delta t)$, $R_{KCO}(k\Delta t)$, $R_{K_{Tb}}(k\Delta t)$, $R_{K_M}(k\Delta t)$, $R_{K_P}(k\Delta t)$, $R_{K_{IH}}(k\Delta t)$, з яких видно, що взаємно-кореляційні функції досягають максимального значення відповідно через 16, 27, 12, 30, 33, 28 години. Тобто K_ϕ реагує на зміну параметрів обезсоленої і емульсійної води не миттєво, а з великими запізненням.

Таблиця 2.6

Розрахункова періодичність контролю технологічних параметрів виробництва ВХ-Е

Контрольований параметр	Періодичність контролю технологічних параметрів при різних значеннях похибки апроксимації δ_3 , години		
	$\delta_3=1,5\%$	$\delta_3=2,0\%$	$\delta_3=2,5\%$
Cl	0,64	0,94	1,41
pH _c	0,94	0,29	1,53
CO	0,58	1,0	1,31
T _b	0,64	0,96	1,29
M	0,64	1,15	1,4
P	0,48	1,03	1,27
IH	0,12	0,548	1,03
pH _b	0,75	1,226	1,792
O ₂	0,31	0,736	1,05
K_ϕ	0,18	0,36	0,636

Величина запізнення впливу параметрів С, СО, Т_в, М, Р, ІН на K_ϕ не дає можливості використати їх в якості інформативних параметрів для оперативного контролю показників якості реакції полімеризації. Отже, єдиним природним джерелом інформації про фізичні процеси в реакторі полімеризації і, в першу чергу, про ступінь полімеризації, є мішалка з електричним приводом.

2.2.4 Оцінка ефективного зв'язку константи K_ϕ з параметрами технологічного процесу виробництва ПВХ-Е

Для визначення впливу різних факторів на K_ϕ з'ясуємо статичний зв'язок між цими факторами і показником K_ϕ . Оцінку статичного зв'язку здійснено за допомогою коефіцієнта кореляції, який розраховали за формулою [59,99]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)S_x S_y}.$$

Вірогідність значення коефіцієнта кореляції оцінювали критерію надійності:

$$\theta_2 = \frac{|r_{xy}|}{\sigma_r}, \quad (2.3)$$

де $\sigma_2 = \frac{1 - r_{xy}^2}{\sqrt{n}}$ – середньоквадратичне відхилення коефіцієнта кореляції.

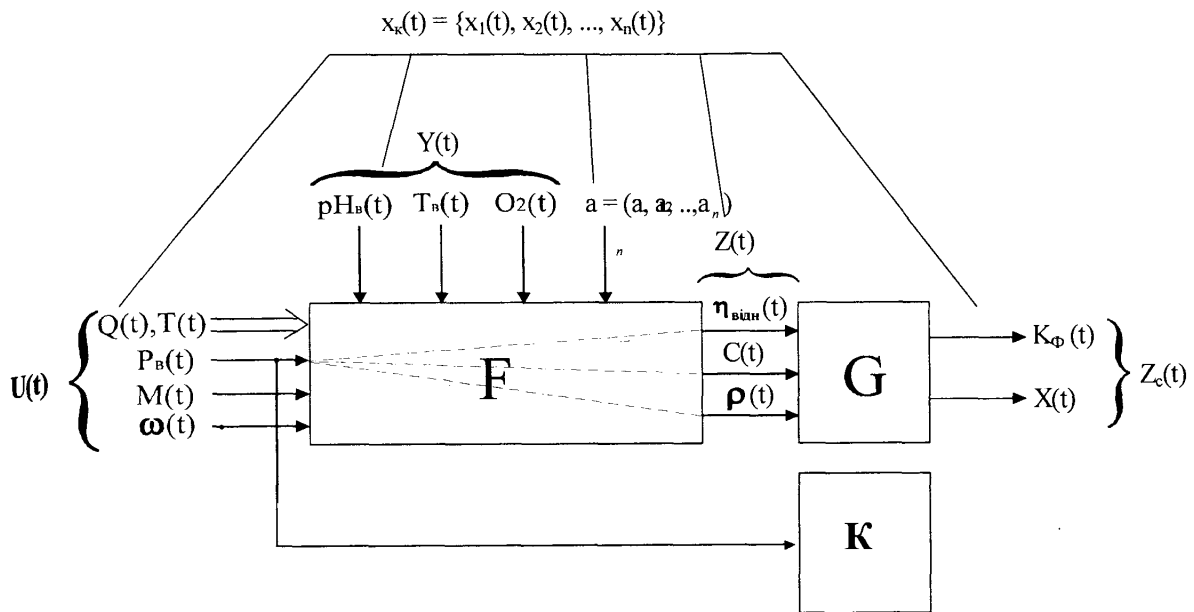
Відомо, що якщо $\theta_2 > 2,6$, то з ймовірністю 0,95 можна вважати, що між досліджуваними параметрами існує лінійний кореляційний зв'язок.

У таблиці 2.7 наведені результати розрахунків коефіцієнтів кореляції K_ϕ з параметрами обезсоленої і емульсійної води і концентрацією латексу, з якої видно, що критерію надійності $\theta_2 > 2,6$ відповідають лише три залежності $K_\phi = f_3(\text{Тв})$, $K_\phi = f_7(\text{рНв})$, $K_\phi = f_8(\text{O}_2)$.

Отримані рівняння регресії перевірені на адекватність за критерієм Ст'юдента. Враховуючи, що для рівня значущості $\alpha = 0,05$ розрахункове значення статистики Ст'юдента $t_{px1} = 3,267$, $t_{px2} = 4,487$, $t_{px3} = 6,558$ більше від величини $K_s = 1,97$, знайденої за таблицями розподілу Ст'юдента з числом ступенів свободи $f = 351$, вважаємо рівняння регресії адекватними.

Оскільки коефіцієнти кореляції для залежностей $K_\phi = f_1(\text{C})$, $K_\phi = f_2(\text{CO})$, $K_\phi = f_4(\text{M})$, $K_\phi = f_5(\text{P})$, $K_\phi = f_6(\text{IH})$, $K_\phi = f_9(\text{pHl})$ незначні, то це свідчить про відсутність кореляційного зв'язку. Для випадкових процесів $\text{CO}(t)$, $\text{IH}(t)$ з Гаусовим розподілом це означає статистичну незалежність. Останнє дає можливість спростити загальну модель "вхід-вихід" об'єкта контролю, яка зображена на рис.1.2 і представити її у такому вигляді (рис.2.7).

Оскільки, показник якості – константа Фікентчера K_ϕ , яка залежить від η, C, ρ кінцевого продукту не може бути показником контролю процесу полімеризації і не корелює із значеннями вхідних параметрів $U(t)$ та $Y(t)$, то виникла необхідність у визначенні такого комплексного показника якості ПВХ – K , який би був інформаційним параметром, що в комплексі залежить від вхідних, а значить, і від вихідних величин.



$Z_c(t)$ - простір спостереження,

$x_k(t)$ - контрольовані величини: вхідні $U(t)$, $Y(t)$, a ;

$Z_c(t)$ - вихідні показники процесу $K_\phi(t)$, $X(t)$.

Рис.2.7. Уточнена модель “вхід-вихід” процесу полімеризації вінілхлориду

Таблиця 2.7

Коефіцієнти кореляції константи K_ϕ з параметрами обезсоленої і емульсійної води і з концентрацією латексу

Залежність, що досліджується	Коваріація	Коефіцієнт кореляції, Z_{xy}	Критерій надійності значення Z_{xy} , θ_2 коефіцієнта кореляції
$K_\phi = f_1(C)$	-0,598	-0,098	1,85
$K_\phi = f_2(CO)$	-0,015	-0,019	0,358
$K_\phi = f_3(Tв)$	$-5,566 \cdot 10^{-4}$	-0,0172	3,37
$K_\phi = f_4(M)$	-0,427	-0,088	1,66
$K_\phi = f_5(P)$	-0,128	-0,046	0,86
$K_\phi = f_6(IH)$	$-1,779 \cdot 10^{-3}$	-0,077	1,44
$K_\phi = f_7(pHe)$	-0,377	-0,233	4,66
$K_\phi = f_8(O_2)$	$8,493 \cdot 10^{-3}$	0,33	7,02
$K_\phi = f_9(pHe)$	0,083	-0,126	2,42

Значення цього комплексного показника K дає можливість не тільки контролювати процес полімеризації, але і здійснювати неперервне його коригування.

На основі аналізу змін вхідних параметрів, визначення їх статистичних характеристик та взаємозв'язків між ними було встановлено, що потужність на валі двигуна мішалки є єдиним інформаційним параметром про весь технологічний процес полімеризації, який можна визначати в неперервному режимі, і значення якого залежить від усіх вхідних та фізико-хімічних параметрів.

Попередній вибір контрольованих найбільш суттєвих параметрів, що входять у цю модель, є неформальним. Частина параметрів не має адекватного зв'язку з K_{ϕ} . У зв'язку з цим у подальшому необхідно визначити вплив системи контролю, що розробляється, на невизначеність стану об'єкта і скорегувати обсяг контролю з врахуванням точності та методів вимірювання величин, зокрема потужності на валу мішалки.

2.3 Дослідження взаємозв'язку параметрів процесу виробництва ПВХ-Е зі споживаною потужністю на валі мішалки реактора полімеризації

Фізична природа процесів у реакторі ПВХ надзвичайно складна. Вона визначається комплексом різних за своїм походженням процесів, що не підлягають чіткому розмежуванню, а тому і вивченню цих процесів в класичному розумінні.

Для забезпечення ефективного контролю показників якості ПВХ як багатомірного динамічного об'єкта необхідно мати достатньо повну інформацію про змінні стану $Z(t)$. Однак, в реальних умовах виробництва ПВХ-Е (ЗАТ «Лукоор») не всі компоненти вектора стану $Z(t)$ доступні для вимірювань: або відсутні датчики, або деякі змінні принципово неможливо виміряти.

з урахуванням цього науковий інтерес представляє отримання інформаційної моделі, що дозволяє в загальному аналітичному вигляді описати основні фізичні залежності зв'язку потужності на валі мішалки, яка витрачається на змішування, з параметрами стану об'єкта.

У процесі, що досліджувався, приймали участь такі основні фізичні величини, які безумовно впливають на гідродинамічний режим системи: динамічна в'язкість η_s , густина ρ , концентрація C , кутова швидкість обертання ω мішалки, потужність P_v на валі мішалки.

Тому поставимо задачу дослідження залежності потужності P_v , що витрачається на змішування, від цих величин:

$$P_v = \varphi_1(\omega, \eta_s, \rho, C).$$

Перш за все розглянемо розподіл енергетичних потоків в об'ємі реактора ПВХ-Е з лопатевою мішалкою [57] і можливості контролю витрат потужності на змішування.

Енергія E , що підводиться до апарата, розподіляється на три потоки (рис.2.8): енергію, що витрачається безпосередньо на змішування; втрати енергії на створення пружних і пластичних деформацій в речовині, на тертя часток речовини; втрати на холостий хід, на зношування робочих органів, на різні види деформації робочих органів, втрати в окремих вузлах конструкції мішалки.

Відповідно до проведеної класифікацією енергетичний баланс мішалки можна записати у вигляді $E = E_3 + E_{33} + E_{нз}$, де E – підведена зовнішня механічна енергія; E_3 – енергія змішування; E_{33} – енерговитрати на процеси, що пов'язані зі змішуванням; $E_{нз}$ – енерговитрати на процеси, що не пов'язані зі змішуванням.

Енерговитрати $E_{нз} = E_{хх}$, де $E_{хх}$ – енергія, що витрачається на холостий хід.

Енерговитрати E_{33} складаються з енергії на тертя E_t , на пластичну деформацію E_d і втрат енергії E_v , що розсіюються в незайнятому об'ємі V апарату, тобто

$$E_{зз} = E_T + E_D + E_v.$$

Єдиним елементом, за допомогою якого можна контролювати витрати енергії на змішування, є електродвигун мішалки, а контрольованими параметрами – потужність P_1 , споживається ним, і швидкість обертання ω .

Виміряна потужність P_1 , відповідно до енергетичної діаграми, яка приведена рис. 2.8, може бути подана у вигляді таких складових:

$$P_1 = \Delta P_k + \Delta P_{дв} + \Delta P_c + \Delta P_p + \Delta P_{мех} + \Delta P_{дод} + \Delta P_{ред=} + \Delta P_{ред\sim} + P_v, \quad (2.4)$$

де $\Delta P_k = r_k l (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2)$ – втрати потужності в кабелі; r_k – питомий опір кабелю, Ом/км; l – довжина кабелю, км;

I_A, I_B, I_C – струми в фазах А, В, С, які залежать від в'язкості, концентрації і густини ПВХ-Е; $\Delta P_{дв} = 3I^2 r_{дв}$ – втрати потужності в двигуні; $r_{дв}$ – активний опір обвитки двигуна.

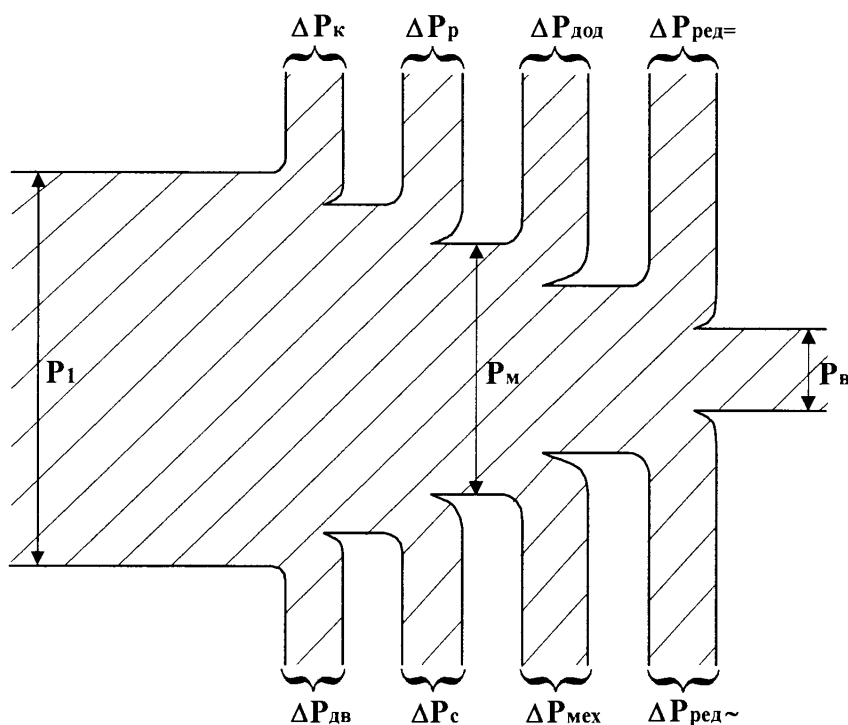


Рис. 2.8. Енергетична діаграма електродвигуна лопатевої мішалки реактора ПВХ-Е

ΔP_c – втрати потужності в сталі двигуна від гістерезису і вихорових струмів;

ΔP_p – втрата потужності в обмотці ротора;

$P_{\text{мех}}$ – механічні втрати потужності в двигуні, що зумовлені тертям в підшипниках і ущільненнях;

$\Delta P_{\text{дод}}$ – пульсаційні і поверхневі втрати потужності, що виникають в зубцях статора і ротора при обертанні ротора внаслідок пульсації потоку, що проходить в зубець, а також втрат, що викликані вищими гармоніками намагнічувальних сил при навантаженні;

$\Delta P_{\text{ред=}}$ – втрати потужності на тертя в редукторі при холостому ході;

$\Delta P_{\text{ред}\approx}$ – втрати потужності в редукторі, що залежать від навантаження на валі мішалки.

Тоді маємо вираз для потужності на валі мішалки у такому вигляді [88,99]:

$$P_{\text{в}} = P_1 - \Delta P_{\text{к}} - \Delta P_{\text{дв}} - \Delta P_{\text{с}} - \Delta P_{\text{р}} - \Delta P_{\text{мех}} - \Delta P_{\text{дод}} - \Delta P_{\text{ред=}} - \Delta P_{\text{ред}\approx}$$

$$\text{або} \quad P_{\text{в}} = P_1 - P_{\text{хх}}, \quad (2.5)$$

де $P_{\text{хх}} = \Delta P_{\text{к}} + \Delta P_{\text{дв}} + \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{дод}} + \Delta P_{\text{ред=}} + \Delta P_{\text{ред}\approx}$ – потужність холостого ходу, яка є постійною величиною для даного електродвигуна і механізму мішалки при відсутності навантаження.

Користуючись рівнянням (2.5), можна визначити потужність на валі мішалки $P_{\text{в}}$ на підставі результатів вимірювань поточного значення активної потужності P_1 і потужності холостого ходу $P_{\text{хх}}$.

Однак, треба враховувати, що вимірюване значення активної потужності P_1 відрізняється від дійсного значення потужності P , виміряного безпосередньо на затискачах електродвигуна, на величину втрат потужності в кабелі $\Delta P_{\text{к}}$ довжиною $l \neq 0$.

Відносна похибка вимірювання активної потужності в цьому випадку дорівнює:

$$\Delta_p = \left(\frac{P_1 - P}{P} \right) \cdot 100 \%. \quad (2.6)$$

Підставляючи у (2.5) значення P_1 із (2.4), отримаємо:

$$\Delta_p = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{\sqrt{3} U_0 I_0 \cos \varphi} \cdot 100 \%, \quad (2.7)$$

де U_0, I_0 – напруга і струм на затискачах електродвигуна при довжині кабелю $l=0$.

Тепер розглянемо зв'язок показника K з параметрами стану об'єкта η_e, C, ρ і потужністю P_B . Пошук закономірності, яка зв'язує потужність на валі мішалки P_B з параметрами стану об'єкта η_e, C, ρ прямим шляхом, пов'язаний зі значними математичними труднощами, а апріорних даних про деталі процесу недостатньо. Тому використаємо метод визначення функціональних зв'язків шляхом порівняння розмірностей [58]. Бачимо, що в системі одиниць L, M, T з величин $P_B, \omega, \eta_e, \rho, C$, розмірності яких відповідно рівні:

$$[P_B]=L^2MT^{-3}, [\omega]=T^{-1}, [\eta]=L^{-1}MT^{-1}, [\rho]=L^{-3}M, [C]=L^{-3}N$$

неможливо скласти ніякої безрозмірної комбінації. Тому єдиним можливим виглядом зв'язку між $P_B, \eta, \rho, C, \omega$ є алгебраїчна функція.

Природньо шукати цю функцію у вигляді:

$$P_B = \omega^p \eta_e^s \rho^t C^r, \quad (2.8)$$

де p, s, t, r – невідомі показники степеня.

Прирівняємо розмірності лівої і правої частин рівняння (2.8):

$$L^2 MT^{-3} = T^{-p} L^{-s} M^s T^s L^{-3t} M^t L^{-3r} N^r = L^{-s-3t-3r} M^{s+t} T^{-p-s} N^r. \quad (2.9)$$

Рівняння (2.9) є інваріантним стосовно розмірів основних одиниць, тобто зберігається при збільшенні або зменшенні розміру основних одиниць, якщо показники степеня при відповідних символах розмірності основних одиниць лівої і правої частин будуть рівні.

Виходячи із цієї умови, отримаємо наступне рівняння для показників степеня:

$$\begin{aligned} -s-3t-3r &= 2; \\ s+t &= 1; \\ -p-s &= -3; \\ r &= 0. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Звідси

$$\begin{aligned} t &= -1,5; \\ s &= 2,5; \\ p &= 0,5. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Відповідно, рівняння (2.8) приймає такий вигляд:

$$P_B = \omega^{0,5} \eta_e^{2,5} \rho^{-1,5}. \quad (2.12)$$

Згідно до П-теорема [52], перехід від функції (2.8) до рівняння (2.12) здійснюється однозначно. Права частина рівняння (2.12) представляє у формальному вигляді комплексний показник K ; таким чином, існує зв'язок між параметрами стану об'єкта η_v , ρ , а значить і показника K , з потужністю P_v на валі мішалки. Стосовно концентрації C видно, що вона в явному вигляді у рівнянні (2.12) відсутня. Однак це не означає, що потужність на валі мішалки не має зв'язку з концентрацією C , оскільки концентрація латексу C , густина ρ і η_v зв'язані між собою лінійною функціональною залежністю [8,19].

Після встановлення зв'язку параметрів стану об'єкта з показником K проаналізуємо наявність кореляції потужності на валі мішалки P_v з цим показником, використавши результати спеціально спланованих і проведених в умовах діючого виробництва ПВХ-Е (ЗАТ «Лукор») експериментів.

2.4 Дослідження зв'язку споживаної потужності на валу мішалки реактора полімеризації ПВХ з комплексним показником якості полівінілхлориду K

Складний і багатоплановий характер взаємозв'язків фізико-механічних властивостей латексу ПВХ-Е з енергетичними показниками електродвигуна мішалки вимагає для розробки методу контролю виявлення кореляційних зв'язків між потужністю, яку споживає електродвигун мішалки, і показником K . Для того щоб повністю виключити елемент суб'єктивізму в розрахунках, обчислення кореляційних залежностей будемо проводити відповідно до правилами математичної статистики [10, 21,27, 51, 59, 60].

Початком встановлення кореляційної залежності є організація спеціальних спостережень, які описані в розділі 2.1, у результаті яких були отримані в необхідному обсязі і з достатньою точністю характеристики, які потрібні для аналізу.

Число парних вимірювань потужності P_B і показника K склало 22, що дало можливість прогнозувати стійкість отриманих кореляційних залежностей.

Розрахунок кореляційного рівняння почнемо з аналізу графіка $P=f(K)$ (рис.2.9), побудованого за результатами експериментальних спостережень (таблиця 2.8).

Характер графіка дозволяє зробити обґрунтоване передбачення про тип кореляційної залежності. Отже припускаємо, що має місце лінійна кореляційна залежність параметрів P і K :

$$P = aK + b. \quad (2.13)$$

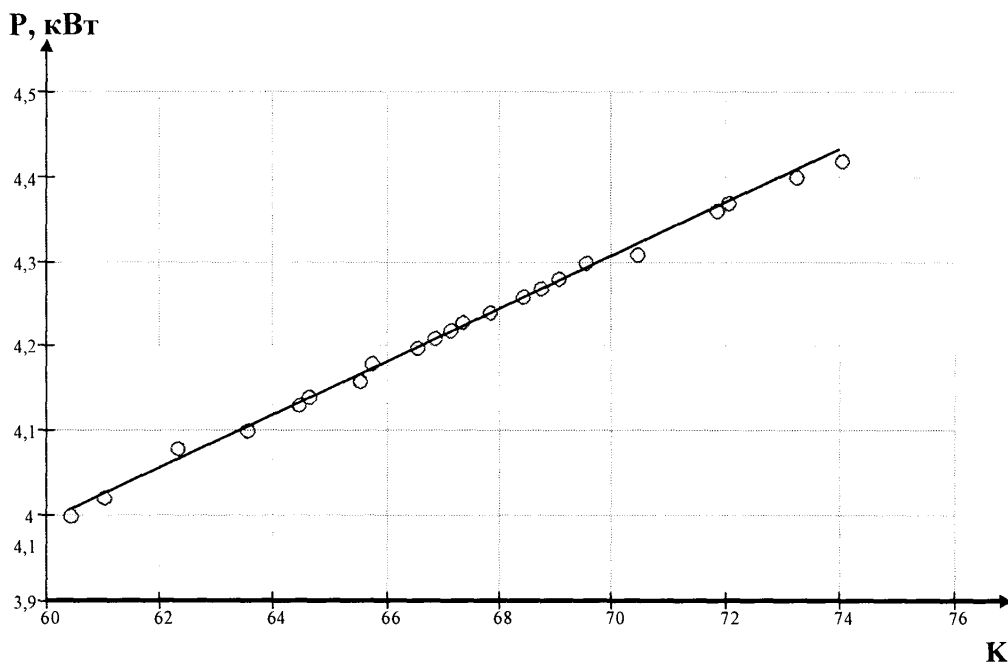


Рис. 2.9. Кореляційне поле залежності $P=f(K)$

Для розрахунку рівняння регресії будемо використовувати всю сукупність спостережень, оскільки серед результатів спостережень не виявлено точок що різко відрізняються від інших.

Враховуючи, що випадкові величини P і K_ϕ мають нормальний закон розподілу, як це було доведено в розділі 2.1 коефіцієнт кореляції r_n може бути використаний для оцінки тісноти зв'язку між цими змінними.

Таблиця 2.8

Результати експериментальних досліджень взаємозв'язку $P = f(K)$

№ п/п	K_ϕ	P	№ п/п	K_ϕ	P
1	60,4	4,00	12	67,3	4,23
2	61,0	4,02	13	67,8	4,24
3	62,3	4,08	14	68,4	4,26
4	63,5	4,10	15	68,7	4,27
5	64,4	4,13	16	69,0	4,28
6	64,6	4,14	17	69,5	4,30
7	65,5	4,16	18	70,4	4,31
8	65,7	4,18	19	71,8	4,36
9	66,5	4,20	20	72,0	4,37
10	66,8	4,21	21	73,2	4,40
11	67,1	4,22	22	74,0	4,42

Наступні розрахунки було виконано на ЕОМ і отримано такі результати:

$$a = 0,031, \text{ кВт}; \quad (2.14)$$

$$b = 2,143, \text{ кВт}; \quad (2.15)$$

$$P = 0,031K_\phi + 2,143, \text{ кВт} \quad (2.16)$$

Одночасно побудований графік залежності відхилень потужності P^* , що споживає електродвигун мішалки, від лінії регресії $P=f(K)$ при різних значеннях показника K , який зображений на рис.2.12.

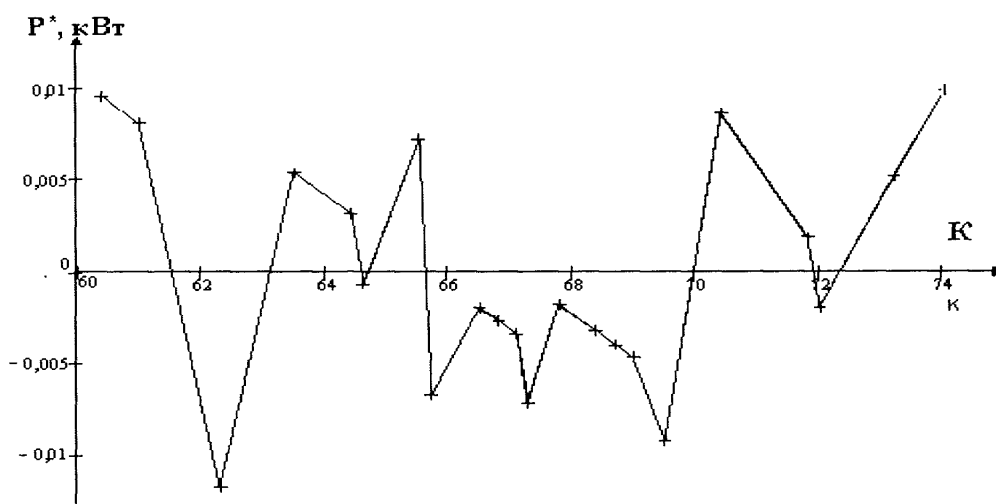


Рис.2.10. Графік залежності відхилень потужності P^* , що споживається електродвигуном приводу мішалки, від лінії регресії $P=f(K)$ при різних значеннях комплексного показника якості K

Бачимо, що максимальне відхилення потужності P^* від лінії регресії $P = f(K)$ не перевищує 0,012 кВт. Отриманий вибірковий коефіцієнт кореляції r_n характеризує тісноту лінійного зв'язку параметрів K і P , яка має місце, оскільки коефіцієнт кореляції суттєво відрізняється від нуля. Перевірку цієї умови здійснено шляхом порівняння знайденого коефіцієнта кореляції з табличним значенням t_T для заданого рівня значущості $q=0.05$ [51]. Для перевірки значущості коефіцієнта кореляції використано розподіл Ст'юдента і умову:

$$t_p = \frac{|r_n| \sqrt{L-2}}{\sqrt{1-r_n^2}} < t_T; \quad f=L-2; \quad q=0,05.$$

Оскільки розраховане значення $t_p = 19.72$ більше від $t_T = 2.09$, то гіпотеза про наявність зв'язку між параметрами K і P приймається.

Далі побудовано довірчий інтервал для коефіцієнта кореляції за допомогою перетворення Фішера. Для цього, використовуючи значення коефіцієнта кореляції r_n , знайдена нова величина:

$$U_n = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r_n}{1-r_n} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+0,953}{1-0,953} = 1,865. \quad (2.17)$$

Для вибраної надійності $\rho = 0.95$ побудовано довірливий інтервал нової величини U : $U_n - t(\rho) \cdot \frac{1}{\sqrt{L-3}} < U < U_n + t(\rho) \cdot \frac{1}{\sqrt{L-3}}$, де $t(\rho) = 0.67$ - квантиль нормального розподілу для $\rho = 0.95$. Отже:

$$1,865 - 0,67 \cdot \frac{1}{\sqrt{L-3}} = 1,711 < U < 1,865 + 0,67 \cdot \frac{1}{\sqrt{L-3}} = 2,018. \quad (2.18)$$

Для двох границь інтервалу (2.16) за формулою (2.15) знаходимо з тією ж мовірністю $\rho = 0.95$ довірчий інтервал для коефіцієнта кореляції:

$$r_1 < r_n < r_2; \\ r_1 = 0,908 < r_n = 0,953 < r_2 = 0,998. \quad (2.19)$$

Оскільки $r_1 > r_{1-q/2} = 0.423$ знайденого в таблиці максимально можливих значень коефіцієнта кореляції $r_{1-q/2}$ в некорельованій сукупності об'ємом m пар вимірювань, то знайдений коефіцієнт кореляції суттєво значущий, а лінійна кореляційна залежність $P=f(K)$ цілком стійка.

Оцінку довірчого інтервалу для шуканого значення параметра P при фіксованому значенні параметра K_0 з довірчою ймовірністю $\rho = 0.95$ здійснили за допомогою формули [61]:

$$P = a \cdot K_0 + b \pm \frac{S_P \cdot \sqrt{1 - r_n^2} \cdot t_n \cdot (\rho; L - 2)}{\sqrt{L - 2}} \cdot \sqrt{1 + \frac{L \cdot (K_{\phi_0} - \bar{K}_\phi)^2}{(L - 1) \cdot S_K^2}}, \quad (2.20)$$

де $t_n \cdot (\rho; L - 2) = 2,09$ - квантиль Стюдента з $m-2$ степенями свободи, визначений з таблиць.

Отже, з урахуванням результатів попередніх розрахунків (2.14-2.16), отримали наступні рівняння вигляду (2.13) для значень $K_0 = 60, 64, 70, 74$:

$$\begin{aligned} P_1 &= 0.60 + b \pm 0,00154 = (4,003 \pm 0,005276) \text{ кВт}, \\ P_2 &= 0.64 + b \pm 0,00253 = (4,127 \pm 0,00866) \text{ кВт}, \\ P_3 &= 0.70 + b \pm 0,00343 = (4,313 \pm 0,01174) \text{ кВт}, \\ P_4 &= 0.74 + b \pm 0,00512 = (4,437 \pm 0,01432) \text{ кВт}. \end{aligned} \quad (2.21)$$

Користуючись цифровими даними рівнянь (2.21) для одержаної лінії регресії (2.16), побудували довірчі інтервали. Геометричне місце довірчих інтервалів для довірчої ймовірності $\rho = 0.95$ показано на рис.2.11. Бачимо, що всі експериментальні точки знаходяться у межах довірчого інтервалу.

Будемо враховувати те, що похибка обчислення P мінімальна навколо точки \bar{K} і зростає в міру віддалення від неї. Тому використання знайденої кореляційної залежності $P=f(K)$ для екстраполяції за межі того проміжку по осі K , всередині якого вміщуються дані $K \in [62.63]$, що спостерігаються, може робитися тільки з відповідним обумовленням.

Адекватність лінійного рівняння регресії (2.16) перевіримо, користуючись критерієм Фішера:

$$F_P < F_T,$$

де F_T - табличне значення критерію Фішера; F_P - розрахункове значення критерію Фішера.

Перш ніж визнати знайдене рівняння регресії остаточним, потрібно вирішити питання про необхідність і можливість його наступного вдосконалення. Тільки після цього можна буде визнати знайдене рівняння остаточним. Для цього необхідно порівняти дисперсію адекватності S_a^2 з дисперсією відтворення (похибкою експерименту) S_0^2 , яка зв'язана лише з випадковими похибками спостереження P_i .

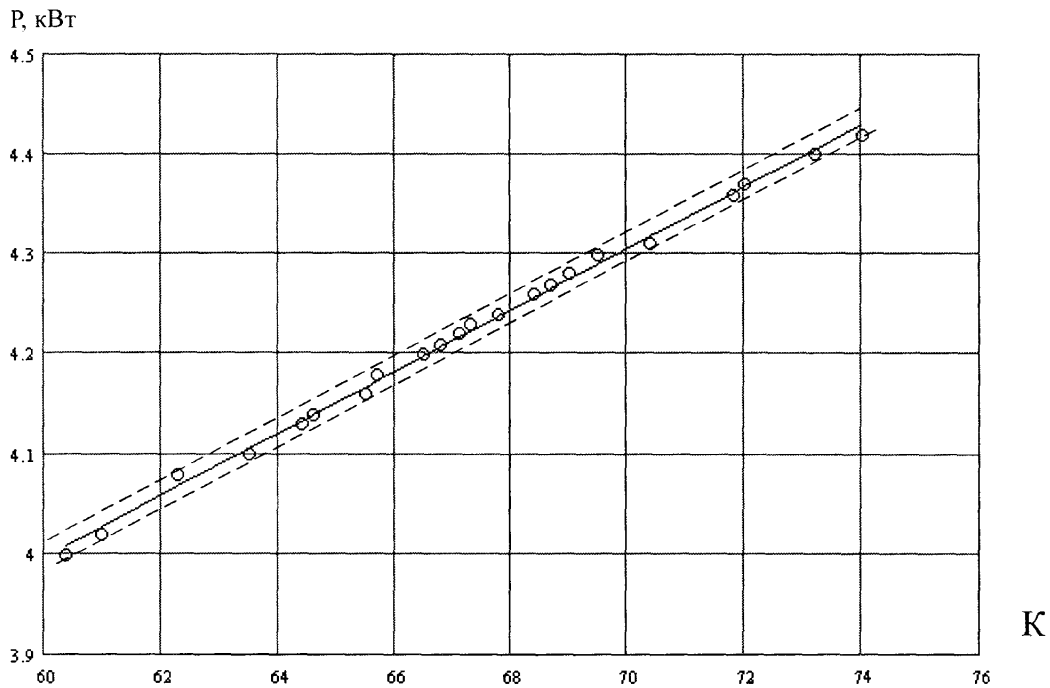


Рис. 2.11. Довірчі інтервали для лінії регресії $P=0,031K+2,143$, побудовані для довірчої імовірності $\rho=0,95$

В якості оцінки випадкової складової похибки \tilde{d} приймемо найбільшу довірчу межу $|d|_{\max}$, яка визначена за результатами експериментів (2.21):

$|d|_{\max} = \pm 0,01432$. З похибкою не більше $\pm 0,5S_0$ можна записати:

$$S_0^2 = 0,01432^2 = 0,000205.$$

Дисперсія адекватності S_a^2 розраховується за формулою:

$$S_a^2 = \frac{1}{L-j} \sum_{i=1}^L [P_i - f(K)]^2,$$

де j – кількість постійних коефіцієнтів функції регресії $f(K)$.

Підставивши експериментальні дані отримаємо:

$$S_a^2 = \frac{1}{22-1-1} \sum_{i=1}^{22} [P_{\text{сум}} - P_{\text{розрах}}]^2 = 0,0000917.$$

Взявши відношення дисперсій, отримали розрахункове значення критерію

Фішера:
$$F_p = \frac{S_a^2}{S^2} = \frac{0,0000917}{0,000205} = 0,447.$$

Табличне значення F_T критерію Фішера для рівня значущості

$q=0.05$ і степенів свободи $f_1 = L - n - 1 = 19$, $n = 2$ – кількість факторів;

$f_2 = L - j = 22 - 2 = 20$, дорівнює: $F_T = 2.12$.

Оскільки умова адекватності моделі (2.16) виконується, тобто $F_p = 0,447 < F_T = 2,12$ і $S_a^2 < S_0^2$, то лінійне рівняння регресії (2.16) є адекватним, тобто розсіювання експериментальних даних змінної стану P відносно рівняння регресії має такий самий порядок, що і розсіювання, викликане випадковими змінними в реакторі полімеризації, тобто похибкою експерименту. Таким чином, немає необхідності покращувати рівняння регресії (2.16). Його можна визнати кінцевим, а отриману кореляційну залежність – стійкою. Викладена послідовність розрахунків коефіцієнтів рівняння, його статистичний аналіз і прийняття рішень може бути представлена алгоритмом, блок-схема якого зображена на рис. 2.12.

Отже, адекватну лінійну модель (2.16) можна використовувати для вирішення задач контролю. При цьому слід пам'ятати вихідні умови, за яких вона обчислена: об'єм вибірки $m=22$, середні значення параметрів $\bar{K} = 67.268$, $\bar{P} = 4,222$ кВт; мінімальні і максимальні значення параметрів P і K : $P_{\min} = 4,00$ кВт, $P_{\max} = 4,42$ кВт, $K_{\min} = 60,4$, $K_{\max} = 74$; вибіркові середньоквадратичні похибки середніх значень параметрів K і P : $S_k = 3,729$, $S_p = 0,115$.

Використовувати модель (2.16) в умовах, що відрізняються від вище згаданих, недопустимо без відповідної перевірки і уточнення розрахункових формул.



Рис. 2.12. Алгоритм розрахунку і аналізу адекватної математичної моделі (2.26) експериментально-статистичним методом

Така необхідність виникає під час заміни електродвигуна мішалки, редуктора, лопаток мішалки, при заміні засобів контролю, при переході на випуск латексу іншої марки. Розрахунки необхідно проводити у послідовності, передбачені алгоритмом, який зображений на рис.2.12.

Під час наступних розрахунків лінійну статичну характеристику зручно розглядати у відхиленнях змінних P і K від значень P_0 і K_0 :

$$\Delta P = a \cdot \Delta K, \quad (2.22)$$

де $\Delta K = K - K_0$, $\Delta P = P - P_0$, (тобто перехід від запису (2.16) до запису (2.22)), і рівняння залежності відповідає переходу від вихідної системи координат $K \Delta P$ до системи координат $\Delta K \Delta P$.

Для прийнятих значень $K_0 = 60$; $P_0 = 4$ кВт, $a = 0.031$ рівняння (2.22) приймає вигляд $\Delta P = 0.031 \Delta K$. Лінеаризований графік залежності $P = f(K)$ у відхиленнях зображений на рис. 2.13.

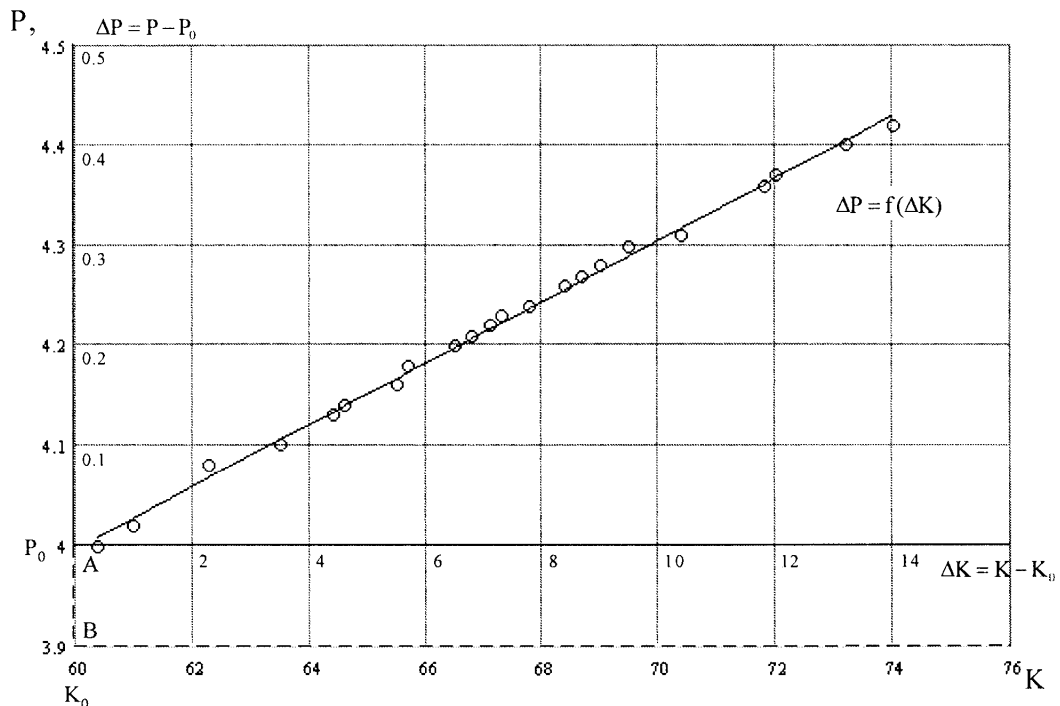


Рис. 2.13. Лінеаризований графік залежності $P = f(K)$ у відхиленнях $\Delta P = f(\Delta K)$

Враховуючи вираз (2.5), можна зробити висновок, що графік, зображений на рис.2.13, практично представляє собою залежність потужності на валі мішалки від показника K . Таким чином, функціональний зв'язок потужності, яку споживає електродвигун мішалки, з показником K дає можливість обґрунтовано вирішувати задачі контролю якості латексу в реакторі полімеризації ПВХ-Е.

2.5. Розробка методу контролю якості процесу виробництва ПВХ за споживаною потужністю на валі мішалки

Метою контролю показника K є встановлення того факту, що в реакторі полімеризації ПВХ виробляється якісний латекс. Для цього вимірюється запропонований показник – потужність на валі мішалки P_v , і отримані оцінки порівнюються з допусками.

Вирази для розрахунку нижньої $P_{вн}$ і верхньої $P_{вв}$ границь допуску можна отримати користуючись формулами:

$$P_{вв} = P_{во} + \frac{U_{q/2} \sigma_p}{\sqrt{L}}, \quad (2.23)$$

$$P_{вн} = P_{во} - \frac{U_{q/2} \sigma_p}{\sqrt{L}}. \quad (2.24)$$

Якщо значення номіналу $P_{во}$ і величини дисперсії σ_p^2 невідомі, то необхідно використати їх оцінки $\hat{P}_{во}$ і S_p^2 , які отримані в результаті спеціально організованих експериментів. Тоді формули (2.23) і (2.24) будуть мати наступний вигляд:

$$P_{вв} = \hat{P}_{во} + \left(\frac{S_p}{\sqrt{L}} \right) t_{q_{1/2}}; \quad P_{вн} = \hat{P}_{во} - \left(\frac{S_p}{\sqrt{L}} \right) t_{q_{1/2}}, \quad (2.25)$$

де $t_{q_{1/2}}$ - вибирається з таблиць [64] для рівня значущості $q = q_{1/2}$ і числа степенів свободи $\nu = L - 1$

Аналіз формул (2.23), (2.24) і (2.25) показує, що для розрахунків границь допусків $P_{вв}$, $P_{вн}$ необхідно знати наступні параметри: $P_{во}$ – номінальне значення потужності на валі мішалки або її оцінку $\hat{P}_{во}$; σ_p^2 – дисперсію потужності на валі мішалки або її оцінку S_p^2 ; L – об'єм вибірки; q_1 – рівень значущості для перевірки нульової гіпотези $H_0' : m_p = P_{во}$ при альтернативній $H_1' : m_p \neq P_{во}$; q_2 – рівень значущості для перевірки другої нульової гіпотези $H_0' : \sigma_p^2 = \sigma^2$ при альтернативній $H_1' : \sigma_p^2 \neq \sigma^2$.

Значення перших трьох параметрів вибирають на підставі даних, які отримані під час проведення попередніх досліджень технологічного процесу, або ними задаються.

Параметри q_1 і q_2 вибирають відповідно до рекомендацій державного стандарту ГОСТ 15894-70 [62], згідно з яким: $q_1 = 0,027$, що відповідає 3 σ -м довірчим границям; $q_2 = 0,021$, що відповідає 0,25 σ -м довірчим границям.

Для $q_1 = 0,027$ і об'єму вибірки $L = 22$ визначили з таблиць [62] $t_{q_{1/2}} = 2,28$.

Враховуючи, наприклад, що $P_{во} = 4,4$ кВт, $S_p = 0,115$, отримаємо вирази для верхньої і нижньої границь допуску:

$$P_{вв} = 4,4 + \frac{0,115}{\sqrt{22}} 2,82 = 4,469 \text{ кВт}, \quad (2.26)$$

$$P_{вн} = 4,4 - \frac{0,115}{\sqrt{22}} 2,82 = 4,331 \text{ кВт}.$$

Користуючись моделлю $P_v = f(K)$ (2.16), визначили границі допусків для показника K , які відповідають визначеним границям допусків (2.26) для потужності електродвигуна приводу мішалки:

$$K_n = \frac{P_{вн} - 2,143}{0,031} = 70,78; \quad (2.27)$$

$$K_v = \frac{P_{вв} - 2,143}{0,031} = 75,03$$

При виконанні співвідношень (2.25) з імовірністю $p_1 = 1 - q_1 = 0,973$ можна стверджувати, що в системі не виникло систематичної похибки, і вона підтримує заданий номінал показника якості $P_{во}$. Якщо при цьому дані вибірки P_1, P_2, \dots, P_L з

ймовірністю $p_2 = 1 - q_2 = 0,988$ не суперечать і другій нульовій гіпотезі, то це означає, що за інтервал часу, який розділяє початок роботи системи і момент контролю, процес виробництва латексу ПВХ-Е був стабільним, і процент браку не перевищує $q_0 \cdot 100\%$ (рис.1.4.)

Процедуру контролю стабільності технологічного процесу слід регулярно повторювати через інтервали часу Δt , тривалість яких вимагає визначення. Якщо результати обробки даних чергової вибірки об'ємом $L : (P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gL})$, взятої в момент часу $t_g = g \Delta t$, і з'ясується, що одна із гіпотез H_0' або H_0'' відхиляється, значить на інтервалі часу $t_g - t_{g-1}$ у технологічній системі сталося розладнання, і частка браку зростає. Тому необхідно з'ясувати і усунути причини розладнання.

Технологічний процес виробництва латексу ПВХ іде задовільно, якщо значення потужності на валі мішалки P_θ і показника K не виходять за межі зони регулювання $P_{\text{вн}} \div P_{\text{вв}}$ і $K_{\text{н}} \div K_{\text{в}}$. Вихід середніх значень \bar{P}_θ і \bar{K} за допустимі межі регулювання сигналізує про порушення нормального ходу процесу полімеризації ПВХ.

Для стабілізації процесу потрібний алгоритм нормальної процедури прийняття рішень “параметр у межах допуску”, “параметр поза межами допуску”. За такі критерії оптимальності прийняли критерій оптимального спостерігача, який для нашої задачі формулюється як мінімум ймовірності прийняття помилкового рішення.

Оскільки можливі лише дві гіпотези – “параметр у межах допуску” і “параметр поза межами допуску”, то задача контролю параметрів P_θ або K еквівалентна задачі швидкого виявлення розладнання властивостей випадкових величин [65].

Оптимальна процедура прийняття рішення повинна мати такий вигляд:

$$Y^* = 0, \text{ якщо } \Lambda(P_\theta) \geq 1,$$

$$Y^* = 1, \text{ якщо } \Lambda(P_\theta) < 1,$$

де $Y^* = 0$ – рішення “параметр K у межах допуску”; $Y^* = 1$ – рішення “параметр K поза межами допуску”; $\Lambda(P_\theta)$ – відношення правдоподібності:

$$\Lambda(P_B) = \frac{p_1^*(P_B)}{1 - p_1^*(P_B)} = \frac{p^*(P_B)}{p_2^*(P_B)},$$

$p_1^*(P_B)$ – апостеріорна ймовірність перебування параметра P_B у межах допуску, яка обчислюється за результатами спостережень сигналу $P_B(t)$; $p_2^*(P_B)$ – апостеріорна ймовірність перебування параметра за межами поля допуску.

Рішення “параметр у межах допуску” приймається, якщо оцінка P_B лежить всередині контрольованих допусків, або “параметр поза межами допуску”, якщо його оцінка знаходиться за межами контрольованих допусків.

Оскільки величина P_B , що контролюється, спотворена завадами, то перехід нею границі допуску виявити досить складно.

Таким чином, виникає задача про необхідність виявлення моменту переходу границі допуску з використанням результатів спостереження за послідовністю значень $\{P_{B,i}\}$, $i = 1, 2, \dots, L$.

Варіаційна постановка задачі швидкого виявлення моменту розладнання виглядає так: необхідно розшукати правило, яке мінімізує середнє запізнення при виявленні розладнання $\bar{\tau} = M[*](t_a - t_0 / t_a \geq t_0)$ у класі правил, для яких ймовірність випадкового виходу за межі допуску обмежена зверху:

$$p_x(t_a < t_0) \leq \alpha,$$

де α – задана константа, яку треба визначити; $M[*]$ – умовне математичне сподівання; t_a – момент виявлення розладнання; t_0 – момент розладнання.

Оскільки в задачі контролю показника K апіорний розподіл моменту розладнання невідомий, аналогічно як і напрямок зміни параметра P_B , виникає необхідність використання двох паралельно діючих алгоритмів виявлення моменту розладнання.

Для розв'язку поставленої задачі контролю показника K може бути використаний послідовний двосторонній рекурентний алгоритм кумулятивних сум (АКС), який дозволяє виявляти зміни властивостей випадкових величин. Аналіз відомих АКС [64] показав, що для умов виробництва ПВХ-Е доцільно використати такий АКС:

$$t_a = \text{при } \{t : (Q_t^{(-)} \geq R)\},$$

$$t_a = \text{при } \{t : (Q_t^{(+)} \geq R)\}, \quad (2.28)$$

$$Q_0^{(\pm)} = Q_1 = 0,$$

$$Q_t^{(\pm)} = (KQ_{1_{t-1}} + Q_{1_t}), \quad (2.29)$$

де $K = \left(\frac{n-1}{n}\right)^{1/2}$; n – кількість спостережених значень параметра P_i ,

$$Q_{1_t} = \frac{(P_i - P_b)^2 - a}{b}, \quad a = \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^{n-1} (P_i - P_b)^2, \quad b = \sqrt{2n} \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^{n-1} (P_i - P_b)^2,$$

$P_b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} P_i$ – оцінка математичного сподівання випадкової величини P_i , $Q_{1_{t-1}}$ – попереднє значення функції Q_t .

Цей алгоритм є двостороннім, оскільки може виявляти зміни параметра P_b , як у бік збільшення $P_b > P_{bв}$, так і в бік зменшення $P_b < P_{bв}$.

Правило зупинки при цьому має вигляд:

$$t_a = \text{при } \{t : |Q_t| \geq R\}, \quad (2.30)$$

де R – вибране значення порогу.

Функція Q_t має таку властивість, що до моменту розладнання її математичне сподівання дорівнює нулю, а після переходу за межі допуску монотонно збільшується у часі.

Для виявлення моменту переходу контрольованого параметру за межі допуску використовується процедура порівняння величини на кожному кроці обчислень з деяким порогом R .

За оцінку t_a моменту виявлення розладнання приймається значення t (поточного значення часу), для якого використовується умова (2.30). Оскільки випадкові величини до початку розладнання розподілені нормально з математичним сподіванням 0 і дисперсією 1, то з імовірністю 0,98 усі значення Q_t будуть потрапляти в інтервал $-2,5 \div \pm 2,5$, тобто ймовірності 0,98 відповідає значення порогу $R = 2,5$, що задовільняє вимогам до показника K .

Розглянута процедура послідовного виявлення розладнання процесу полімеризації ПВХ-Е у відповідності з постановкою задачі характеризується

середнім запізненням виявлення розладнання τ_3 і середнім числом N_x хибних тривог, які подаються до появи розладнання, або імовірністю $P_x (t_a < t_0)$ хибної тривоги.

Для визначення запізнення в процесі виявлення розладнання проведено аналіз роботи алгоритму (2.28), (2.29) з використанням промислових даних у режимі off-line. Чутливість алгоритму кумулятивних сум також досліджена у режимі off-line на основі експериментальних даних про зміну активної потужності електродвигуна мішалки реактора полімеризації ПВХ-Е від часу (рис. 2.14).

На рис.2.14–2.19 зображені графічно зміни в часі контрольованого параметру - споживаної потужності $P(t)$ і алгоритму кумулятивних сум $Q(t)$.

На рис.2.14 зображені графіки зміни споживаної потужності в часі $P(t)$ і сигналу $Q(t)$ на виході пристрою контролю показника K за допомогою алгоритма кумулятивних сум $Q(t)$. Як видно з графіків, при зміні $P(t)$ в межах 4,4 – 4,5 Квт функція $Q(t)$ має математичне сподівання $M[Q] \approx 0$ і дисперсію, меншу за 1, що вказує на відсутність розлагодження в процесі полімеризації ПВХ.

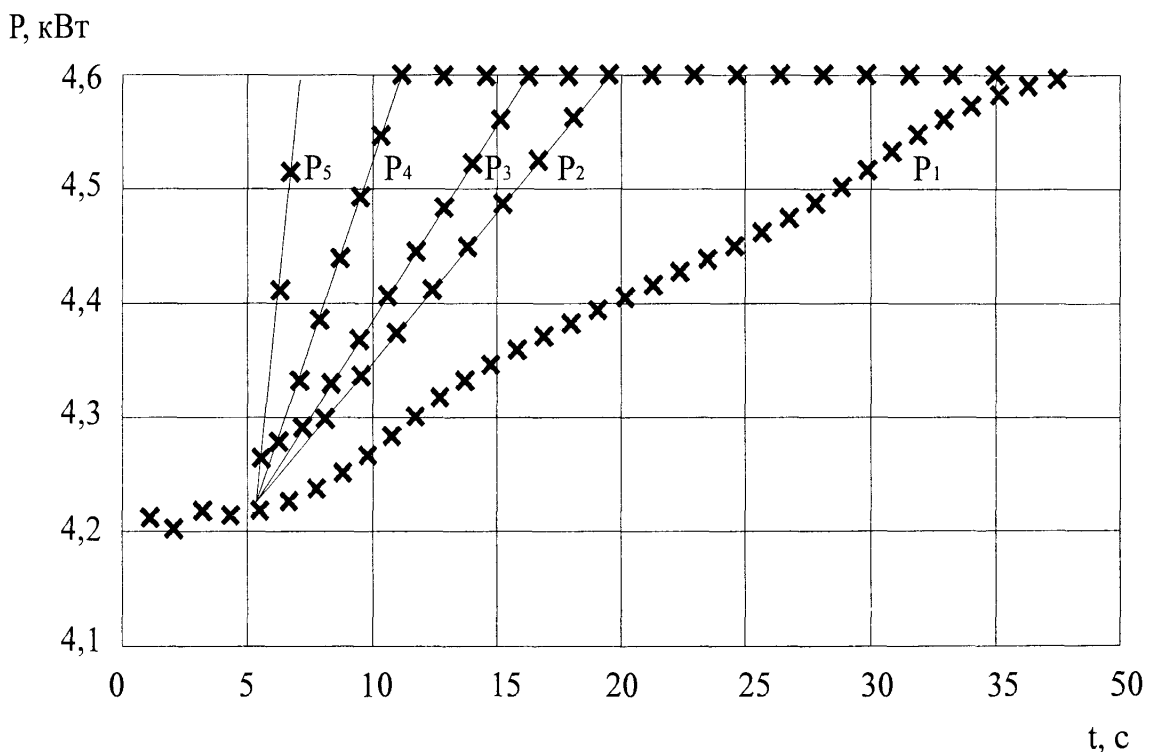


Рис.2.14. Графіки зміни споживаної потужності P в часі, які використані для дослідження чутливості алгоритму кумулятивних сум $Q(t)$

Для аналізу дії алгоритму кумулятивних сум на вхід пристрою контролю показника K подається значення потужності $P(t)$ відповідно до графіків, зображених на рис.2.15-2.19.

Із графіків (рис.2.15) видно, що $P_1(t)$ приводить до зміни функції $Q(t)$, але її коливання перебувають у межах ± 1 , тобто на таку зміну потужності $\Delta P_1/\Delta t$ алгоритм кумулятивних сум $Q(t)$ ще не реагує.

Із графіків зміни активної потужності $P_2(t)$ і функції $Q(t)$ (рис. 2.16), видно, що функція $Q(t)$ перейшла поріг $\Delta=+1$, а це свідчить про розладнання процесу полімеризації. Швидкість зміни потужності $P(t)$ склала $0,0235$ кВт/с, і на цю зміну потужності алгоритм кумулятивних сум зреагував через 8 відліків значення потужності P , що задовільняє вимоги до системи контролю показника K .

При збільшенні швидкості зміни $P(t)$ відповідно до значень $\Delta P_3/\Delta t = 0,036$ кВт/с, $\Delta P_4/\Delta t = 0,05$ кВт/с, $\Delta P_5/\Delta t = 0,1$ кВт/с, які спостерігаються на графіках (рис.2.17, 2.18,2.19), максимум функції $Q(t)$ складає відповідно: $Q_{3\max} = 1,9$; $Q_{4\max} = 2,3$; $Q_{5\max} = 2,7$.

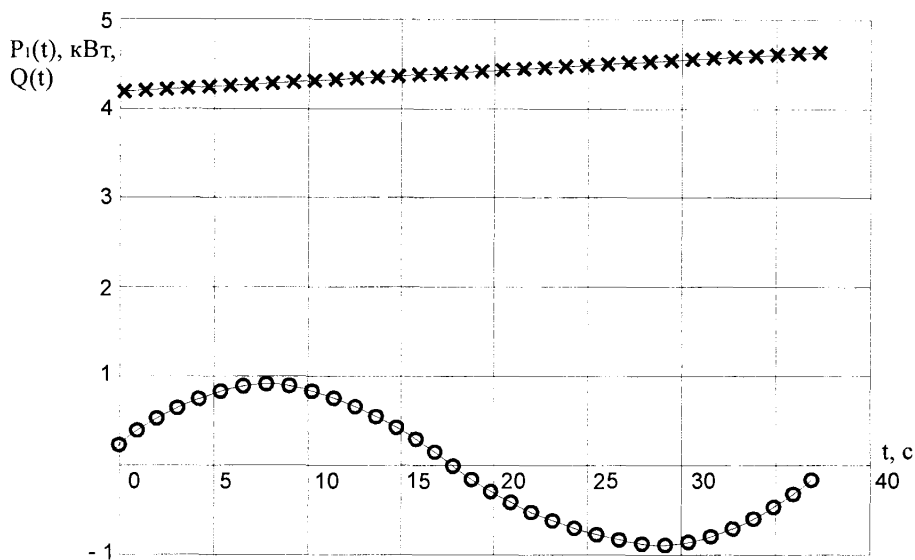
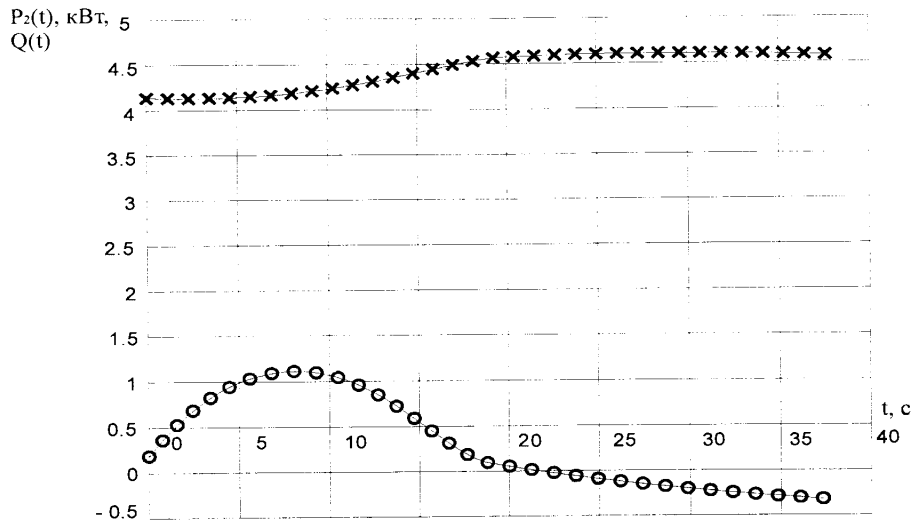
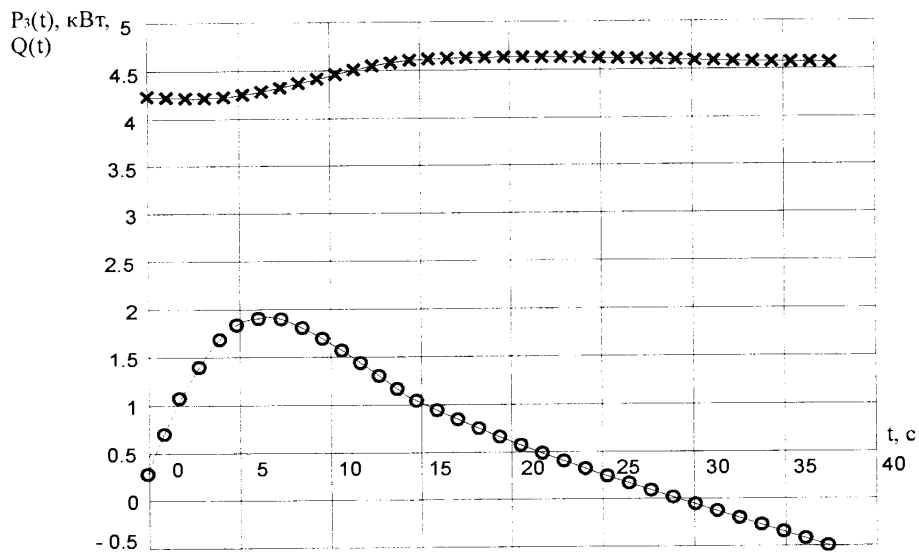
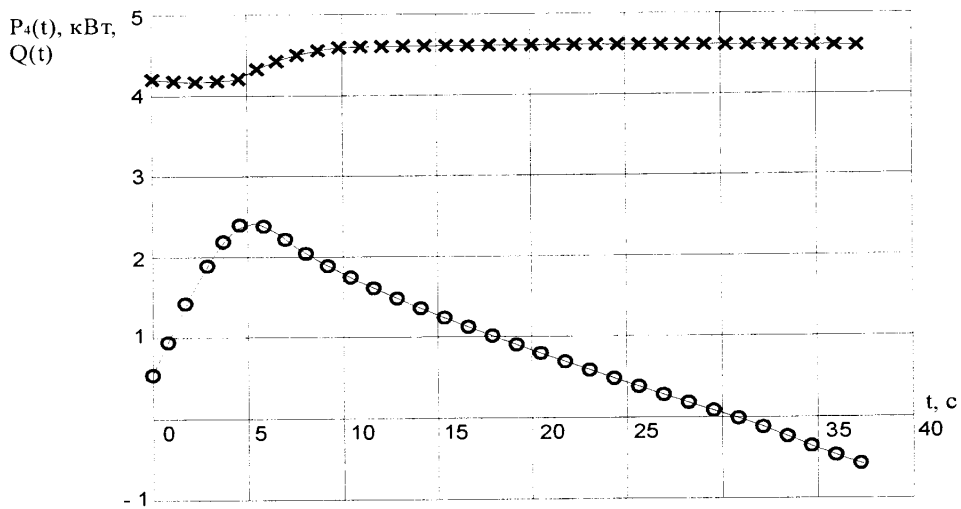
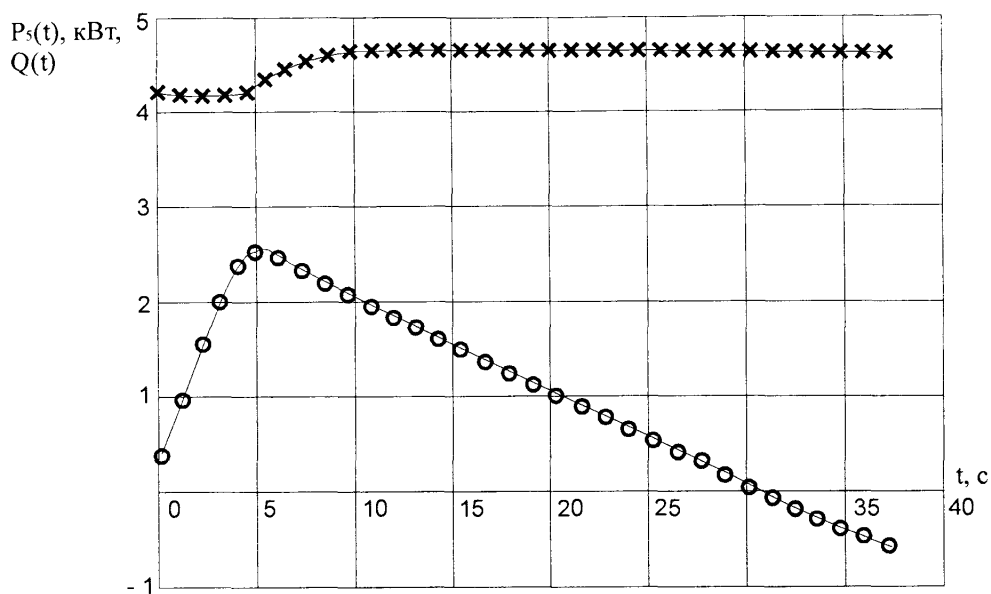


Рис. 2.15. Графіки зміни $P_1(t)$ і $Q(t)$

Рис. 2.16. Графіки зміни $P_2(t)$ і $Q(t)$ Рис. 2.17. Графіки зміни $P_3(t)$ і $Q(t)$ Рис. 2.18. Графіки зміни $P_4(t)$ і $Q(t)$

Рис. 2.19. Графіки зміни $P_5(t)$ і $Q(t)$

Функція $Q(t)$ досягає максимального значення в трьох останніх випадках за 5–6 секунд, що задовільняє вимоги до системи контролю показника K .

Як видно з графіків, розладнання процесу розпочалося з 10-го кроку опитування давачів і було виявлено на 5-му кроці, коли значення $Q(t)$ перевищило вибраний поріг $R=2,5$. Це означає, що запізнення τ_3 складає 5 кроків опитування давачів, і алгоритм працює задовільно.

Працездатність рекурентного АКС при виявленні розладнання процесу полімеризації ПВХ-Е підтверджена при високому рівні завад і в різних режимах роботи.

Розроблені модель і алгоритм виявлення розладнання в процесі полімеризації ПВХ дозволяють обґрунтовано перейти до розробки структурної схеми системи контролю показника K .

2.6 Висновки з розділу 2

1. Виходячи з особливостей процесу полімеризації ПВХ, використано комплексний аналітико-статистичний підхід при розробці узагальненої

моделі об'єкта контролю – комплексного показника якості ПВХ - К, що дозволило визначити клас задачі контролю як визначення подій в умовах невизначеності.

2. На основі аналізу оцінок автокореляційних функцій контрольованих технологічних параметрів, отриманих в результаті проведення промислових експериментів ($R_{K\phi K\phi}(K\Delta t)$, $R_{Cl}(K\Delta t)$, $R_{CO}(K\Delta t)$, $R_{ТВ}(K\Delta t)$, $R_M(K\Delta t)$, $R_P(K\Delta t)$, $R_{IH}(K\Delta t)$) встановлено, що вони відносяться до стаціонарних, ергодичних випадкових процесів, тому при наступних дослідженнях їх властивостей може бути використаний математичний апарат стаціонарних ергодичних випадкових процесів.
3. На підставі проведеного аналітико-статистичного аналізу та оцінок взаємно-кореляційних зв'язків між константою Фікентчера K_ϕ і контрольованими технологічними параметрами процесу полімеризації ПВХ-Е (ЗАТ «Лукор») встановлено існування між ними зв'язку, який проявляється лише через 16 – 38 годин роботи реактора полімеризації, що не дозволяє використати вказані параметри як інформативні для неперервного контролю ступеня полімеризації вінілхлориду в режимі реального часу. Тому введений комплексний показник якості К, який взаємозв'язаний з параметрами процесу полімеризації.
4. За оцінками кореляційних функцій визначена періодичність контролю технологічних параметрів процесу виробництва ПВХ-Е, яка для заданої похибки апроксимації $\xi = 2,5\%$ для всіх параметрів складає $T \leq (1,05-1,75)$ год., за винятком показника К, для якого $T \leq 0,636$ години. При зменшенні похибки апроксимації до 1,5% періодичність контролю показника К становитиме $T \leq 0,18$ год., що підтверджує необхідність її неперервного контролю.
5. Проведені дослідження взаємозв'язку параметрів стану об'єкта з потужністю на валі мішалки, а також розподілу енергетичних потоків в об'ємі реактора ПВХ-Е показали, що між параметрами стану об'єкта (динамічною в'язкістю латексу, густиною), швидкістю обертання мішалки і

потужністю на її валу, існує функціональний зв'язок, який може бути покладений в основу методу контролю показника K за споживаною потужністю.

6. Дослідженнями інформаційних властивостей активної потужності, яку споживає електродвигун приводу мішалки реактора полімеризації, встановлено, що в умовах реактора полімеризації при сталих витратах вінілхлориду і емульсійної води флуктуація потужності є випадковим стаціонарним процесом; визначені його основні статистичні характеристики: математичне очікування, дисперсія, автокореляційна функція.
7. Встановлена лінійна залежність потужності, що споживається електроприводом мішалки реактора полімеризації ПВХ-Е, від показника K з коефіцієнтом кореляції $r_n = 0,953$ для заданого рівня значущості $q = 0,05$, адекватність якої перевірена за критерієм Фішера.
8. Визначені границі допусків для показника K за визначеними границями допусків для потужності на валі електроприводу мішалки, вихід за межі яких сигналізує про порушення нормального перебігу процесу полімеризації ПВХ-Е, та розроблено алгоритм, що дозволяє прийняти оптимальне рішення: “параметр у межах допуску” або “параметр за межами допуску”.
9. Для швидкого виявлення моменту переходу показника K за межі допуску використаний рекурентний алгоритм кумулятивних сум, який мінімізує середнє запізнення при виявленні моменту переходу за межі допуску, що складає 5 кроків опитування давачів, а ймовірність виявлення моменту переходу складає 0,98 для вибраного порогу $R = 2,5$.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ПВХ ЗА СПОЖИВАНОЮ ПОТУЖНІСТЮ НА ВАЛІ МІШАЛКИ РЕАКТОРА ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ПВХ

Для дослідження розробленого методу контролю показника K у процесі виробництва ПВХ були використані реально діючі установки з виробництва ПВХ-Е у структурі головного заводу ВАТ “Оріана” (тепер ЗАТ «Лукор», м. Калуш). У розділі розглядається питання розробки структурної схеми системи контролю якості та, зокрема, функціональної схеми вимірювача потужності.

Наводяться результати дослідження динамічних властивостей вимірювального каналу, визначення частоти опитування давачів, ймовірності хибної команди, ймовірності пропуску розладнання, а також результати розрахунку вірогідності та ефективності контролю показника K розробленим методом.

3.1 Розробка узагальненої структурної схеми системи контролю якості виробництва ПВХ

Процедура контролю якості виробництва ПВХ складається з таких основних операцій:

- формування інформації про показник K на основі інформації про потужність на валі мішалки реактора полімеризації ПВХ;
- прийняття рішення про належність стану об'єкта до класів “параметр у межах допуску” або “параметр поза межами допуску”;
- видачі інформації про стан об'єкта і величину показника K ;
- коригування оператором процесу полімеризації шляхом зміни витрати води в системі охолодження реактора.

Ці операції можуть бути виконані за допомогою системи контролю показника K , узагальнена структура якої зображена на рис.3.1.

Вимірювальні пристрої складаються із давачів потужності на валі мішалки і АЦП. Вони формують інформацію про стан об'єкта шляхом перетворення простору станів Z у простір сигналів X_k ($Z \rightarrow X_k$).

Результати вимірювань P_v від трьох реакторів за допомогою АЦП перетворюються в цифрову форму і подаються на входи обчислювального пристрою класифікатора і пристрою індикації.

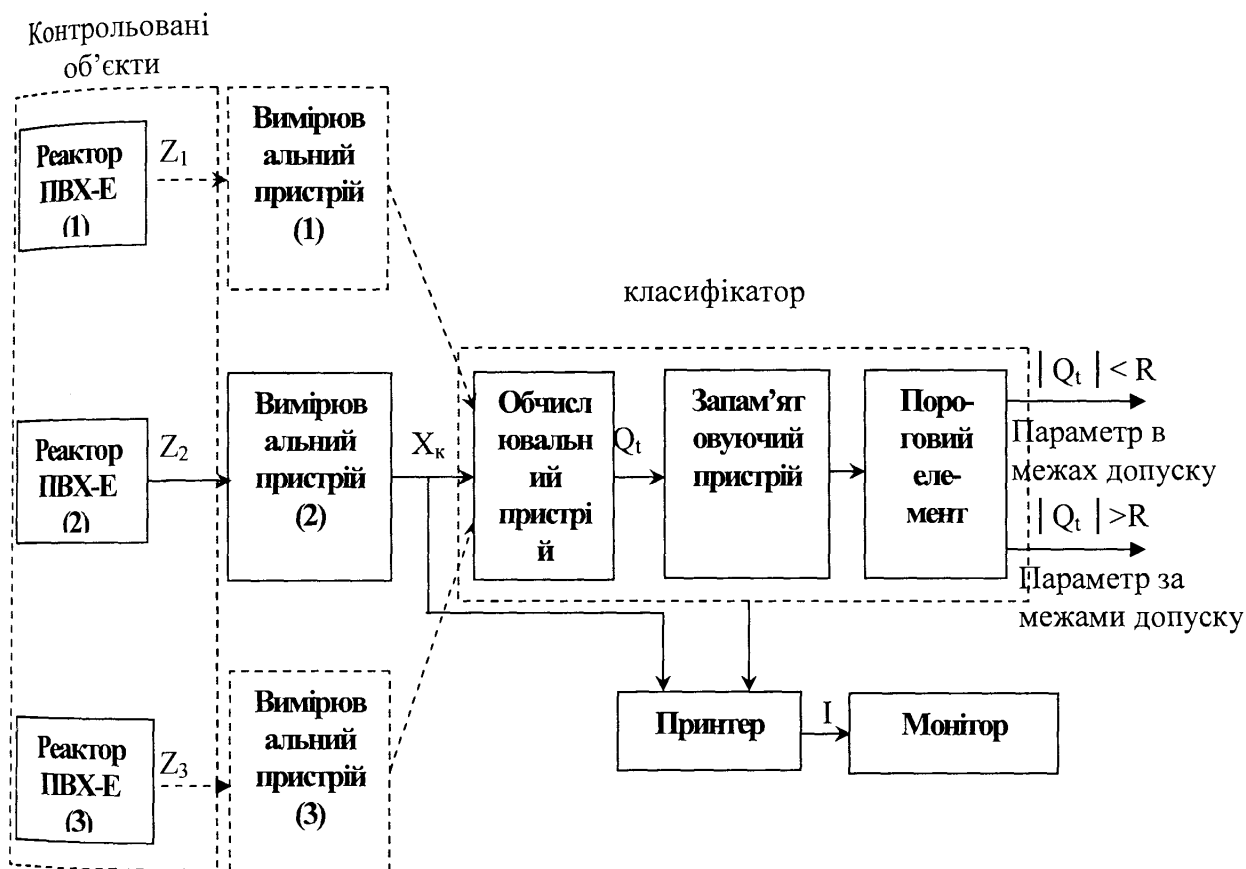


Рис.3.1. Блок-схема системи контролю показника K

Система забезпечує послідовні розрахунки алгоритмів кумулятивних сум Q_t при двоальтернативному контролі K , тому класифікатор включає в себе обчислювачі, запам'ятовуючий пристрій, який зберігає результати обчислень, та цифровий компаратор. Результати розрахунків Q_t поступають в пам'ять компаратора, звідки знов поступають в компаратор, який порівнює їх з пороговими значеннями R і визначає належність стану реактора ПВХ-Е до

відповідного класу станів: “параметр у межах допуску”, або “параметр поза межами допуску”. Таким чином, класифікатор на основі прийнятих сигналів X_k вказує на належність стану об’єкта до відповідного класу станів X_k : ($|Q_t| < R$, або $|Q_t| > R$).

Ефективність процесу полімеризації ПВХ зв’язана не лише з інформацією системи контролю про наявність або відсутність розладнання, але і з тими повідомленнями, які видаються пристроєм індикації. Класифікатор і пристрій індикації реалізовані на персональній ЕОМ.

Вихідна інформація містить відомості про величини контрольованих параметрів (потужності на валі мішалки P_v , показника K), їх відхилення від номіналу і т.п. Тому вплив на реактор полімеризації ПВХ-Е з метою повернення його в потрібний стан здійснюється на основі інформації, яка поступає і від класифікатора, і від пристрою індикації. Пристрій індикації на основі прийнятих сигналів X_k і вказівок класифікатора видає повідомлення I , яке характеризує стан об’єкта. Оператор на основі інформації з пристрою індикації вмикає помпу для подачі охолодженої води в царги реактора.

Результати контролю неперервно документуються принтером. Принтер фіксує не лише результати контролю, але і дані, які вводить оператор, інструкції щодо використання результатів контролю та іншу інформацію.

На моніторі ЕОМ відображаються також номери реакторів і результати контролю з додатковими рекомендаціями.

Система передбачає ручне і автоматичне управління її роботою. Перед кожним циклом контролю реакторів зчитується серія команд, яка контролює правильність введеної інформації.

Виходячи з викладеного та структури системи контролю K , визначимо її основні ознаки:

- система контролю працює в режимі реального часу з індикацією і реєстрацією інформації;
- система контролю забезпечує допускову і кількісну оцінку K ;

– система контролю аналогово-цифрова і інформаційно-обчислювальна, оскільки, крім виконання логічних операцій, забезпечує виконання арифметичних операцій;

– система контролю двохальтернативна (тобто розрізняє лише два класи станів) і дозволяє визначити ефективність функціонування реактора;

– прийом і обробка вимірювальної інформації здійснюється одночасно від декількох реакторів полімеризації, тобто система має паралельну дію.

Перевагами такої системи контролю K є забезпечення неперервного контролю в реальному режимі часу; раннє передбачення розладнання, яке не може бути виявлено звичайними методами контролю; можливість дистанційного спостереження за станом контрольованого реактора. Використання системи контролю не вимагає зміни технологічного процесу чи модернізації реакторів, які перебувають в експлуатації, а зводиться лише до встановлення датчиків потужності на валі мішалки і персональної ЕОМ.

3.2 Розробка функціональної схеми вимірювача потужності на валі мішалки реактора полімеризації ПВХ

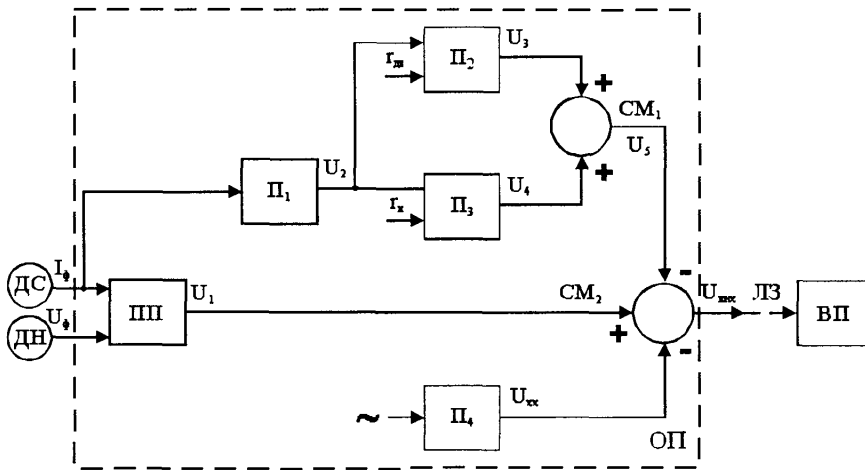
Аналіз розподілу енергетичних потоків в об'ємі реактора з лопатевою мішалкою і енергетичної діаграми приводу мішалки, який проведений у розділі 2.4, показав, що контроль потужності на валі мішалки вимагає використання методів контролю підвищеної точності (Додаток А9).

Із основних методів автоматичної корекції похибок вимірювачів потужності (ВП)– допоміжних вимірювань, взірцевих сигналів, зворотнього перетворення найбільш перспективним є метод автоматичної корекції похибки вимірювачів потужності, яка повинна здійснюватись неперервно в режимі реального часу вимірювання. Цей метод було використано для зменшення похибки вимірювання K на основі інформації про потужність на валі мішалки.

Зменшити похибку вимірювання від активних втрат потужності в кабелі і двигуні можна за рахунок введення в давач активної потужності коригуючих елементів, які здійснюють віднімання сигналу, що є пропорційного до втрат потужності в кабелі і двигуні, з вихідного сигналу давача. Одночасно в схему давача вводиться додатковий елемент, який віднімає сигнал, що відповідає потужності холостого ходу електродвигуна. Тоді сигнал на виході давача буде пропорційний до потужності на валі мішалки.

Функціональна блок-схема пристрою контролю потужності на валі мішалки зображена на рис.3.2.

У пристроях множення Π_2 і Π_3 напруга, що знімається з виходу квадратора Π_1 , множитья на величину r_k , яка є пропорційною до опору кабеля, і на величину $r_{дв}$, що є пропорційною активному опору обмоток електродвигуна. Таким чином, на виході пристрою множення Π_2 отримуємо сигнал, пропорційний до втрат потужності в обмотках двигуна, а на виході Π_3 – пропорційний до втрат у кабелі.



РРис.3.2. Функціональна блок-схема пристрою контролю потужності на валі мішалки реактора полімеризації ПВХ

ДС – давач струму

ПП – вмірювальний перетворювач активної потужності

ОП – обчислювальний пристрій

ДН – давач напруги

П₁ – квадратор

ВП – вимірювальний присирій

СМ₁, СМ₂ – давач напруги

П₂, П₃ – пристрої множення
П₄ – компенсатор

ЛЗ – лінія зв'язку

у суматорі $СМ_1$ напруги з виходів $П_2$ і $П_3$ додаються, а в суматорі $СМ_2$ ця сума віднімається від сигналу, який пропорційний до виміряної потужності.

Для компенсації напруги, що відповідає потужності холостого ходу електродвигуна, використовується компенсатор $П_4$. Вихідна напруга суматора $СМ_2$ $U_{вих} = b \cdot P$ пропорційна до потужності P_v на валі мішалки, де b - коефіцієнт пропорційності. Цей сигнал обробляється обчислювальним пристроєм ОП, який видає значення K .

Давач активної потужності ДП підключається до мережі електроживлення двигуна мішалки за схемою двох ватметрів або за схемою зі штучною нульовою точкою.

Для підготовки пристрою до роботи необхідно при холостому ході електродвигуна виставити за допомогою компенсатора $П_4$ сигнал на виході суматора $СМ_2$, який дорівнює нулю. Він компенсує величину сигналу, який пропорційний до потужності холостого ходу електродвигуна.

Математичні операції, що виконуються перетворювачами $П_1$, $П_2$, $П_3$, $П_4$ і суматорами $СМ_1$, $СМ_2$, можуть бути реалізовані за допомогою мікропроцесора.

Запропоновані методи і пристрої контролю потужності на валі мішалки реактора полімеризації ПВХ дають два головних результати: покращення показників продуктивності і можливість керувати процесом на підставі повної інформації про нього. Обидва ці фактори позитивно впливають на собівартість латексу ПВХ-Е і на надійність керування процесом. Але цей метод має певну відносну похибку контролю, яку треба проаналізувати. В додатках В1 і В2 включені протокол і акт випробувань пристрою контролю K в процесі виробництва латексу ПВХ-Е.

3.3 Дослідження динамічних властивостей каналу вимірювання та визначення інтервалу опитування давачів при контролі якості виробництва ПВХ-Е за споживаною потужністю на валі мішалки реактора

Для дослідження динамічних властивостей розробленого каналу вимірювання побудовані механічні характеристики електродвигуна КР 132.2/4 ($P=4,4$ кВт,

$n_n = 1400 \text{ об/хв}$, $U = 380 \text{ В}$), лопатевої мішалки і сумісна механічна характеристика $n = f(M)$, де n – частота обертання електродвигуна в об/хв.

Механічна характеристика електродвигуна побудована за його паспортними даними. Якщо момент двигуна мішалки $M = 0$, то синхронна частота обертання

$$n_0 = \frac{60f}{p} = 1500 \text{ об/хв},$$

де f – частота змінного струму, $f = 50$ Гц, p – кількість пар полюсів обмотки електродвигуна, $p = 2$.

Номінальний момент M_n електродвигуна розрахований за формулою:

$$M_n = 975 \frac{P_n}{n_n} = 30,057 \text{ Нм} \quad (3.1)$$

і номінальне ковзання: $S_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} = 0,04$, де $\omega_0 = \frac{n_0}{9,55}$, $\omega_n = \frac{n_n}{9,55}$ – відповідно

синхронна і номінальна кутові швидкості обертання двигуна.

Критичний момент M_k електродвигуна мішалки дорівнює:

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 60,11 \text{ Нм}, \quad (3.2)$$

а критична частота обертання:

$$n_k = n_0 (1 - S_k) = 1251 \text{ об/хв}.$$

Величина критичного ковзання S_k , при якому електродвигун має максимальний момент, визначена за формулою [25,81]:

$$S_k = S_n [\lambda_m + (\lambda_m^2 - 1)^{1/2}] = 1,166,$$

де $\lambda_m = \frac{M_k}{M_n} = 2$ – кратність максимального моменту.

Нестійку ділянку механічної характеристики побудували, використовуючи спрощену формулу Клосса [25]:

$$M = \frac{2 M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

і формулу $n = n_0 (1 - s)$.

Для цього задавались значеннями $s' = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$, а розраховані значення M і n заносили в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Вихідні дані для побудови механічної характеристики електродвигуна КР 132,2/4

Назва показника	Значення величини ковзання s				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Момент, Нм	58,7	42,34	30,8	23,79	14,26
Частота обертання, об/хв	1200	900	600	300	0

Одержані результати використані для побудови механічної характеристики електродвигуна, лопатевої мішалки і сумісної механічної характеристики, що приведені на рис.3.3.

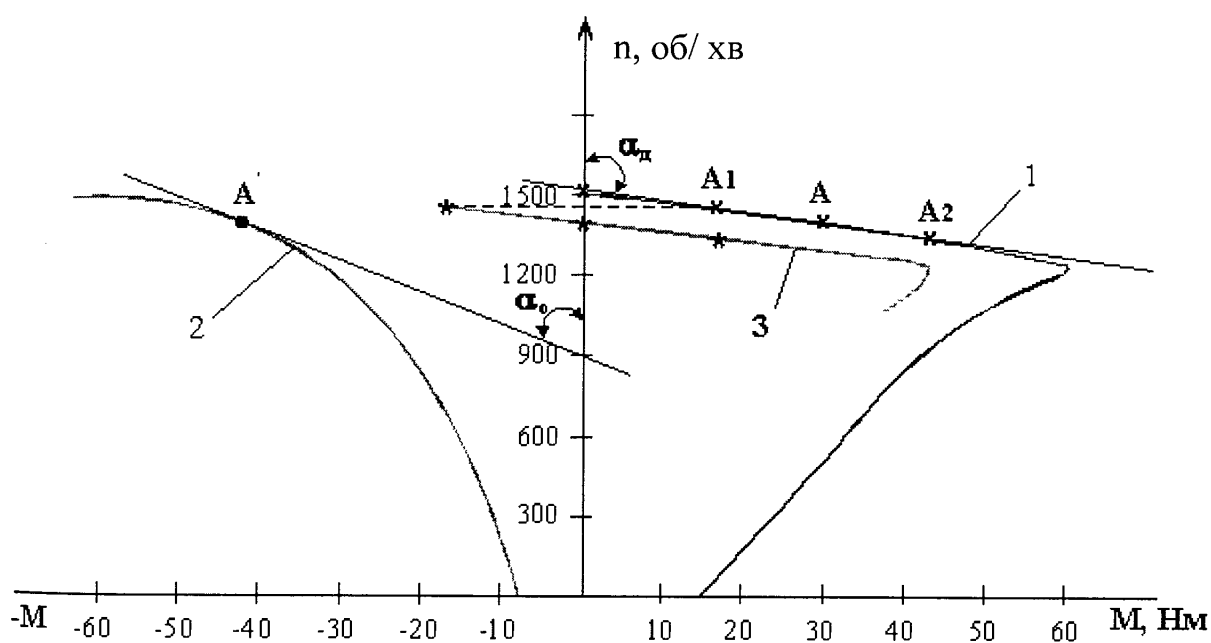


Рис. 3.3. Графічна залежність швидкості обертання на валі від крутного моменту для електродвигуна (1), лопатевої мішалки (2) і сумісна механічна характеристика

Оскільки при визначенні залежності $n=f(M)$ неможливо врахувати всі параметри, що впливають на процес змішування, то при побудові механічної характеристики мішалки враховані лише основні, найбільш важливі параметри.

Із рис.3.3 видно, що механічна характеристика електродвигуна порівняно жорстка в робочій частині, а механічна характеристика лопатевої мішалки належить до категорії нелінійно зростаючої.

Як інформаційну координату електродвигуна лопатевої мішалки приймемо кутову частоту його обертання ω , тоді рівняння руху електроприводу має такий вигляд [25,104]

$$M_{\text{д}} - M_0 = J_{\text{д}} \frac{d\omega}{dt}, \quad (3.3)$$

де $M_{\text{д}}$ – момент на валі електродвигуна; M_0 – момент опору, приведений до валу електродвигуна мішалки; $J_{\text{д}}$ – момент інерції, приведений до валу електродвигуна мішалки.

Момент $M_{\text{д}}$ залежить від швидкості обертання ω і від напруги живлення U

$$M_{\text{д}} = M_{\text{д}}(U, \omega). \quad (3.4)$$

Момент опору M_0 , приведений до валу електродвигуна мішалки є функцією

$$M_0 = M_0(\omega). \quad (3.5)$$

Враховуючи (3.3) і (3.5) та рівняння (3.4), отримаємо:

$$M_{\text{д}}(U, \omega) - M_0(\omega) = J_{\text{д}} \frac{d\omega}{dt}. \quad (3.6)$$

Рівняння (3.6) нелінійне, оскільки $M_{\text{д}}(U, \omega)$ і $M_0(\omega)$ є нелійними функціями U і ω . Враховуючи нелінійність $M_{\text{д}}$ і M_0 , мінімізуємо їх у відносно невеликому діапазоні зміни швидкості обертання $\Delta\omega$ ротора електродвигуна мішалки між точками A_1 і A_2 (рис.3.3).

В точці A має місце сталий режим роботи приводу, тобто

$$M_{\text{д}} = M_0. \quad (3.7)$$

Розкладаючи (3.4) і (3.5) навколо точки A в ряд Тейлора, одержимо

$$M_0 = M_{\omega_0} + \left(\frac{\partial M_0}{\partial U}\right)_0 \Delta U + \frac{1}{1.2} \left(\frac{\partial^2 M_0}{\partial U^2}\right) \Delta U^2 + \dots + \left(\frac{\partial M_0}{\partial \omega}\right)_0 \Delta \omega + \frac{1}{1.2} \left(\frac{\partial^2 M_0}{\partial \omega^2}\right) \Delta \omega^2 + \dots, \quad (3.8)$$

де M_{ω_0} – момент електродвигуна при ω_0 і U_0 та

$$M_{\omega_0} = M_0 + \left(\frac{\partial M_0}{\partial \omega_0} \right) \Delta \omega + \frac{1}{1 \cdot 2} \left(\frac{\partial^2 M_0}{\partial \omega^2} \right) \Delta \omega^2 + \dots, \quad (3.9)$$

де M_0 - момент опору на валі електродвигуна мішалки при швидкості обертання ω_0 .

Обмежимося розглядом лише лінійних частин механічних характеристик, взявши перших два числа рядів Тейлора (3.8) і (3.9). Підставимо їх значення в рівняння (3.3)

$$M_{\omega_0} + \left(\frac{\partial M_0}{\partial U} \right)_0 \Delta U + \left(\frac{\partial M_0}{\partial \omega} \right) \Delta \omega - M_{\omega_0} - \left(\frac{\partial M_0}{\partial \omega} \right)_0 \Delta \omega = J_0 \frac{d\Delta \omega}{dt} \quad (3.10)$$

Враховуючи (3.7), рівняння (3.10) перетворюємо до вигляду

$$J_d \frac{d\Delta \omega}{dt} + \left[\left(\frac{\partial M_0}{\partial \omega} \right) - \left(\frac{\partial M_0}{\partial \omega} \right)_0 \right] \Delta \omega = \left(\frac{\partial M_d}{\partial U} \right)_0 \Delta U, \quad (3.11)$$

або

$$J_d \frac{d\left(\frac{\Delta \omega_d}{\omega_0}\right)}{dt} + \left[\left(\frac{\partial M_0}{\partial \omega} \right) - \left(\frac{\partial M_0}{\partial \omega} \right)_0 \right] \frac{\Delta \omega_d}{\omega_0} = \frac{U_0}{\omega} \left(\frac{\partial M_d}{\partial U} \right)_0 \frac{\Delta U}{U_0}. \quad (3.12)$$

Величини $\frac{\partial M_0}{\partial \omega}$, $\frac{\partial M_0}{\partial \omega}$, $\frac{\partial M_0}{\partial U}$ визначені для точки А (рис. 3.3) і розглядаються як постійні у вибраному діапазоні.

У результаті лінеаризації одержимо лінійне диференціальне рівняння зі сталими коефіцієнтами:

$$T_d \frac{\partial v(t)}{\partial t} + v(t) = K_d \gamma(t), \quad (3.13)$$

де $T_d = \frac{J_d}{\left(\frac{\partial M_0}{\partial \omega_0} \right) - \left(\frac{\partial M_d}{\partial \omega_0} \right)}$ - електромеханічна стала часу,

$K_d = \frac{\frac{U_0}{\omega_0} \left(\frac{\partial M_d}{\partial U} \right)_0}{\left(\frac{\partial M_0}{\partial \omega} \right)_0 - \left(\frac{\partial M_d}{\partial \omega} \right)_0}$ - коефіцієнт передачі, $v = \frac{\Delta \omega}{\omega_0}$; $\gamma = \frac{\Delta U}{U_0}$.

Застосовуючи до рівняння (3.3) перетворення Лапласа при нульових початкових умовах, одержимо

$$(T_d p + 1)v(p) = K_d \gamma(p).$$

Звідси функція передачі електродвигуна мішалки

$$W_n(p) = \frac{v(p)}{\gamma(p)} = \frac{K_d}{T_d p + 1}. \quad (3.14)$$

Оскільки електромагнітна стала часу електродвигуна $T_e = 0,002 \div 0,004$ є значно менша від електромеханічної сталої T_d , то можна вважати [66], що функція передачі трифазного асинхронного електродвигуна мішалки має вигляд (3.14). Сталу часу і коефіцієнт передачі визначили, користуючись механічними характеристиками і формулами [66]:

$$K_d = \frac{K_M}{\beta_{\alpha_0} - \beta_{M_0}}, \quad T_d = \frac{J}{\beta_{\alpha_0} - \beta_M}, \quad (3.15)$$

де β_d, β_M – жорсткість механічних характеристик електродвигуна і мішалки, Нм·с/рад; K_M – коефіцієнт чутливості електродвигуна по моменту до зміни вхідної величини.

Для оцінки сталої часу T_d скористалися практичними рекомендаціями [67], які базуються на механічних характеристиках, що зображені на рис. 3.3. Для цього проведено дотичні в точках А і А'. Тангенси кутів α_0 і α_d , створених дотичними з віссю ординат, дають значення жорсткості цих характеристик:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \beta_M = 2,74, \quad \operatorname{tg} \alpha_d = \beta_d = -12,7. \quad (3.16)$$

У зв'язку з тим, що в паспортних даних електродвигуна відсутня величина моменту інерції, наближене значення його визначали, користуючись формулою

$$[67]: \quad J = 756l^5 \quad (3.17.)$$

де l – довжина статора, м.

При $l = 30$ см момент інерції двигуна дорівнює $I = 756 \cdot 0,3^5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Підставляючи значення β_d, β_M з (3.16) та I з (3.17) в (3.15), маємо $T_d = 0,118 \text{ с}$, тобто функція передачі електродвигуна мішалки:

$$W_n(p) = \frac{K_d}{0,118p + 1}. \quad (3.18)$$

Функцію передачі кабелю довжиною від місця приєднання давача активної потужності до електродвигуна визначимо, виходячи із заступних схем, представлених на рис. 3.4, а саме:

$$Z_1(p) = pL_1 + R_1, \quad (3.19)$$

або

$$Z_1(p) = R_1(T_1 p + 1), \quad (3.20)$$

$$Z_2(p) = R_2. \quad (3.21)$$

Функція передачі еквівалентного ланцюга дорівнює

$$W_k(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{Z_{\text{вих}}(p)}{Z_{\text{вх}}(p)} = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p) + Z_2(p)}. \quad (3.22)$$

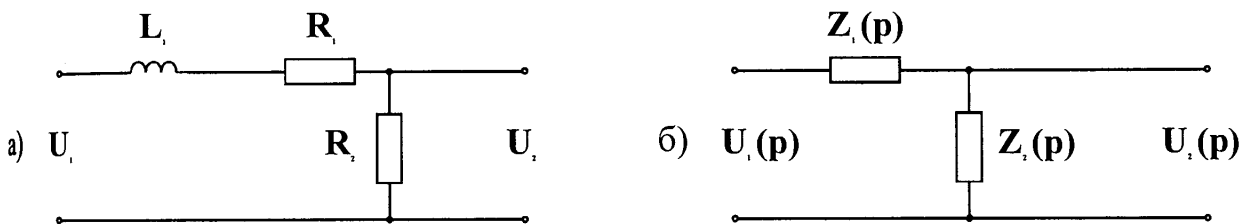


Рис. 3.4. Заступна схема кабелю, яким підводять напругу до електродвигуна лопатевої мішалки (а), і еквівалентна заступна схема (б)

Підставляючи значення $Z_1(p)$ з (3.19) і $Z_2(p)$ з (3.20) і (3.21) в (3.25), одержимо

$$W_k(p) = \frac{R_2}{R_1 T_1 p + (R_1 + R_2)}. \quad (3.23)$$

Для кабелю довжиною 50 м і перерізом 6 мм², який використовується для підведення напруги до електродвигуна мішалки: $x_k = 0,07$ Ом/км, $r_k = 3,14$ Ом/км, $L_1 = x_k / 2\pi f = 0,07 / 2\pi \cdot 50 = 0,00022$ Гн, $R_1 = r_k \cdot 0,05 = 0,17$ Ом [68].

Тоді електромагнітна стала часу кабелю T_1 дорівнює:

$$T_1 = \frac{L_1}{R_1} = 0,0013 \text{ с.}$$

Очевидно, що таким значенням сталої часу кабелю в порівнянні зі сталою часу електродвигуна мішалки можна знехтувати і вважати, що $T_1 \approx 0$. У цьому випадку функція передачі кабелю має вигляд

$$W_k(p) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{0,5 \cdot 10^6}{0,17 + 0,5 \cdot 10^6} \approx 1, \quad (3.24)$$

де $R_2 \geq 0,5 \text{ МОм}$ – опір ізоляції кабелю, визначений за експериментальними даними.

Функцію передачі вимірювального каналу, крім електродвигуна мішалки і кабелю, формують функції передачі послідовно з'єданого пристрою контролю потужності на валі мішалки, до складу якого входять вимірювальні трансформатори струму ВТС₁, ВТС₂, напруги ВТН та вимірювальний перетворювач активної потужності трифазного струму ВПАП і обчислювального блоку ОБ (див. рис. 3.12).

Функція передачі пристрою контролю потужності на валі електродвигуна визначена експериментально [69] і має такий вигляд:

$$W_{\text{пк}}(p) = \frac{K_{\text{пк}}}{0,08p + 1}, \quad (3.25)$$

де $K_{\text{пк}}$ – коефіцієнт передачі пристрою контролю потужності на валі електродвигуна.

Обчислювальний пристрій є безінерційною ланкою [66] з функцією передачі:

$$W_{\text{оп}}(p) = K_{\text{оп}}. \quad (3.26)$$

Враховуючи функції передачі (3.16), (3.22), (3.23) і (3.24), визначено еквівалентну функцію передачі вимірювального каналу:

$$W_e(p) = \frac{K_e}{0,00944p^2 + 0,198p + 1}, \quad (3.27)$$

де $K_e = K_d \cdot K_{\text{пк}} \cdot K_{\text{оп}}$ – еквівалентний коефіцієнт передачі.

Для аналізу динамічних властивостей каналу вимірювання потужності на валі електродвигуна мішалки скористаємося характеристичним рівнянням:

$$0,00944p^2 + 0,198p + 1 = 0, \quad (3.28)$$

яке має два корені $p_1 = -8,47$; $p_2 = -12,5$.

Введемо позначення:

$$p_1 = -\frac{1}{T_3}; p_2 = -\frac{1}{T_4},$$

де T_3, T_4 – деякі умовні сталі часу, $T_3 = 0,118$ с, $T_4 = 0,08$ с.

Враховуючи, що $T_3 > T_4$, для побудови графіка перехідної характеристики використаємо рівняння перехідної функції у вигляді [49]:

$$h(t) = k \left(1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_4}} \right) S(t), \quad (3.29)$$

яка з врахуванням значень сталих часу має вигляд:

$$h(t) = \left(1 - 3,105e^{-\frac{t}{0,118}} + 2,1e^{-\frac{t}{0,08}} \right). \quad (3.30)$$

Графік нормованої перехідної характеристики $h(t)$ каналу вимірювання, побудованого при зміні часу від 0 до 1 с, має вигляд (рис. 3.5).

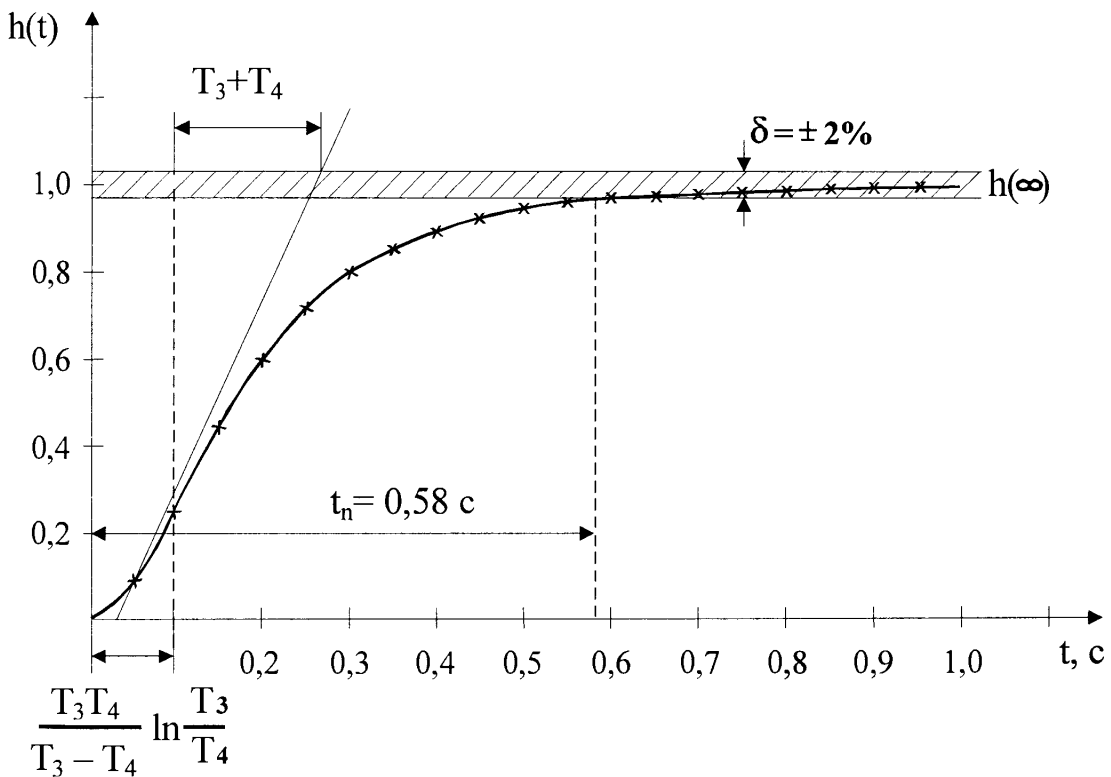


Рис. 3.5. Перехідна характеристика каналу вимірювання показника K на основі інформації про потужність на валі електродвигуна мішалки

При заданій величині відхилення $h(t)$ від усталеного значення $h(\infty)$ $\sigma = \pm 2\%$ потужності на валі електродвигуна видно, що тривалість перехідного процесу складає $t_{\pi} = 0,58$ с, тобто підтверджує його значну швидкодію.

Подамо функцію передачі (3.22), підставивши $K_e=1$ і $p=j\omega$ у вигляді:

$$W(j\omega) = \frac{1}{0,00944 (j\omega)^2 + 0,198 (j\omega) + 1}, \quad (3.31)$$

а функцію передачі каналу вимірювання (3.27) у вигляді дійсної та уявної частин,

$$W(j\omega) = \frac{1 - 0,00944\omega^2}{(1 - 0,00944\omega^2)^2 + 0,0392\omega^2} - j \frac{0,198\omega}{(1 - 0,00944\omega^2)^2 + 0,0392\omega^2}, \quad (3.32)$$

що дає можливість визначити його АФЧХ. Вираз для АЧХ одержуємо, використовуючи формулу:

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(1 - 0,00944\omega^2)^2 + 0,0392\omega^2}}. \quad (3.33)$$

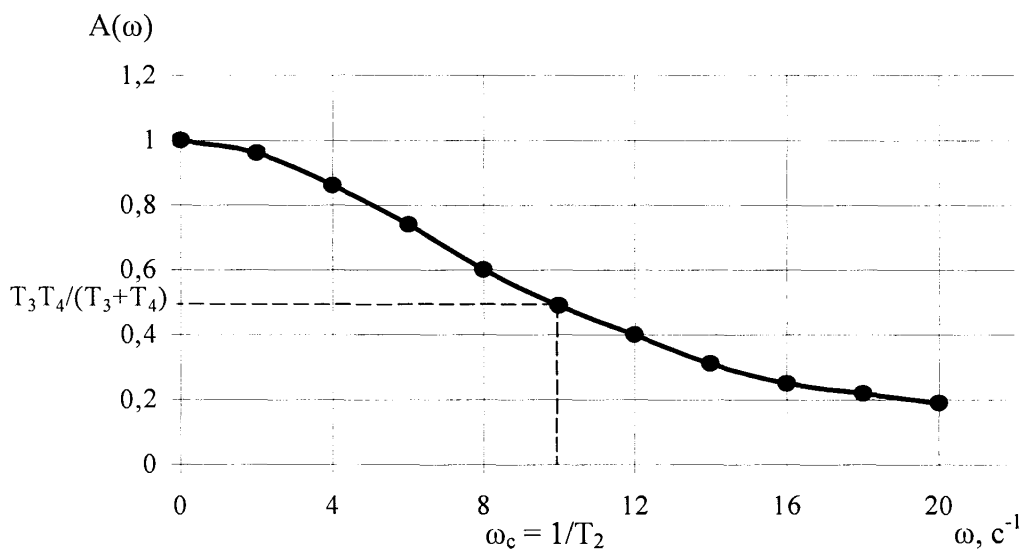


Рис. 3.6. Амплітудно-частотна характеристика вимірювального каналу

З графіку функції $A(\omega)$ (рис. 3.6) видно, що гармонічні сигнали малої частоти $\omega < \omega_c$ добре пропускаються каналом з відношенням амплітуд вихідної та вхідної величин, який близький до коефіцієнта передачі k_e . Сигнали з частотою $\omega > \omega_c$ пропускаються каналом погано: відношення амплітуд суттєво менше від

коефіцієнта передачі $k_e (< 0,45)$. Таким чином, розроблений канал вимірювання для контролю K виконує функції фільтра низької частоти.

Фазочастотну характеристику подаємо у вигляді:

$$\varphi(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{0,198\omega}{1 - 0,00944\omega^2}, \quad (3.34)$$

графік якої приведено на рис. 3.7.

З графіка видно, що чим більшою є частота вхідного сигналу, тим більшим буде відставання за фазою вихідної величини від вхідної. При частоті ω_c зсув фаз дорівнює -90° .

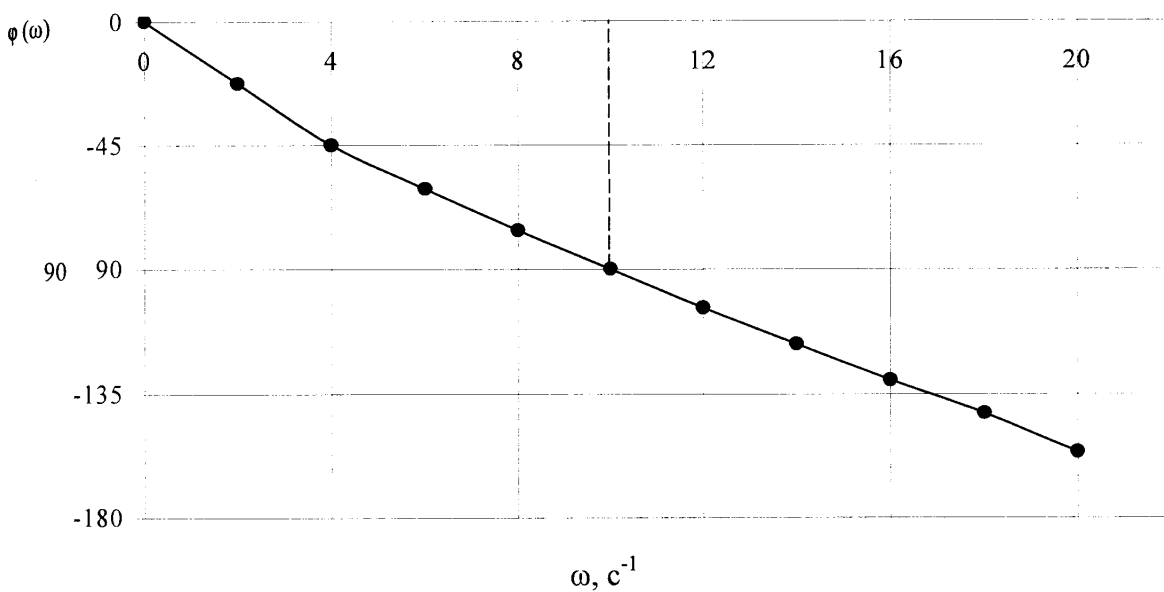


Рис. 3.7. Фазо-частотна характеристика вимірювального каналу

Інерційність каналу вимірювання обумовлена, головним чином, процесами накопичення електромагнітної енергії в індуктивності обмоток електродвигуна і кінетичної енергії – в масах, що обертаються (ротор, редуктор, мішалка). Втрати енергії мають місце в активному опорі обмоток двигуна і кабелю. Коефіцієнт демпфування $\zeta = 1,0206 > 1$, що дає підстави вважати канал вимірювання для контролю потужності на валі електродвигуна еквівалентним до аперіодичної

ланки другого порядку. Його динамічні похибки вимірювання додаються до статичних похибок згідно до принципу суперпозиції.

Враховуючи, що контроль К здійснюється в системі централізованого контролю, яка охоплює декілька реакторів полімеризації та інших апаратів, виникає необхідність визначення часу опитування давачів.

Оскільки в системі контролю виробництва ПВХ-Е здійснюється послідовний збір і обробка інформації від десятків давачів, виникає задача визначення періоду опитування давачів з врахуванням додатково приєднаних давачів активної потужності для контролю К.

Період опитування давачів потужності на валі мішалки необхідно вибрати з умови, що максимальне відхилення величини $P(t)$ вимірюється в дискретні проміжки часу t_i , $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ з інтервалом $\Delta t = t_{i+1} - t_i$. У проміжку між вимірюваннями фактичні значення величини $P(t)$ невідомі і тому величину y_c , що спостерігається, можна подати у такому вигляді:

$$y_c(t) = P(t) + \delta(y, t), \quad t_i \leq t \leq t_{i+1},$$

де $\delta(y, t)$ – похибка спостереження.

Величина $\delta(y, t)$ має такі значення:

$$\delta(y, t) = \begin{cases} \Delta P_v, \text{ при } t = t_i \\ \delta_E(P, t), \text{ при } t_1 < t < t_{i+1} \end{cases}$$

де ΔP_v – похибка вимірювання, $\delta_E(P, t)$ – похибка екстраполяції значень величини $P(t)$ в інтервалі між вимірюваннями:

$$\delta_E(t) = P_E(t) - P(t), \quad (3.35)$$

де $P_E(t)$ – екстрапольовані значення величини $P(t)$.

Математичним виразом вимог системи контролю до похибки спостережень $\delta(P, t)$ є деякий функціонал $F\{\delta(P, t)\}$ від похибки $\delta(P, t)$, визначений на інтервалі $[t_i, t_{i+1}]$.

Числове значення функціонала для деякої величини визначається похибкою вимірювань ΔP_v , похибкою екстраполяції δ_E та інтервалом часу Δt між вимірюваннями:

$$F\{\delta(P, t)\} = \varepsilon\{\Delta P_v, \delta_E, \Delta t\}.$$

Якщо задаватись допустимим значенням функціонала похибки $\varepsilon_{\text{доп}}$ і розв'язати рівняння

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \varepsilon \{ \Delta P_{\text{в}}, \delta_{\text{Е}}, \Delta t \} \quad (3.36)$$

відносно Δt , то можна розраховувати шуканий інтервал часу між вимірюваннями.

Враховуючи, що контрольований параметр є стаціонарним з нормальним законом розподілу і оцінкою автокореляційної функції вигляду $R_{pp}(t) = D_p e^{-\alpha_p |t|}$, розглянемо можливість використання методу ступінчатої екстраполяції. При цьому значення величини $P(t)$ в інтервалі між вимірюваннями приймається рівним значенню в останній момент вимірювання, тобто

$$P_{\text{Е}}(t) = P(t_i) + P_{\text{В}}(t_i), \quad t_i \leq t \leq t_{i+1}.$$

У цьому випадку похибка (3.35) і рівняння (3.36) мають такий вигляд

$$\delta_{\text{Е}}(P, t) = P(t_i) - P(t) + P_{\text{В}}(t_i);$$

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \delta_{\text{Еmax}}(\Delta t) + \Delta P_{\text{Вmax}}, \quad (3.37)$$

де $\Delta P_{\text{Вmax}}$ – максимальна абсолютна похибка вимірювань; $\delta_{\text{Еmax}}(\Delta t)$ – максимальна абсолютна похибка екстраполяції величини $P(t)$ при $\Delta P_{\text{В}} = 0$.

Максимальну похибку ступінчатої екстраполяції $\delta_{\text{Еmax}}(\Delta t)$ можна оцінити різними методами, зокрема [70,71], використовуючи формулу Лагранжа. Тоді для достатньо малих Δt отримаємо:

$$\delta_{\text{Еmax}}(\Delta t) \approx |P'_{\text{max}}(t^*)| \Delta t, \quad (3.38)$$

де $P'_{\text{max}}(t^*)$ – максимальне значення похідної, яке можна оцінити на основі аналізу достатньо тривалої зміни величини $P(t)$, або користуючись нерівністю С.Берншейна:

$$|P'_{\text{max}}(t^*)| \leq \omega_3 | \Delta P_{\text{max}} |, \quad (3.39)$$

де ω_3 – частота зрізу спектра функції $P(t)$, яка має обмежений спектр; ΔP_{max} – максимальне відхилення $P(t)$ від середнього значення.

Тоді, використовуючи (3.37) і (3.39), отримаємо:

$$\Delta t = \frac{\varepsilon_{\text{доп}} - \Delta P_{\text{Вmax}}}{|P'_{\text{max}}(t^*)|} = \frac{\varepsilon_{\text{доп}} - \Delta P_{\text{вmax}}}{\omega_3 |\Delta P_{\text{max}}|} = (0,00285 \pm 0,002)с, \quad (3.40)$$

де $\varepsilon_{\text{доп}} = 115$ Вт – задане допустиме значення абсолютної похибки;

$\Delta P_{V,max}=110\text{Вт}$ – максимальна абсолютна похибка вимірювань потужності, яку споживає електродвигун мішалки реактора ПВХ-Е; $\Delta P_{max}=250\text{Вт}$ – максимальне відхилення потужності електродвигуна мішалки від середнього значення, визначене за експериментальними даними; $\omega_s \approx (7 \pm 10) / t_n = (7 \pm 10) \text{ с}^{-1}$ – частота зрізу спектра функції $P(t)$ [72], де $t_n=1\text{с}$ – тривалість перехідного процесу у розробленому каналі вимірювання.

Для порівняння скористаємося визначенням інтервалу часу між зареєстрованими результатами спостережень, виходячи з теореми В.А. Котельникова [72]. Для визначення похибки представлення функції випадкової складової похибки каналу вимірювання не більше $\pm 5\%$ приймають [73] інтервал, рівний $10\Delta t$:

$$\Delta t = 1 / 10f.$$

Оскільки на випадкову складову похибки каналу вимірювання потужності на валі мішалки найбільший вплив здійснюють промислові завади, то за граничну частоту було вибрано частоту $f = 50 \text{ Гц}$. Тоді $\Delta t = 1 / 10 \cdot 50 = 0,002 = 2\text{мс}$. Остаточно вибрана інтервал опитування давачів, відповідно до (3.40), $\Delta t = 2\text{мс}$.

Враховано, що на корисний сигнал контролю накладається не лише промислова завада з частотою 50 Гц, але й інші промислові завади, що діють на канал передачі інформації від мішалки до вимірювального пристрою. Тому розглянуто можливості фільтрації вимірювальних сигналів від завод.

3.4 Визначення чутливості і точності методу контролю показника K

У відповідності з основними положеннями теорії вимірювальних пристроїв [75,76] вимірювання K розглянемо як процес прийняття і перетворення інформації про вимірювальну величину, що проходить у вимірювальному пристрої [76]. Структуру вимірювального пристрою у зв'язку з цим подамо у вигляді сукупності вимірювальних перетворювачів, які здійснюють функціональні вимірювальні перетворення сигналів різної фізичної природи (рис. 3.8).

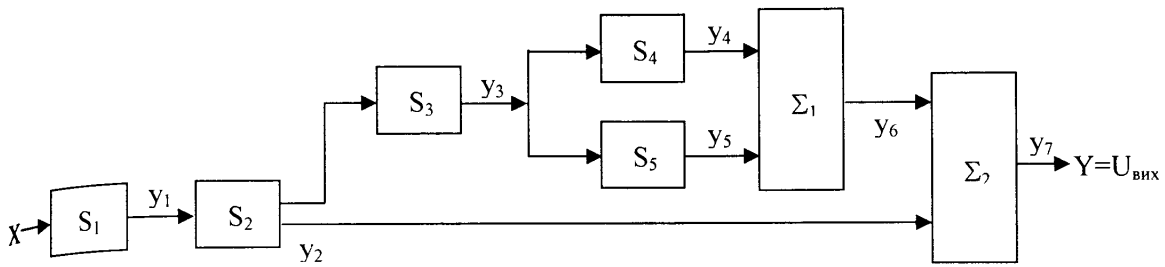


Рис.3.8. Структурна схема пристрою контролю показника К

З рис.3.8 бачимо, що це пристрій прямого перетворення з послідовним і паралельним з'єднанням перетворювачів і двома суматорами Σ_1 і Σ_2 . Функція перетворення пристрою має вигляд:

$$X [S_1 \cdot S_2 - S_3 (S_4 + S_5)] = Y. \quad (3.41)$$

Чутливість такого перетворювача S , що визначається відношенням вихідної величини Y до вхідної X , дорівнює:

$$S = [S_1 \cdot S_2 - S_3 (S_4 + S_5)], \quad (3.42)$$

де S_1 – чутливість перетворювача механічного навантаження на валі мішалки в потужність на валі електродвигуна; S_2 – чутливість перетворювача активної потужності електродвигуна; S_3 – чутливість квадратора;

S_4 – чутливість пристрою множення опору кабелю на квадрат струму вигуна; S_5 – чутливість пристрою множення опору обвитки двигуна на квадрат струму двигуна.

Розглянута структура перетворювача (рис.3.8) і функція його перетворення (3.41) дають можливість проаналізувати чутливість перетворювача та причини виникнення похибок. Причини, що викликають похибки, обумовлені, в першу чергу, неідеальністю фізичних характеристик елементів вимірювального каналу: мішалки, електродвигуна, перетворювача активної потужності, блоку обчислювальних операцій та їх залежністю від експлуатаційних умов. Це відображається на зміні сигналу, який пропорційний до потужності холостого

ходу електродвигуна мішалки і, як наслідок, на зміні абсолютної похибки нульового рівня Δ_0 , або адитивній абсолютній похибці.

Експериментальні дослідження дозволили встановити значення абсолютної похибки нульового рівня $\Delta_0 = \pm 0,4$, яке коригується компенсатором сигналу, що пропорційний до потужності холостого ходу P_{xx} електродвигуна. Значення показника K , яке відповідає цій величині потужності P_{xx} , є порогом чутливості розробленого пристрою контролю.

Інші причини виникнення похибок вимірювання K зумовлені недосконалістю наших знань про фізичні процеси та явища, які супроводжують роботу пристрою контролю K . Похибки, що викликані такими факторами, носять випадковий характер, і враховувати та коригувати їх практично неможливо.

Визначимо статичні похибки пристрою в реальних умовах експлуатації за умови, що вимірювальна величина K і тарувальна характеристика пристрою $U = f(K)$ (рис.3.9) під час аналізу є незмінними.

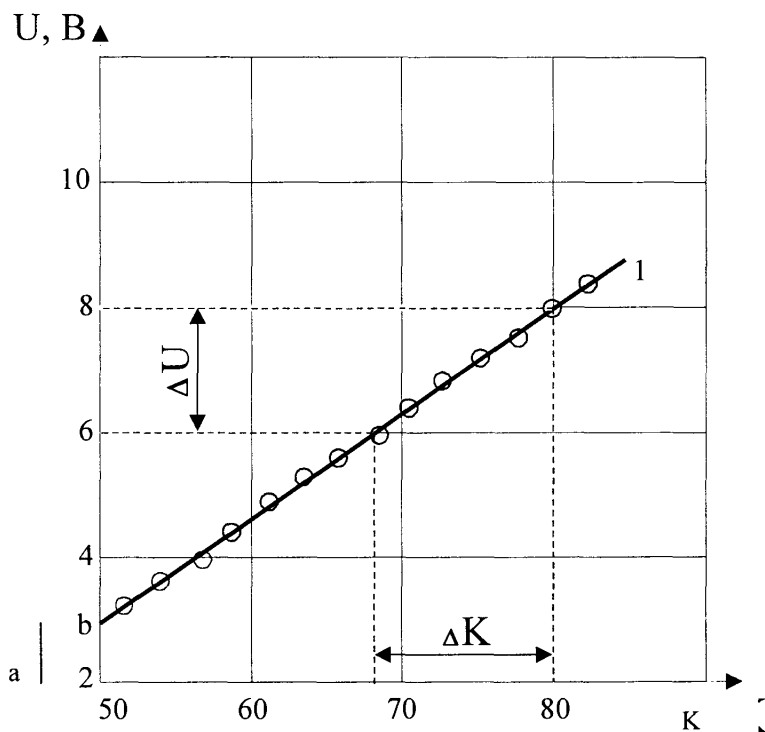


Рис.3.9. Тарувальна характеристика пристрою контролю показника K

Лінеаризація тарувальної характеристики в реальних межах зміни K була проведена методом січної. Похибка лінеаризації в точці максимального

відхилення тарувальної характеристики від прямої 1 (рис.3.9) при $K=68$ дорівнює $\gamma_K = 0,038$ В, вона характеризує абсолютну похибку чутливості. Відносна похибка чутливості дорівнює $\gamma_K = 0,64$ %.

Відрізок $a-b=3,38$ В на осі ординат відповідає початковому рівню сигналу пристрою при холостому ході електродвигуна мішалки. Нахил прямої 1 відповідає чутливості пристрою до контрольованого параметру

$$k = \Delta U / \Delta K = 2 \text{ В} / 4,8 = 0,416 \text{ В}.$$

Пряма 1 відповідає випадку, коли поріг чутливості $(a-b)$ і чутливість k є сталими величинами. Однак, внаслідок зміни значень сукупності факторів, що впливають в реальних умовах вимірювань, коефіцієнти k і b змінюються. Нестабільність чутливості початкового рівня вихідного сигналу пристрою приводить до того, що реальна функція перетворення (рис.3.10) займає проміжне місце між двома крайніми штриховими лініями.

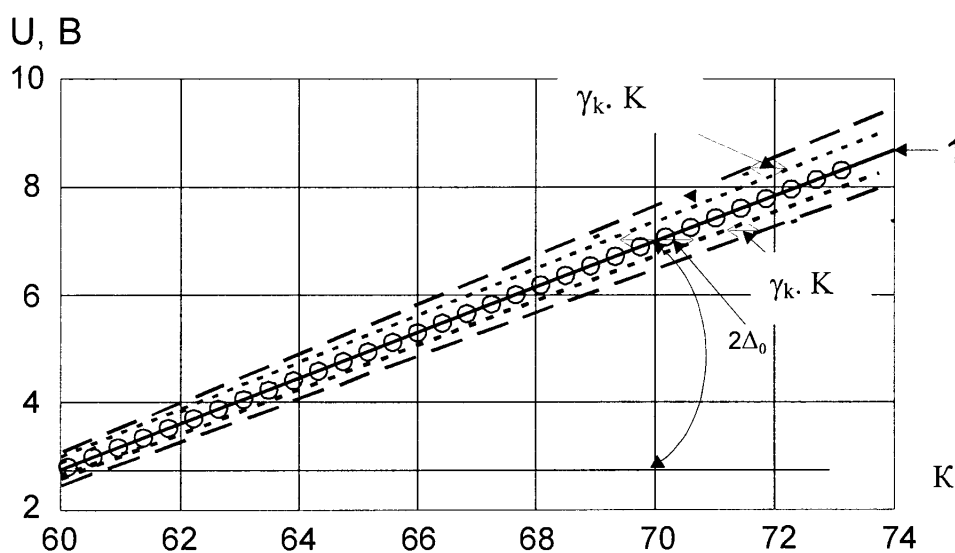


Рис.3.10. Графічне зображення функції перетворення (1) пристрою контролю показника К

Невизначеність результату контролю К обмежується значенням $2\Delta_0 + 2\gamma_K K$, де Δ_0 — адитивна абсолютна похибка (абсолютна похибка нульового рівня),

$\gamma_k K$ – мультиплікативна абсолютна похибка (абсолютна похибка чутливості), γ_k – відносна мультиплікативна похибка (відносна похибка чутливості). Тоді функція перетворення вимірювального пристрою прийме вигляд:

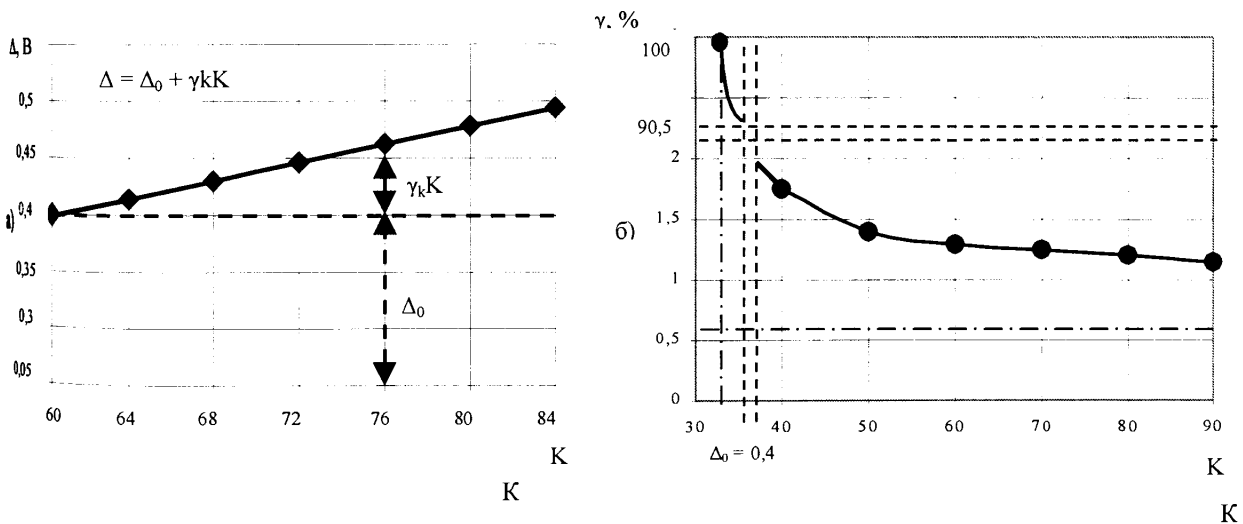
$$U = k(K \pm \Delta_0) (1 \pm \gamma_k) = 0,416 (K \pm 0,4)(1 \pm 0,64), \quad (3.43)$$

а абсолютна і відносна похибки визначаються відповідно виразами:

$$\Delta = \Delta_0 + \gamma_k K = 0,04 + 0,64K/100, \quad (3.44)$$

$$\gamma = \gamma_k + (\Delta_0/K) = 0,64 + (0,4/K) \cdot 100, \% \quad (3.45)$$

Для зручності використана геометрична інтерпретація розглянутих співвідношень (3.44) і (3.45) зображена на рис.3.11. У відповідності з цими співвідношеннями здійснюється нормування похибок вимірювального пристрою за допомогою формули: $y = k (1 \pm \gamma_k)(K + \Delta_0)$. Розглянуті миттєві значення похибки пристрою контролю K є достатньо повними, однак вони розглядалися, виходячи із умови незмінності тарувальної характеристики і контрольованої величини за визначений період часу.



а- від похибки нуля ;

б- чутливості γ

Рис. 3.11. Графіки значення комплексного показника якості K

Однак, внаслідок інерційності всіх перетворювачів, що під'єднані до каналу вимірювання, різниця між миттєвим значенням контрольованої величини і результатом вимірювання може суттєво змінюватися в залежності від того, з якою

швидкістю змінюється вхідний сигнал і з якою швидкістю змінюються характеристики самих вимірювальних перетворювачів. Це веде до появи динамічної похибки.

У зв'язку з необхідністю отримання інформації про процеси, що відбуваються в реакторі полімеризації, актуальними є дослідження динамічних властивостей вимірювальної системи і можливості створення на цій основі пристрою автоматичного контролю з використанням електродвигуна, як джерела інформації. Перевагою таких пристроїв є наявність простого і надійного за потужністю джерела сигналу, що дозволяє зменшити величину похибки вимірювальної системи теоретично до нуля, а практично вона обмежується лише конструктивними можливостями пристрою контролю.

У процесі змішування в реакторі полімеризації ПВХ-Е має місце передача і перетворення не лише енергії, але й інформації. Кабель і електродвигун мішалки утворюють канал, по якому відбувається передача енергії від трансформатора до мішалки. Енергетичні процеси в силовій частині є одночасно і інформативними, оскільки потік енергії, що надходить від силового трансформатора до електродвигуна мішалки, несе в собі інформацію про параметри режиму змішування, зміну умов змішування, про фізичні процеси в апаратах і, частково, про частоту обертання мішалки, момент і потужність на мішалці.

Вхідним параметром електродвигуна, який передає мішалці певну потужність, є момент M на валі, який зв'язаний з кутовою швидкістю ω (рис.3.12).

Зміна моменту на валі електродвигуна веде до відхилення значення S ковзання від початкового значення, яке відповідає холостому ходу електродвигуна. Електродвигун мішалки перетворює приріст ковзання в зміну комплексного опору обмотки статора, що веде до зміни комплексного струму статора і активної потужності P . Вимірюючи активну потужність на затискачах електродвигуна, можна отримати інформацію про потужність на його валі P_v та інші показники процесу змішування [37,38,39,80].

Оскільки електродвигун мішалки віддалений від місця вимірювання на декілька десятків метрів, то необхідно дослідити можливості фільтрації вимірювальних сигналів від завод.

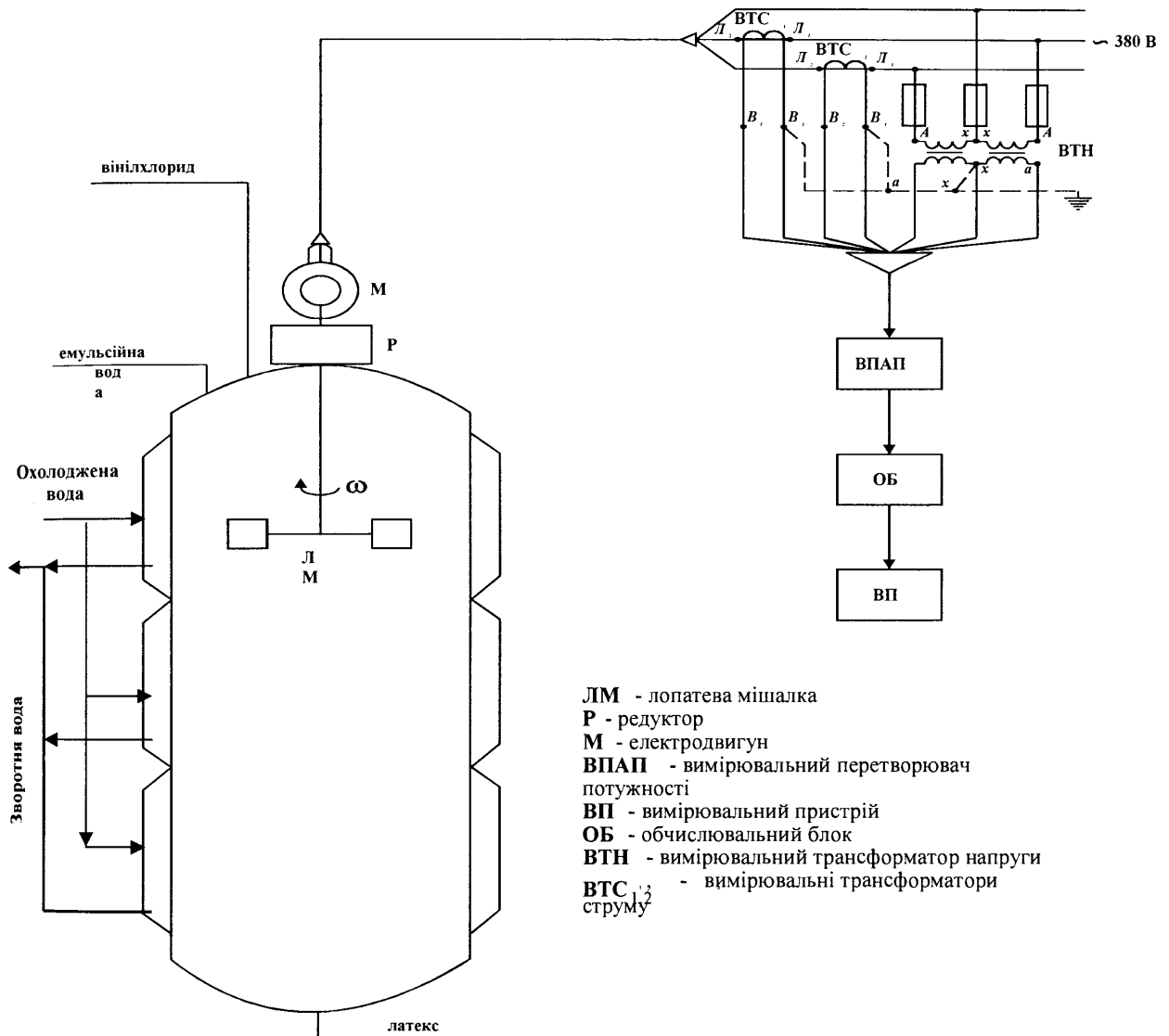


Рис. 3.12. Функціональна схема контролю показника К

3.5 Фільтрація вимірювальних сигналів від завод та аналіз похибок контролю якості виробництва ПВХ-Е

Метод контролю показника К базується на неперервній інформації про активну потужність, яку споживає електродвигун мішалки. Тому однією з

важливих операцій при створенні алгоритмічної структури пристрою контролю показника K , як будь-якої системи контролю, є фільтрація, необхідна для отримання найбільш точних оцінок значень сигналів $P_c(t)$, [72,81,82,83].

Алгоритмічну структуру пристрою контролю K представимо у вигляді трьох основних частин, які виконують наступні функції (рис.3.13):

- отримання найбільш точних оцінок поточних значень вимірюваної величини активної потужності електродвигуна $P_c(t)$;
- формування контрольованої величини (показника K) за відомими оцінками вимірюваних величин (обчислювальні операції);
- виконання операцій над контрольованою величиною з метою отримання результатів контролю (індикація, реєстрація, сигналізація, виявлення подій).

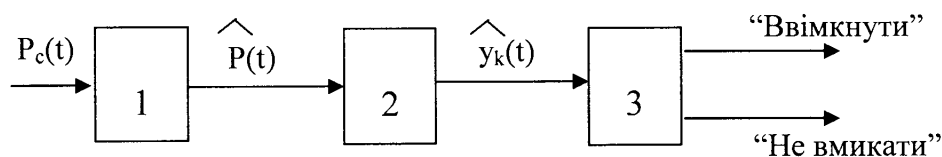


Рис. 3.13. Основні складові алгоритмічної структури пристрою контролю показника K

Фільтрація контрольованої величини $P_c(t)$ в умовах виробництва ПВХ-Е обумовлена завадами всередині об'єкта реактора полімеризації і похибкою $\Delta P(t)$ датчиків D (рис.3.14)

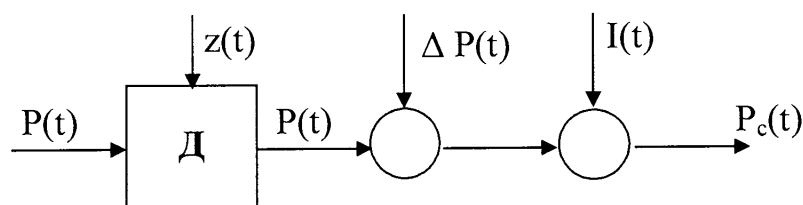


Рис. 3.14. Схема контролю показника K в умовах завад і похибки датчика

Відносна похибка датчика активної потужності разом з трансформаторами струму і напруги відома і складає $\pm 2,35\%$.

Дослідження [78,84] показали, що при виробництві ПВХ-Е контрольовані сигнали $P(t)$ від давачів активної потужності – це стаціонарні випадкові сигнали з кореляційними функціями такого виду:

$$R_{pp}(\tau) = D_p e^{-\alpha_p |\tau|},$$

які, як відомо [35,70], можна отримати, якщо пропустити білий шум з одиничною інтенсивністю $S_{z0} = 1$ через формуючий фільтр з функцією передачі:

$$W_\Phi(p) = \frac{(2D_p \alpha_p)^{\frac{1}{2}}}{p + \alpha_p}, \quad (3.46)$$

де D_p – дисперсія сигналу; p – оператор Лапласа; α_p – параметр кореляційної функції, що визначається за експериментальними реалізаціями сигналів $P_c(t)$.

Як приклад, на рис.3.15 зображений графік автокореляційної функції $R_{pp}(\tau)$, $P_c(t)$ електродвигуна мішалки типу КР 132.2.14 з потужністю 4,4 кВт, який

побудовано за експериментальними даними. З графіка видно, що $\frac{1}{\alpha_p} = 0,06$ с ,

$$\alpha_p = 1,66, \quad \frac{\pi}{\alpha_p} = 1,89, \quad D_p = 1.$$

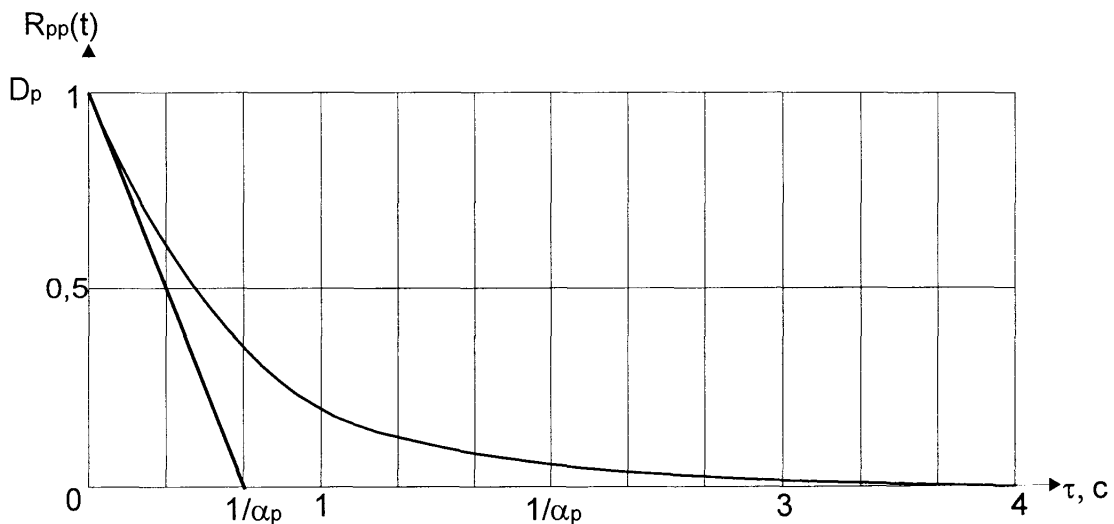


Рис. 3.15. Графік автокореляційної функції $R_{pp}(\tau)$

Оскільки сигнал $P(t)$ вимірюється з завадою $e(t)$:

$$P_c(t) = P(t) + e(t),$$

де $e(t)$ —стаціонарний білий шум з автокореляційною функцією $R_{ee}(\tau)=S_{e0}\delta(\tau)$ і спектральною функцією $S_e(\omega)=S_{e0}=\text{const}$, то вплив завад можна зменшити, якщо здійснити фільтрацію контрольованого сигналу, наприклад, за допомогою фільтра Калмана.

Враховуючи це, визначили структуру і параметри фільтра Калмана, який найкраще може виділяти з контрольованого сигналу $P_c(t)$ оцінку корисного сигналу $P(t)$, структура і параметри якого розглянуті в додатку В3.

Із (3) додатку В3 випливає, що оптимальна система фільтрації в даному випадку може бути створена шляхом формування корисного сигналу за рахунок того, що на її вхід замість нульового сигналу подається сигнал $\eta = (P_C - \hat{P}_C)$, а на інтеграторі встановлено нульову початкову умову замість випадкової. Таким чином, оптимальна система фільтрації сигналів від перетворювачів активної потужності в даному випадку створюється шляхом під'єднання підсилювача із змінним коефіцієнтом підсилення K , замикання від'ємного зворотного зв'язку і подачі на вхід вихідного сигналу системи (рис.3.16).

Використання фільтра Калмана у вимірювальному каналі потужності на валі мішалки реактора ПВХ-Е сприяє підвищенню вірогідності і ефективності контролю показника K .

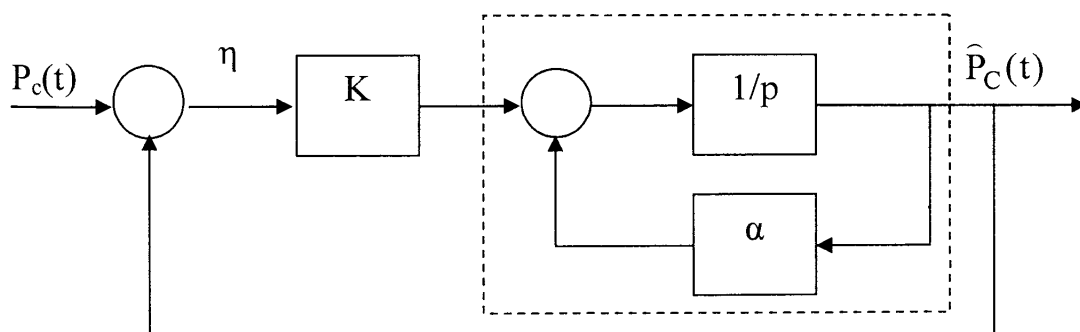


Рис. 3.16. Одномірний оптимальний фільтр

Використання непрямого методу контролю потужності на валі мішалки дозволяє відмовитися від необхідності встановлення вимірювальних перетворювачів безпосередньо в мішалці і здійснення передачі їх показів із

реактора полімеризації ПВХ-Е. Але цей метод має певну відносну похибку, яку необхідно оцінити [88,89].

Якщо виміряне значення потужності позначити P_1 , а дійсне значення потужності на мішалці – P_m , то відносна похибка вимірювання дорівнює:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_m}{P_m} \cdot 100\% \quad (3.47)$$

Врахуємо, що виміряне значення потужності P_1 складається з потужності на валі P_v і втрат:

$$P_1 = P_v + \Delta P_{ред} + \Delta P_k + \Delta P_{двд} + \Delta P_0, \quad (3.48)$$

де ΔP_k – втрати потужності в кабелі; $\Delta P_{дв}$ – втрати потужності в електродвигуні; ΔP_0 – втрати холостого ходу електродвигуна.

Оскільки потужність на мішалці

$$P_m = P_v + \Delta P_{ред}, \quad (3.49)$$

то, підставляючи (3.48) і (3.49) в (3.47), одержимо вираз для відносної похибки контролю:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{P_v + P_{дв} + \Delta P_k + \Delta P_0 + \Delta P_{двд} - (P_v - \Delta P_{ред})}{P_v - \Delta P_{ред}} \cdot 100\% = \\ &= \left(\frac{P_v + \Delta P_{ред} + \Delta P_k + \Delta P_{дв} + \Delta P_0}{P_v - \Delta P_{ред}} - 1 \right) \cdot 100\%. \end{aligned} \quad (3.50)$$

Аналіз рівняння (3.50) показує, що відносна похибка контролю потужності на валі мішалки залежить від:

- приросту втрат потужності в кабелі ΔP_k^* , які дорівнюють різниці між втратами в кабелі ΔP_k при поточному навантаженні електродвигуна і втратами в кабелі ΔP_k^0 при холостому ході електродвигуна

$$\Delta P_k^* = \Delta P_k - \Delta P_k^0 = r_{каб} l_{каб} \cdot 3 [I_{\phi}^2 - I_{\phi 0}^2],$$

де $r_{\text{каб}}$ – питомий опір однієї фази кабелю, Ом/км; $l_{\text{каб}}$ – довжина кабелю, км;
 I_{ϕ} , $I_{\phi 0}$ – фазові струми відповідно при поточному значенні навантаження і
холостому ході електродвигуна мішалки, А.

- приросту втрат потужності в електродвигуні, які обумовлені активним
опором його обвиток:

$$\Delta P_{\text{дв}} = r_{\text{дв}} \cdot 3[I_{\phi}^2 - I_{\phi 0}^2],$$

де $r_{\text{дв}}$ – активний опір обвитки однієї фази електродвигуна, Ом;

- втрат потужності в редукторі мішалки, які практично постійні, тобто $\Delta P_{\text{ред}} - \Delta P_{\text{ред}}^0 \approx 0$, де $\Delta P_{\text{ред}}^0$ – втрати потужності в редукторі при холостому ході;
- втрат холостого ходу електродвигуна, які також є практично постійними, тобто $\Delta P = \text{const}$.

Як бачимо, основним джерелом відносної похибки є втрати потужності в кабелі і двигуні та втрати холостого ходу. Тому в розробленій структурі пристрою контролю (рис.3.1) передбачена компенсація сигналу, пропорційного вказаним втратам потужності, та сигналу, пропорційного до втрат холостого ходу електродвигуна та втрат потужності в редукторі (компенсатор Π_4).

Напруга U_1 на виході первинного перетворювача ПП (рис.3.2), що під'єднаний до мережі живлення електродвигуна мішалки за допомогою давачів струму ДС і напруги ДН, пропорційна до вимірної активної потужності $P_{\text{внм}}$ системи “кабель – електродвигун” мішалки:

$$U_1 = \alpha_1 I_{\phi} U_{\phi} \cos \varphi, \quad (3.51)$$

де U_{ϕ} – фазова напруга; I_{ϕ} – фазовий струм; φ – кут між I_{ϕ} і U_{ϕ} ; α_1 – коефіцієнт пропорційності.

Сигнал, пропорційний до фазового струму I_{ϕ} , подається також на вхід квадратора Π_1 . Напруга U_2 на його виході пропорційна до квадрату вхідного сигналу:

$$U_2 = \alpha_2 I_{\phi}^2, \quad (3.52)$$

де α_2 – коефіцієнт пропорційності.

Блок Π_2 здійснює операцію множення струму на опір обмоток двигуна $r_{\text{дв}}$:

$$U_3 = \alpha_3 I_{\phi}^2 r_{\text{дв}}, \quad (3.53)$$

в блок П₃ – на опір кабелю r_k :

$$U_4 = \alpha_4 I_{\phi}^2 r_k, \quad (3.54)$$

де α_3, α_4 – коефіцієнти пропорційності.

Напруга U_5 на виході суматора $СМ_1$ пропорційна до втрат потужності в кабелі і обмотках двигуна.

У суматорі $СМ_2$ значення напруги U_5 віднімається від значення напруги U_1 . Аналогічна операція приводиться і з сигналом $U_{\text{хх}}$, який пропорційний до потужності холостого ходу двигуна, і сформований за допомогою блоку П₄ :

$$U_{\text{вих}} = U_1 - U_5 - U_{\text{хх}} \equiv P_{\text{вим}} - \Delta P, \quad (3.55)$$

де $U_5 = 3I^2(r_k + r_{\text{дв}})$ – сигнал, пропорційний до втрат потужності в кабелі і електродвигуні мішалки.

Як видно з (3.55), напруга на виході суматора $СМ_2$ пропорційна до потужності на валі двигуна мішалки:

$$P_{\text{в}} = P_{\text{вим}} - \Delta P,$$

де $\Delta P = 3I^2(r_k + r_{\text{дв}}) + P_{\text{хх}}$ – втрати потужності в кабелі $3I^2 r_k$, в електродвигуні - $3I^2 r_{\text{дв}}$ і втрати холостого ходу $P_{\text{хх}}$.

Це означає, що похибка пристрою для вимірювання активної потужності за алгоритмом:

$$P_{\text{в}} = P_{\text{вим}} - I^2 3(r_k + r_{\text{дв}}) - P_{\text{хх}} \quad (3.56)$$

дає можливість суттєво зменшити похибку пристрою, що дозволить одержати більш точну інформацію про потужність на валі мішалки реактора полімеризації ПВХ-Е.

Результуюча похибка вимірювання потужності на валі мішалки складається з основної похибки вимірювального перетворювача ПП активної потужності $\Delta_{\text{ПП}} = \pm 1,0\%$, похибок трансформаторів струму $\Delta_{\text{ТІ}} = \pm 1,5\%$ і напруги $\Delta_{\text{ТН}} = \pm 1,5\%$, похибки формування коректуючого сигналу $\Delta_{\text{К}} = \pm 0,1\%$, похибки вимірювального пристрою $\Delta_{\text{В}} = 0,5\%$.

у зв'язку з тим, що вищевказані похибки взаємно незалежні, середньоквадратична результуюча похибка пристрою контролю потужності на валі мішалки дорівнює кореню квадратному із суми квадратів усіх названих похибок, тобто 2,41%.

Крім розглянутої похибки, важливими характеристиками методу і пристрою контролю показника K є вірогідність та неперервність контролю, які розглядаються нижче.

3.6 Визначення вірогідності та оперативності контролю якості виробництва ПВХ

Якість латексу контролюється за величиною комплексного показника якості K , що включає значення константи Фікентчера K_{ϕ} , межі якої задаються кмовами технологічного регламенту [6] і державного стандарту на якість продукції [20].

Поставлена задача швидкого виявлення моменту розладнання процесу полімеризації ПВХ-Е передбачає наявність інформації про ймовірність хибної привоги $p_x(t_a < t_0) \leq \alpha$, де α – задана константа $0 \leq \alpha \leq 1$.

Оскільки величина $K(t)$ відома з деякою похибкою ξ , яка визначається похибками спостереження і алгоритмічного ланцюга, відбувається неоднозначна відповідність результатів контролю і стану об'єкту. В загальному випадку можливі чотири варіанти подій, які є несумісними (табл.3.2).

Таблиця 3.2

Перелік станів об'єкту і ймовірностей результату контролю

Стан об'єкта	Результат контролю	Ймовірність результату контролю
K_1	K_1	$p(1/1) = p_1$
K_1	K_2	$p(2/1) = p_x$
K_2	K_1	$p(1/2) = p_n$
K_2	K_2	$p(2/2) = p_2$

Ймовірність p_x назвемо ймовірністю хибної тривоги, а p_n - ймовірністю невизначеної відмови або пропуском порушення. Ймовірність $p(1/1)+p(2/2)=p_{вк}$ відповідає вірному, а $p_x+p_n=p_{нк}$ - невірному результату контролю, і $p_{вк}+p_{нк}=1$.

Для обчислення значення ймовірностей p_x і p_n необхідно знати густину розподілу конкретних значень контрольованої величини K відносно номінального значення K_0 ; густину розподілу похибки ξ ; координати нижньої і верхньої границь поля допуску відносно номінального значення K_0 .

Вважатимемо, що пристрій контролю показника K повинен формувати лише дві команди: “ввімкнути”, “не вмикати”. Команда “ввімкнути” використовується, коли K приймає значення менше від нижньої допустимої межі. В цьому випадку змінюється завдання для системи автоматичного регулювання температури охолодження реактора в напрямку її зниження. В результаті значення показника K повертається в задані межі.

Приймач такої системи контролю складається з двох елементів – підсилювача 1 і логічного порогового елемента 2 (рис.3.17).

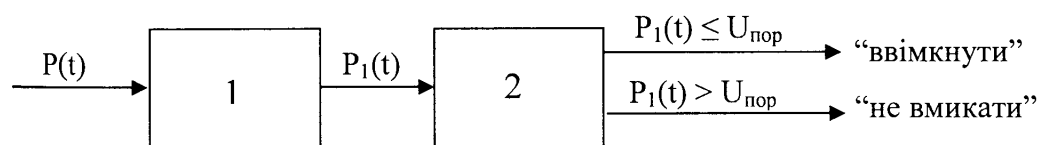


Рис.3.17. Функціональна схема приймача пристрою контролю показника K

За допомогою підсилювача здійснюється підсилення сигналу $P(t)$, який поступає з виходу приладу контролю. За допомогою логічного порогового елемента 2 сигнал $P_1(t) = U(t) + U_n(t)$ на основі відомого критерію відноситься до цієї чи іншої команди, причому $U(t)$ – це корисний сигнал на виході пристрою контролю, а $U_n(t)$ – завада. Наприклад, якщо рівень сигналу $P_1(t)$ зменшується нижче від порогового значення $U_{пор}$, то з виходу логічного елемента подається команда “ввімкнути”, якщо ж $P_1(t) > U_{пор}$, то подається команда “не вмикати”.

Вважатимемо, що приймач складається з безінерційних електронних елементів, тобто релейний елемент не має запізнення, і лінійний підсилювач не

має спотворення. Крім того, врахуємо, що команда “ввімкнути” створюється прямокутним імпульсом позитивної полярності, а команда “не вмикати” – імпульсом з нульовим рівнем амплітуди.

Якщо $P_1(t) > U_{пор}$, що відповідає команді “не вмикати”, то на вхід приймача впливають лише завади, які підсилюються за амплітудою лінійним підсилювачем і поступають на вхід електронного реле. Коли рівень завад досягне порогового значення, то реле спрацює і видасть хибну команду “ввімкнути”. Цей процес створення хибної команди пояснюється графіками, які показані на рис.3.18, а схема процесу пропуску розладнання зображена на рис.3.19. Тобто невірний результат контролю залежить від порогового рівня логічного елемента, а також від співвідношення між рівнями корисного сигналу і завад.

Припускаючи, що завади у вимірювальному каналі підпорядковуються закону нормального розподілу, розраховали ймовірності хибної тривоги p_x і пропуску розладнання p_n .

Оскільки, як було доведено в розділі 1, показник K розподілений за нормальним законом з середнім значенням K_0 і середнім квадратичним відхиленням σ_K , ймовірності p_x і p_n при умові $\xi \leq K_b - K_n$ можна оцінити за наближеними формулами [54]:

$$p_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz = V\left(\frac{U_{пор}}{U_{п.еф}}\right) = V(\beta), \quad (3.57)$$

$$p_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{U_m - U_{пор}}{U_{п.еф}}}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz = V\left(\frac{U_{пор}}{U_{п.еф}} - \beta\right), \quad (3.58)$$

де $\beta = U_{пор} / U_{п.еф}$, $U_{пор}$ – порогове значення логічного елемента, $U_{п.еф}$ – ефективне значення завад U_n за умови, що їх середнє значення прийнято рівним нулю ($U_{п.сер.} = 0$), і середньоквадратичне відхилення відповідає їхньому ефективному значенню, тобто $\sigma = U_{п.еф}$; $Z = U_n / U_{п.еф}$, U_m – амплітудне значення імпульсу корисного сигналу.

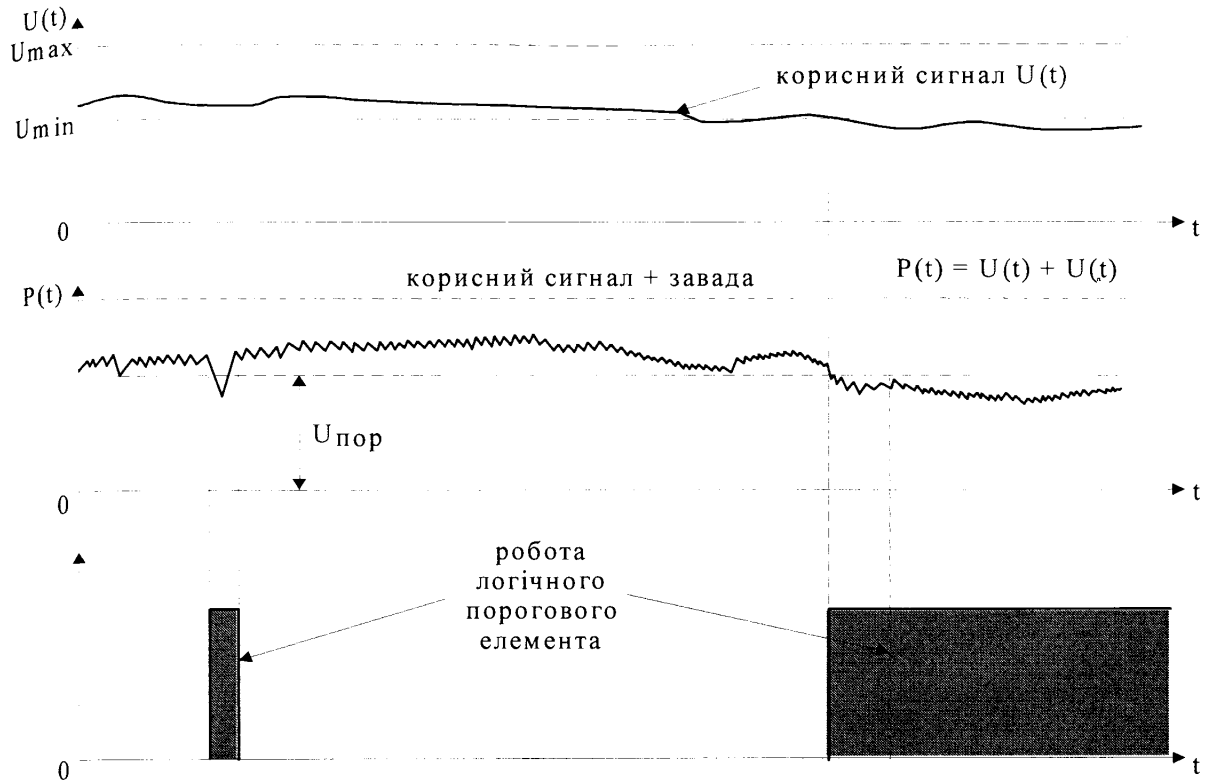


Рис. 3.18. Схема процесу створення хибних команд

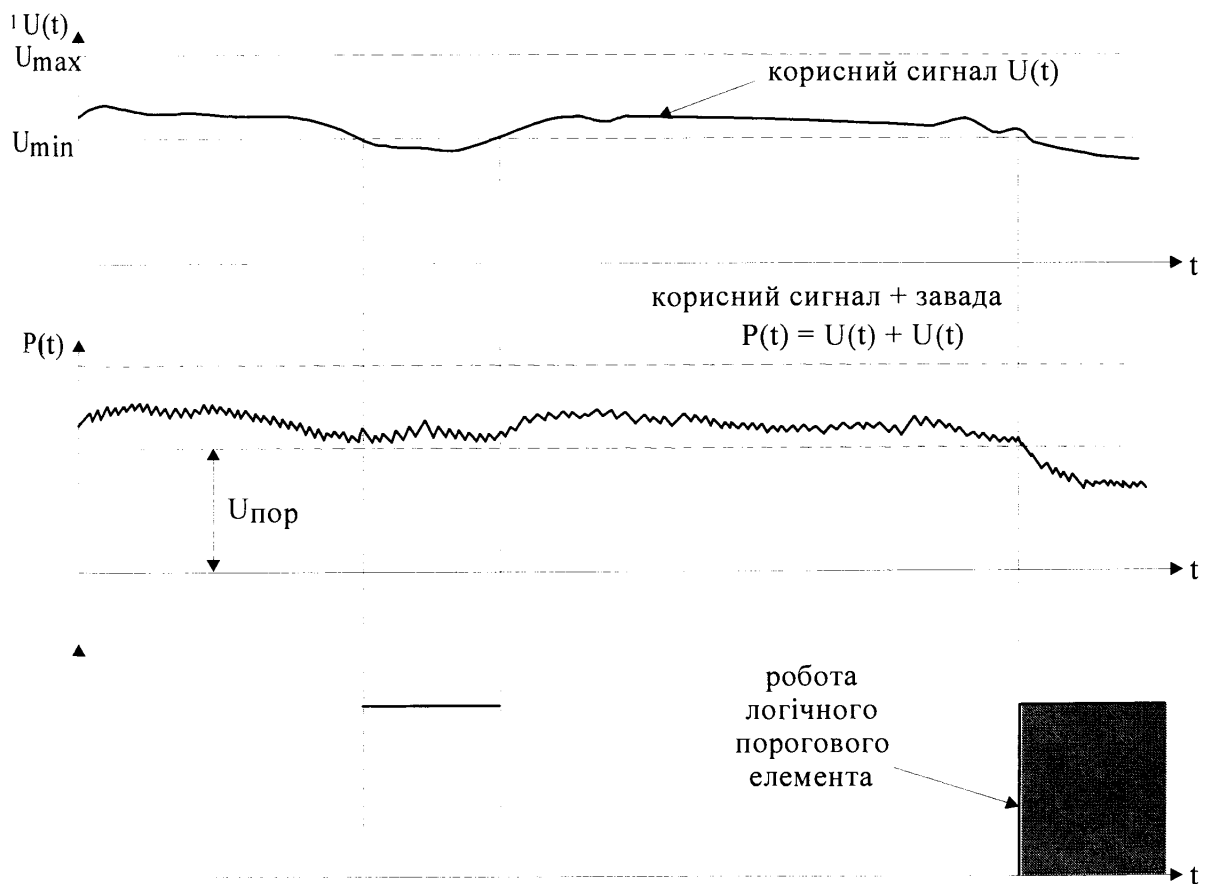


Рис. 3.19. Схема процесу пропуску розрядання

Значення інтегралу ймовірності $V(\beta)$ для різних β приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Значення інтегралу $V(\beta)$ для різних значень β

β	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,417	5,377
$V(\beta)$	0,32	0,133	0,0455	0,0124	0,0027	0,000471	0,000061	10^{-5}	10^{-7}

За допомогою даних з табл. 3.3 за відомим відношенням $U_{\text{пор}} / U_{\text{п.еф}} = U_{\text{пор}} / \sigma = \beta$ можливо визначити ймовірність хибної тривоги. За даними експериментальних досліджень $U_{\text{п.еф.}}=0,6$, а порогове значення $U_{\text{пор.}}=8$. Тоді:

$$\beta = \frac{U_{\text{пор}}}{U_{\text{п.еф}}} = \frac{8}{0,6} = 13,3.$$

Такому значенню β відповідає ймовірність хибної команди $P_x=V(\beta)=10^{-7}$.

З рівняння (3.58) випливає, що ймовірність пропуску розладнання P_n залежить від співвідношення рівня сигналу і завади $\left(\frac{U_m}{U_{\text{п.еф}}}\right)$ та коефіцієнта β , який визначає ймовірність хибних команд. Пропуск розладнання відбудеться тоді, коли сумарна напруга сигналу і завади буде меншою від $U_{\text{пор}}$ релейного елемента. Ймовірність такої події визначається за формулою (3.46)

Враховуючи це, можна визначити ймовірність пропуску розладнання. Для цього необхідно знайти співвідношення $\frac{U_m}{U_{\text{п.еф}}} = \frac{10}{0,6} = 16,6$, яке є сталою

величиною для даного вимірювального каналу. Тоді

$$\left(\frac{U_m}{U_{\text{п.еф}}} - \beta\right) = 16,6 - 13,3 = 3,3. \text{ Користуючись табл. 3.3, визначали зменшення}$$

ймовірності пропуску розладнання:

$$P_n = 0,0012.$$

Це означає, що на 1000 розладнань, що можуть трапитися в реакторі полімеризації ПВХ-Е, буде припадати 12 розладнань, які будуть пропущені. Із рівняння (3.46) видно, що ймовірність пропуску розладнання P_n залежить від

співвідношення рівнів сигналів $\left(\frac{U_m}{U_{п.еф.}}\right)$ і коефіцієнту β , який визначає

ймовірність появи хибних рішень. При цьому ймовірність P_n зростає із зменшенням ймовірності P_x , оскільки β збільшується. Таким чином, розглянуті показники завадостійкості є суперечливими, оскільки покращення одного показника приводить до погіршення іншого. Вказана суперечливість може бути

вирішена шляхом збільшення $\left(\frac{U_m}{U_{п.еф.}}\right)$ за рахунок фільтрації сигналу від завад, яка

розглянута в розділі 3.5.

З урахуванням цього можна визначити вірогідність контролю показника K за

допомогою розробленого методу: $\beta = 1 - \frac{P_{пом}^+}{P_{пом}} = 1 - \frac{0,0012}{0,1} = 0,988$,

де $P_{пом}^+$ – ймовірність помилкових рішень при використанні розробленого методу контролю показника K ; $P_{пом} = 0,1$ – ймовірність помилкових рішень до застосування контролю показника K , яка визначена за виробничими даними [6,9]. Це підтверджує високу вірогідність контролю комплексного показника якості K за допомогою запропонованого методу.

Визначимо ще одну характеристику автоматичного контролю K – ефективність контролю за формулою [86,90]:

$$E = 1 - \frac{C^*}{C},$$

де C^* – вартість витрат на контроль показника K ; C – вартість витрат на помилкове рішення за відсутності контролю.

Вартість витрат на контроль показника K складається з цін на: трансформатори струму, напруги, вимірювальний перетворювач активної потужності, тахогенератор, обчислювальний пристрій, реєструючий прилад, цифровий прилад, кабелі, а також на монтаж, налагодження і перевірку окремих пристроїв, і складає 12000 грн.

Вартість витрат на хибні рішення через відсутність контролю складають відповідно до даних виробництва $C = 107.325$ грн.

Враховуючи це, ефективність контролю дорівнює $E = 1 - 12000/107325 = 0.89$, що підтверджує високу ефективність контролю комплексного показника якості K за допомогою запропонованого методу.

3.7 Висновки з розділу 3

1. На основі аналізу методів автоматичної корекції похибок вимірювальних пристроїв розроблена блок-схема пристрою контролю для визначення комплексного показника якості K , яка забезпечує автоматичну корекцію похибок, що виникають за рахунок втрат потужності в кабелі та двигуні, а також компенсацію потужності холостого ходу електродвигуна.
2. Аналіз відносної похибки контролю потужності на валі мішалки реактора полімеризації ПВХ-Е та середньоквадратичної результуючої похибки пристрою контролю дозволив встановити, що основними джерелами відносної похибки є втрати потужності в кабелі та двигуні, а також втрати холостого ходу, які є практично незмінними. Середньоквадратична результуюча похибка пристрою контролю становить 2,41 %.
3. Дослідження розробленого методу контролю показника K в реальних умовах експлуатації дозволили визначити статичні похибки пристрою контролю: чутливість пристрою до контрольованого параметру (0,416 В), абсолютну похибку чутливості (0,038 В), відносну похибку чутливості (0,64 %), а також вплив похибок нуля і чутливості на функцію перетворення пристрою контролю показника K .
4. Проведені дослідження залежності абсолютної і відносної похибок від величини показника K , що дозволило у відповідності зі знайденими співвідношеннями здійснити нормування похибок вимірювального пристрою за допомогою двочленної формули.

5. Дослідженням динамічних властивостей вимірювального каналу контролю показника K встановлено, що електродвигун мішалки є аперіодичною ланкою першого порядку зі сталою часу $0,118$ с, кабель є безінерційною ланкою зі сталою часу $0,0013$ с, пристрій контролю потужності на валі електродвигуна мішалки реактора полімеризації ПВХ-Е – інерційною ланкою 1-го порядку із сталою часу $0,08$ с, а вимірювальний канал в цілому є аперіодичною ланкою 2-го порядку.
6. Доведено, що найбільший вплив на випадкову складову похибки розробленого вимірювального каналу мають промислові завади, що дозволило в якості практичної частоти вибрати частоту 50 Гц і, виходячи з теореми В.А.Котельникова, визначити інтервал часу між зареєстрованими результатами спостережень, який дорівнює 2 мс.
7. Для забезпечення фільтрації контрольованих сигналів від завад показано, що при використанні фільтра Калмана для отримання більш точних оцінок поточних значень контрольованої величини, необхідно послідовно з давачами активної потужності розмістити фільтри з функціями передачі аперіодичної ланки першого порядку, сталі часу і коефіцієнти передачі яких визначаються на підставі статистичних характеристик контрольованих сигналів.
8. Шляхом математичного аналізу ймовірностей створення хибних команд і пропуску моменту переходу за межі допуску при контролі показника K встановлено, що ймовірність хибної команди $p_x = 10^{-7}$, ймовірність пропуску моменту переходу $p_n = 0,0012$. Це дало можливість визначити вірогідність та ефективність контролю показника K за допомогою запропонованого методу, які становлять, відповідно, $\beta = 0,988$ і $E = 0,89$.

РОЗДІЛ 4. МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАНАЛУ ВИМІРЮВАННЯ

Канал контролю комплексного показника якості K полівінілхлориду комплектується на об'єкті експлуатації із серійних засобів вимірювання: каналу вимірювання активної потужності трифазного струму і пристрою виконання обчислювальних операцій. Тому на нього розповсюджуються державні стандарти і методичні вказівки, які розроблені для нестандартизованих інформаційно-вимірювальних каналів автоматизованих систем керування технологічними процесами. Вони встановлюють номенклатуру метрологічних характеристик, методику експериментальної оцінки похибок, схеми, методи і засоби повірки вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальних систем. Базуючись на їх використанні, в розділі обґрунтовується можливість забезпечення вірогідності результатів вимірювань та надійності каналу контролю при вимірюванні комплексного показника якості K у складі автоматизованої системи керування виробництвом ПВХ.

4.1 Схема нагромадження похибок каналу контролю показника якості K

Вважаємо, що розрахунок метрологічних характеристик запропонованого вимірювального каналу для контролю комплексного показника якості K повинен базуватися на використанні уніфікованого метрологічного опису окремих компонентів, з яких він складається, – від аналогових вимірювальних перетворювачів активної потужності і струму, наступного аналогово-цифрового перетворення і цифрової обробки даних – до кінцевого результату вимірювань. Такий підхід відповідає загальноприйнятій методології аналізу великих систем [91]. Маючи на увазі, що кінцевою метою є розрахунок метрологічних характеристик вимірювального каналу, а також характеристик похибок вимірювань, обмежимося лише формалізацією метрологічних властивостей вимірювального каналу, тобто схемою нагромадження похибок каналу контролю

показника K . Така модель повинна дати формальний опис перетворень сигналів контрольованої інформації, похибок цього перетворення, а також їх характеристик. В основу матеріалу цього розділу покладені метрологічні моделі аналогового перетворення сигналів, які описані в розділі 3, а також відомості про інші метрологічні компоненти вимірювальних систем [91,92,94,96].

Відповідно до функціональної схеми вимірювального каналу, запропонований канал контролю комплексного показника якості K відноситься до аналогово-цифрових з послідовним аналоговим і цифровим перетворенням вимірювальної інформації.

Для створення схеми вимірювального каналу скористаємося формальними метрологічними властивостями компонентів каналу і уніфікованою структурною схемою [93,95,96,103]. Схема такого каналу, що дає формальний опис аналогово-цифрових перетворень сигналів вимірювальної інформації, похибок цих перетворення, а також їх характеристик, зображена на рис.4.1. У цій схемі відображено процес нагромадження похибок перетворення відповідно до вимог, які ставляться до вимірювальних схем, і сформульовані у роботах [81,82,86,94].

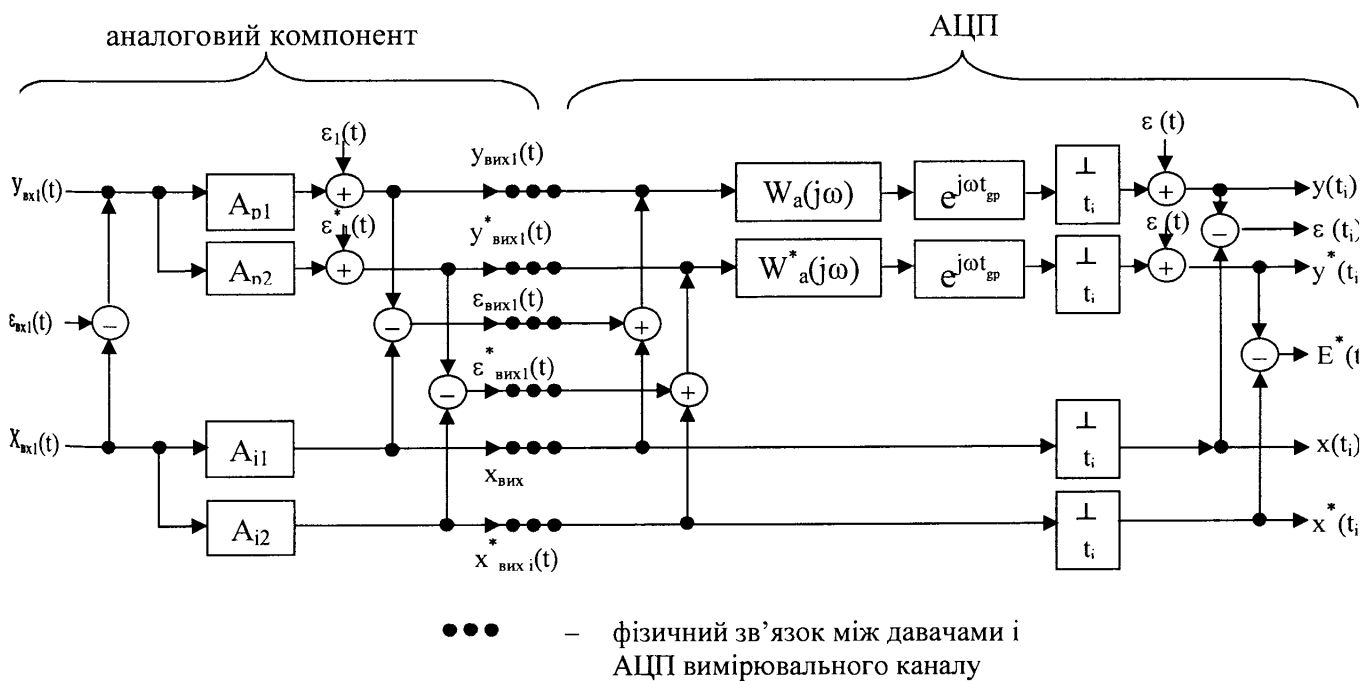


Рис. 4.1. Схема нагромадження похибок каналу контролю K

На рис.4.1 для опису аналогового компонента вимірювального каналу використані такі позначення:

$X_{вх1}(t)$ – сигнал контрольованої величини – активної потужності;

$\varepsilon_{вх1}(t)$ – похибка, яка є однорідною з вимірювальною величиною і викликана завадами та пульсаціями, що накладаються на сигнал вимірювальної величини, а також взаємодією давача з контрольованим об'єктом – речовиною в реакторі ПВХ-Е;

$U_{вх1}(t)$ – сигнал на вході чутливого елемента – давача активної потужності;

A_{p1}, A_{p2} – реальні оператори давачів активної потужності і струму вимірювального каналу;

A_{i1}, A_{i2} – ідеальні оператори давачів активної потужності і струму вимірювального каналу, тобто оператори безінерційного перетворення з коефіцієнтом передачі $A_i = K_i$;

$\varepsilon_1(t), \varepsilon_1^*(t)$ – власні похибки давачів активної потужності і струму вимірювального каналу;

$\varepsilon_{вих1}(t), \varepsilon_{вих1}^*(t)$ – похибки, які нагромадились на виходах давачів активної потужності і струму вимірювального каналу;

$U_{вих1}(t), U_{вих1}^*(t)$ – сигнали вимірюваної інформації, які діють в реальному вимірювальному каналі контролю К на виході аналогового компонента;

$X_{вих i}(t), X_{вих i}^*(t)$ – ідеальні або бажані сигнали вимірюваної інформації, що є були у вимірювальному каналі з ідеальними операторами A_{i1}, A_{i2} .

Позначення для другого компонента вимірювального каналу АЦП наступні:

$W_a(j\omega), W_a^*(j\omega)$ – комплексні частотні характеристики аналогової частини АЦП для каналів вимірювання активної потужності і струму;

$W_\phi(j\omega) = e^{j\omega t_{гр}}$ – комплексна частотна характеристика фіктивної фазозсуваючої ланки;

$t_{гр}$ – граничне значення похибки датування відліку;

t_i – період повторення умовного імпульсного елемента;

$\varepsilon(t)$ – похибка АЦП, до складу якої входять активна і мультиплікативна похибки, а також похибка квантування.

Як бачимо, схема нагромадження похибок каналу контролю комплексного показника якості K має два паралельні ланцюги – в аналоговому компоненті і в АЦП. За своїми властивостями вони є аналогічними і відрізняються лише реальними операторами A_{p1} , A_{p2} давачів активної потужності і струму.

Використовуючи оператори A_{p1} і A_{i1} , отримаємо формальний математичний опис для давача активної потужності:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{\text{вих1}}(t) = A_{p1} [X_{\text{вх1}}(t) + \varepsilon_{\text{вх1}}(t)] + \varepsilon_1(t) = \\ \quad = A_{p1} Y_{\text{вх1}}(t) + \varepsilon_1(t), \\ X_{\text{вих1}}(t) = A_{i1} X_{\text{вх1}}(t), \\ \varepsilon_{\text{вих1}}(t) = A_{p1} Y_{\text{вх1}}(t) - A_{i1} X_{\text{вх1}}(t) + \varepsilon_1(t). \end{array} \right. \quad (4.1)$$

Аналогічно отримаємо формальний математичний опис для давача струму:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{\text{вих1}}^*(t) = A_{p2} [X_{\text{вх1}}(t) + \varepsilon_{\text{вх1}}(t)] + \varepsilon_1^*(t) = \\ \quad = A_{p2} Y_{\text{вх1}}(t) + \varepsilon_1^*(t), \\ X_{\text{вих1}}^*(t) = A_{i2} X_{\text{вх1}}(t), \\ \varepsilon_{\text{вих1}}^*(t) = A_{p2} Y_{\text{вх1}}(t) - A_{i2} X_{\text{вх1}}(t) + \varepsilon_1^*(t). \end{array} \right. \quad (4.2)$$

Оскільки оператори A_{p1} і A_{p2} – лінійні, то:

$$\begin{aligned} A_{p1} Y_{\text{вх1}}(t) &= A_{p1} [X_{\text{вх1}}(t) + \varepsilon_{\text{вх1}}(t)] = \\ &= A_{p1} X_{\text{вх1}}(t) + A_{p1} \varepsilon_{\text{вх1}}(t), \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \text{і } A_{p2} Y_{\text{вх1}}(t) &= A_{p2} [X_{\text{вх1}}(t) + \varepsilon_{\text{вх1}}(t)] = \\ &= A_{p2} X_{\text{вх1}}(t) + A_{p2} \varepsilon_{\text{вх1}}(t), \end{aligned}$$

Тоді після підстановки (4.3) в (4.1) і (4.2) маємо:

$$Y_{\text{вих1}}(t) = A_{p1} X_{\text{вх1}}(t) + A_{p1} \varepsilon_{\text{вх1}}(t) + \varepsilon_1(t), \quad (4.4)$$

$$Y_{\text{вих1}}^*(t) = A_{p2} X_{\text{вх1}}(t) + A_{p2} \varepsilon_{\text{вх1}}(t) + \varepsilon_1^*(t). \quad (4.5)$$

Рівняння (4.4) і (4.5) відрізняються лише реальними операторами A_{p1} і A_{p2} . Враховуючи, що реальний оператор давача струму A_{p2} має однаковий порядок з

реальним оператором A_{p1} давача активної потужності, але його стала часу набагато менша, розглянемо схему нагромадження похибок каналу контролю показника K з одним, найбільш інерційним реальним оператором A_{p1} давача активної потужності. Спрощена схема нагромадження похибок каналу контролю показника K зображена на рис. 4.2.

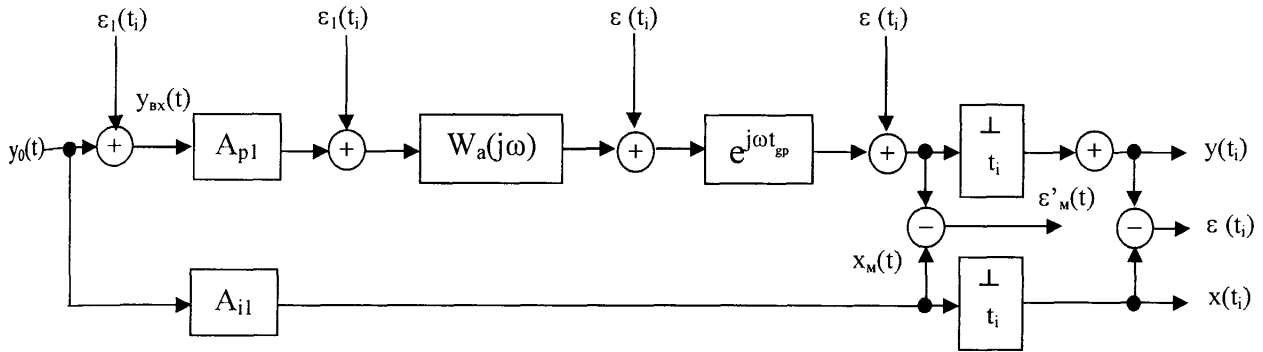


Рис.4.2. Спрощена схема нагромадження похибок каналу контролю показника K

Користуючись цією схемою, розглянемо наступний фізичний компонент, який приймає участь у перетворенні сигналу від давача активної потужності АЦП. Відповідно до теорії імпульсних систем [49] аналогово-цифрове перетворення можна представити у вигляді наступної послідовності перетворень: інерційного, аналогового і дискретизації, як це зображено на рис.4.2.

Оскільки неперервна частина каналу і алгоритм роботи цифрового обчислювального пристрою лінійні, то систему контролю, яка розглядається, можна досліджувати, як амплітудно-імпульсну. Для цього систему з цифровим обчислювальним пристроєм замінено еквівалентною імпульсною системою. На алгоритмічній схемі еквівалентної системи АЦП представлено у вигляді ідеального імпульсного елемента, в якому сигнали $y(t)$, $x(t)$, $e(t)$ замінено відповідними решітчатими функціями $Y(t_i)$, $X(t_i)$, $E(t_i)$.

Період повторення умовного імпульсного елемента t_i визначається періодичністю опитуваних давачів, тобто типом вводу сигналів в ЕОМ і виводу з ЕОМ, який задається від спеціального таймера через вхідний і вихідний

комутатори (мультиплексор і демультіплексор). Час, який витрачає ЕОМ на обчислення, дуже малий порівняно з періодом t_i , і тому його можна не враховувати.

Аналогова частина АЦП має комплексну частотну характеристику $W_a(j\omega)$.

Оскільки АЦ-перетворення супроводжується часовим зсувом моменту перетворень, то, відповідно до положень роботи [91] в аналогову частину АЦП додатково ввели фіктивну фазозсуваючу ланку.

До складу моделі аналогово-цифрового перетворення цю ланку ввели з метою еквівалентного опису того внеску, який робить зсув часу моменту перетворень у загальну похибку, або, згідно до ГОСТу 8.009-84, це є похибка датування відліку t_d [97].

Якщо $t_{др}$ – граничне значення цієї похибки, а необхідно отримати оцінки похибки у вигляді гарантованих оцінок зверху, то приходимо до висновку, що амплітудно-частотна характеристика цієї ланки дорівнює $A_\phi(\omega)=1$, фазо-частотна характеристика – $\phi(\omega) = \omega t'_{др}$, а комплексна частотна характеристика має вигляд:

$$W_\phi(j\omega) = e^{j\omega t_{др}}$$

Знак $t_{др}$ залежить від вибору точки відліку похибки датування. Похибка датування відліку природньо впливає на похибку відліку миттєвих значень сигналу, який змінюється, оскільки за час t_d сигнал з виходу давача активної потужності електродвигуна мішалки змінився і, нарешті, на виході пристрою фіксується інше значення вхідного сигналу порівняно з тим, яке відповідає базисному моменту часу, тобто виникла апертурна похибка.

У реальних умовах можна вважати, що аналогове перетворення здійснюється комутатором безінерційно, і внесок його в похибку датування можна не враховувати.

Характеристики похибки $\varepsilon(t)$ АЦП визначаються експериментально з використанням постійного вірцевого вхідного сигналу, який подається від калібратора. До складу похибки $\varepsilon(t)$ входять адитивна і мультиплікативна похибки, а також похибка квантування.

Ідеальним оператором для АЦП є оператор ідеальної дискретизації з передачею миттєвих значень сигналів у моменти часу t_i без пошкоджень. Реальний оператор АЦП – це оператор тотожного перетворення миттєвих значень вхідних сигналів, які відповідають моментам часу t_i . На це перетворення впливають похиби завади $\varepsilon(t_i)$, а також похибки, що викликані затримкою моментів їх відліку, які проявляються лише при змінні вхідного сигналі. Отже, схема нагромадження похибок АЦП має вигляд схеми, яка зображена на рис.4.3.

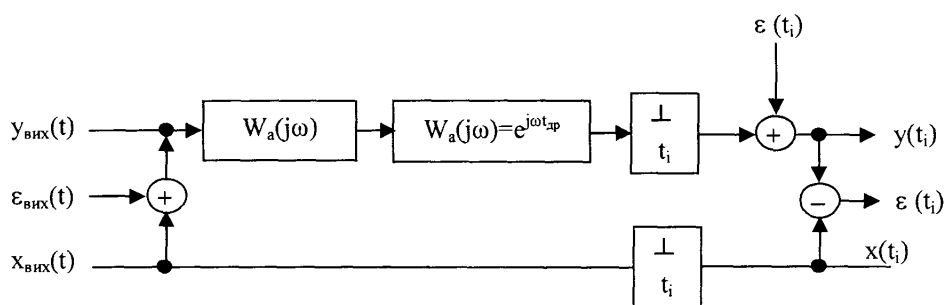


Рис.4.3. Схема нагромадження похибок АЦП

Для більшості видів АЦП реальний оператор у частотній області має вигляд:

$$W_a(j\omega) = e^{j\omega t_{др}},$$

але, оскільки на вході АЦП у пристрої контролю показника K є аналоговий фільтр, то $W_a(j\omega)$ – це комплексна частотна характеристика цього фільтра, тобто:

$$W_a(j\omega) = \frac{K^*}{T^* j\omega + 1}.$$

Тоді реальний оператор аналогової частини АЦП матиме вигляд:

$$W(j\omega) = \frac{K^*}{T^* j\omega + 1} e^{j\omega t_{др}},$$

де K^* і T^* визначаються за формулами, приведеними в розд.3.

Реальна похибка ε розробленого каналу контролю показника K складається з похибки комутації АЦП і похибки квантування. Похибка датування відліків містить: похибку датування відліків АЦП, затримку запуску АЦП на час затухання перехідних процесів комутатора, витрати процесорного й

інтерфейсного часу на керування комутатором і АЦП, а також витрати часу на вимірювання в інших каналах, які перемикаються цим комутатором. При великій кількості каналів похибка датування відліків самого АЦП є малою порівняно з іншими витратами часу і нею можна знехтувати.

Таким чином, розроблений канал АЦП можна розділити на два компоненти: аналоговий метрологічний компонент з реальною комплексною частотною характеристикою $W(j\omega) = W_a(j\omega) e^{j\omega t_{сп}}$ та ідеальний дискретизатор.

Аналоговий метрологічний компонент (АМК) АЦП містить опис інерційних спотворень і апертурних похибок, які виникають при такому перетворенні. Оскільки ідеальним оператором є оператор тотожного перетворення і реальні оператори близькі до нього, власні похибки є комутатора і АЦП приводять до будь-якої з точок схеми (рис.4.3). Це означає, що формальні аналогові метрологічні компоненти лінійної частини каналу контролю K доцільно об'єднати і розглядати сумісно. Цьому сприяє той факт, що математичний опис аналогової лінійної частини аналогово-цифрових метрологічних компонентів разом з фіктивною фазозсуваючою ланкою узгоджено з математичним описом усіх попередніх аналогових метрологічних компонентів в часовій і частотній областях. Тоді окремо буде фігурувати лише дискретизатор, як це зображено на схемі нагромадження похибок каналу контролю комплексного показника якості, зображеній на рис.4.4.

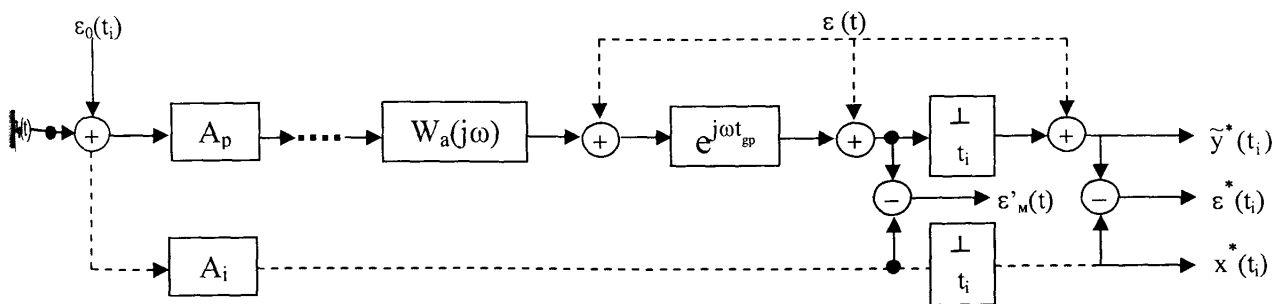


Рис. 4.4. Схема нагромадження похибок каналу контролю показника K

З схеми (рис.4.4) випливає, що на її виході спостерігається сигнал вимірюваної інформації у вигляді послідовності кодованих значень $\tilde{y}^*(t_i)$, датованих у моменти часу t_i . Фактично $\tilde{y}^*(t_i)$ – це результат окремих вимірювань показника K , $\varepsilon^*(t_i)$ – похибки результатів прямих вимірювань, характеристики яких у своєму складі враховують похибки АЦП і апертурні похибки, а $X^*(t_i)$ – значення ідеального сигналу в момент часу t_i .

Характеристики похибки $\varepsilon^*(t_i)$ прямих вимірювань можуть бути отримані не лише шляхом розрахунків з використанням отриманих вище формальних метрологічних компонентів і відповідних схем, але і експериментально – шляхом повірки.

4.2 Структурна схема повірки каналу контролю показника якості K

Основою функціонування пристрою контролю показника K є канал вимірювання активної потужності та пристрій виконання обчислювальних операцій (рис.4.5).

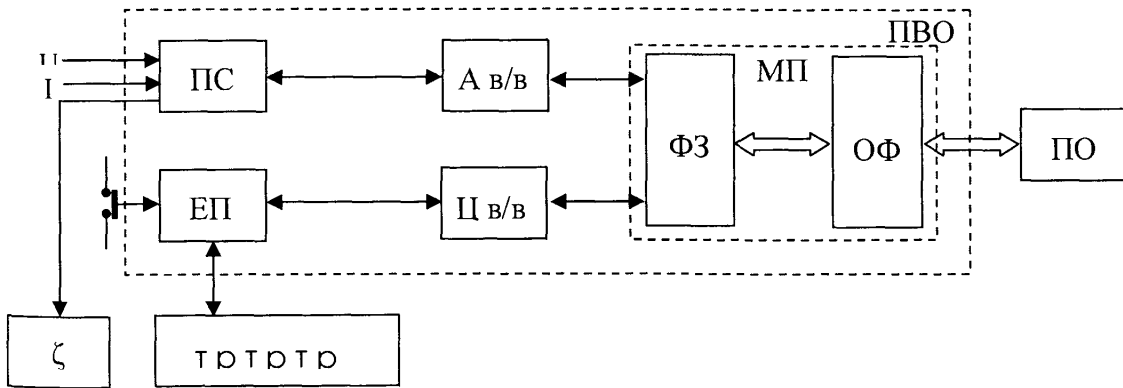


Рис.4.5. Функціональна структура цифрового пристрою контролю K :

ПС – перетворювачі сигналів;

ЕП – елементи приєднання;

А в/в,, Ц в/в – відповідно аналоговий і цифровий вводи/виводи;

МП – мікропроцесор (ОФ – обчислювальні функції, ФЗ – функції зв'язку);

ПВО – пристрій виконання обчислювальних операцій;

ПО – пульт оператора.

Пристрій виконує обчислювальні функції, а також функції аварійного попередження. Сигнали тривоги можуть вмикати дисплей аварійного попередження, принтер, а також програми керування послідовністю стадій технологічного процесу. Пульти оператора ПО містять панель керування, графічну панель, панелі трендів, загального вигляду, налаштування, оперативних повідомлень.

У цілому пристрій для контролю показника K має високу надійність, яка базується на використанні високоякісних елементів, стійкість до пошкоджень, можливості технічного обслуговування без виводу із робочого режиму.

Монтаж елементів пристрою полягає в установці всіх його складових частин на технологічному об'єкті і під'єднанні кабельними лініями зв'язку. Перевагою пристрою є те, що всі його складові частини виготовляються серійно вітчизняною промисловістю.

Прив'язка розробленого пристрою контролю показника K до приводу мішалки реактора полімеризації ПВХ-Е здійснюється за допомогою трансформаторів струму і напруги.

Вимірювальний перетворювач активної потужності трифазного струму типу Е 849/7 – М1 встановлений безпосередньо у шафі пускового устаткування поблизу трансформаторів струму і напруги і приєднаний до з'єднувальної коробки обчислювального пристрою двоохвильним кабелем.

Обчислення показника K здійснюється мікропроцесорним пристроєм (МП) на основі інформації від датчиків активної потужності. МП забезпечує перетворення і обробку вимірюваної інформації, яка надходить від датчиків активної потужності, датчиків опору обмоток двигуна і кабелю, обчислення середніх значень показника K та виведення їх на принтер. Передбачена також реєстрація показника K на стрічку реєструючого приладу КСУ-2.

Вимірювальний канал розробленого пристрою, структурна схема якого зображена на рис.4.6, повіряється комплектно у вигляді неперервного вимірювального ланцюга від датчиків до термінального пристрою.

Сигнал передається в персональний комп'ютер, де процесором ПР проводиться розрахунок показника К. Далі інформація про показник К та інші параметри поступає на шину даних ШД і через відеоапарат VP – на монітор М для візуального контролю технологічних параметрів майстром, на принтер П через порт LPT1 і на модем Мд через порт COM2 для наступної передачі в центральний офіс з метою формування загальної бази даних і узагальненої обробки.

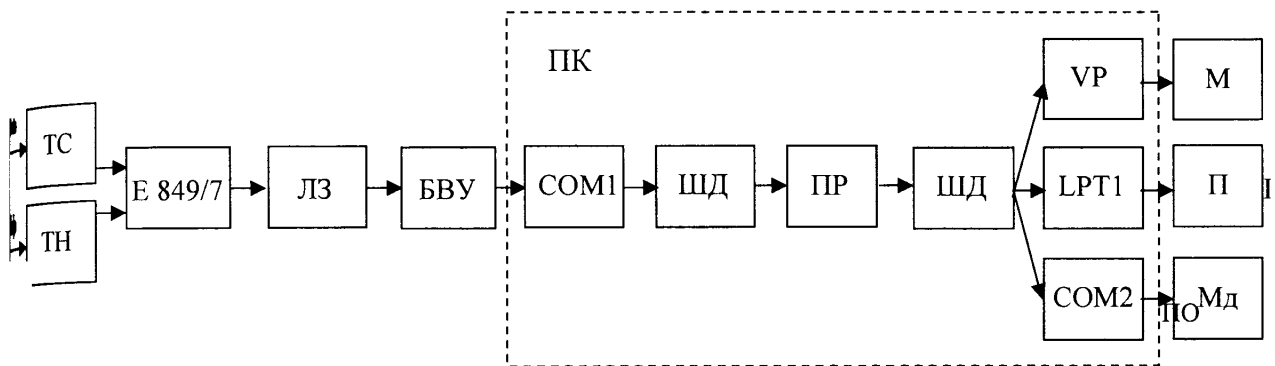


Рис.4.6. Структурна схема каналу вимірювання активної потужності, що споживається електродвигуном мішалки реактора полімеризації ПВХ:

ТС – трансформатор струму;

Мд – модем;

ТН – трансформатор напруги;

COM2 – послідовний порт COM2 ПК;

COM1 – послідовний порт COM1 ПК.

VP – відеопорт;

БВУ – блок вводу і узгодження;

LPT1 – паралельний порт ПК;

ШД – шина даних;

М – монітор;

ПР – процесор;

П – принтер;

ЛЗ – лінія зв'язку;

Для перевірки і тарування складена схема перевірки вимірювальних каналів (ВК) пристрою контролю показника К [80], яка зображена на рис. 4.7.

Вхідним сигналом вимірювального каналу в контрольованих точках діапазону вимірювання є фіксоване значення взірцевої величини, яка імітує технологічний параметр, а вихідним сигналом, тобто результатом контролю, іменоване число, яке реєструється на принтері. Візуально результати вимірювання спостерігаються на екрані дисплея, що входить до складу вимірювального каналу.

В якості імітаторів вхідних сигналів і взірцевих приладів у схемі повірки вимірювального каналу були застосовані: джерело живлення постійного струму Б 5-30 (ТУ Е.0.323.426, границі вимірювання вихідної напруги $0,5 \div 50\text{В}$, струм навантаження $0 \div 1,2\text{А}$, нестабільність вихідної напруги при зміні напруги в мережі на $\pm 10\%$ не більше $0,03\%$); ампервольтметр постійного струму цифровий Ф 30 (ГОСТ 20061-82; ТУ 25-04-1364-77, діапазон вимірювання $0 \div 10\text{В}$, клас точності $0,06/0,02$).

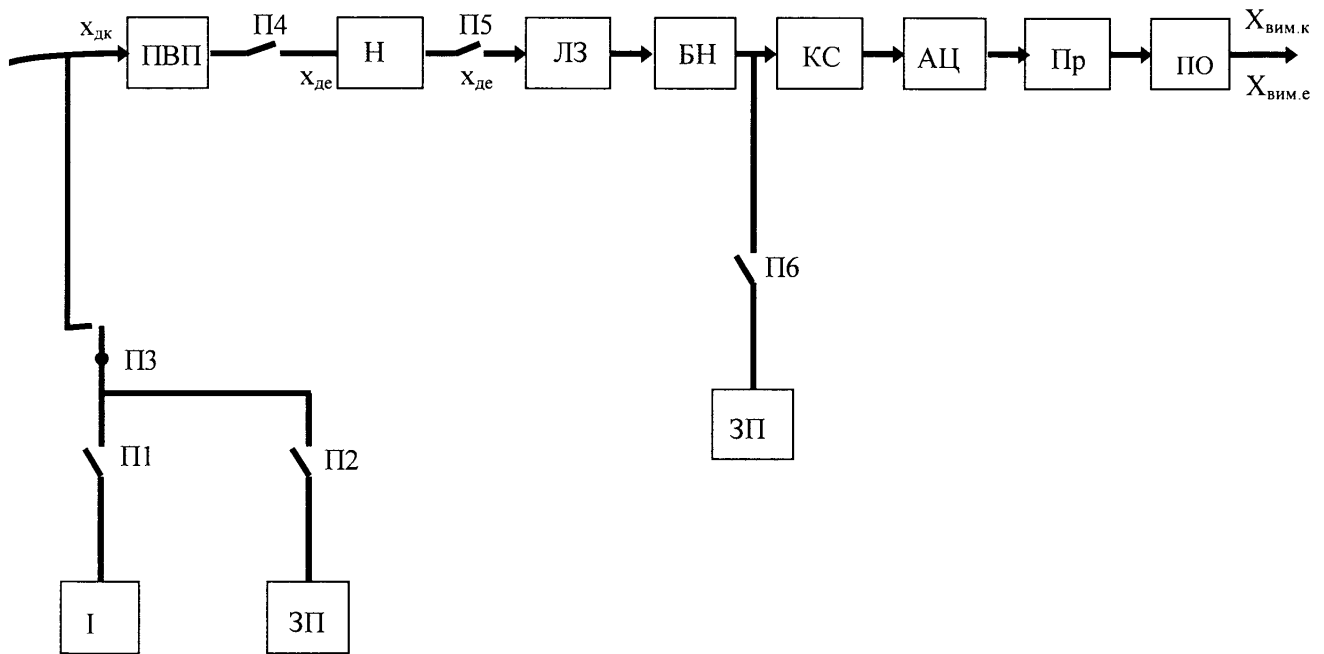


Рис.4.7. Схема повірки вимірювального каналу пристрою контролю потужності на валі мішалки реактора полімеризації ПВХ:

- $X_{\text{дк}}$ – вхідний сигнал вимірювального каналу;
- $X_{\text{де}}$ – вхідний сигнал елемента вимірювального каналу;
- $X_{\text{вим.к}}$ – вихідний сигнал вимірювального каналу;
- $X_{\text{вим.е}}$ – вихідний сигнал елемента вимірювального каналу;
- ПВП – первинний вимірювальний перетворювач;
- НП – нормуючий перетворювач;
- ІС – імітатор сигналу;
- ЗП1 – зразковий прилад для вимірювання величини вхідного сигналу;
- ЗП2 – зразковий прилад для вимірювання вихідного аналогового сигналу;
- П1 – П6 – перемикачі.

Передбачені наступні повірки вимірювального каналу: первинна, періодична і позачергова.

Первинна повірка ВК проведеться на початку його експлуатації. Результати повірки відображені в протоколі випробувань від 14.09.99р. (Додаток С1) і в акті випробувань від 07.10.99р. (Додаток С2).

Періодична повірка ВК виконується в процесі експлуатації через визначені міжповірочні інтервали, які встановлені в експлуатаційній документації з врахуванням забезпечення відповідності метрологічних характеристик нормованим значенням на період між повірками:

для перетворювача вимірювального каналу активної потужності типу Е-849/7 – один раз на рік;

для АЦП і процесора – один раз на шість місяців.

Оскільки ВК підлягає відомчій повірці, то план-графік повірки складається метрологічною службою підприємства і узгоджується з базовою метрологічною службою м. Калуша, за якою закріплене дане підприємство, і затверджується головним інженером підприємства.

Повірка здійснюється напівавтоматично. Результати багаторазових спостережень обробляються автоматично ЕОМ, яка входить до складу інформаційно-вимірювальної системи, що повіряється. Метрологічний нагляд за комплексом робіт з метрологічного забезпечення ВК здійснюють головна і базова метрологічні служби та метрологічна служба підприємства.

4.3 Організація робіт з повірки каналу контролю показника якості К

Технічна характеристика пристрою контролю К наведена в табл.4.1.

Таблиця 4.1

Технічна характеристика пристрою контролю показника К

Найменування показників	Номінали
1	2
1. Верхня границя вимірювання	80
2. Нижня границя вимірювання	55
3. Основна допустима похибка, в %	±10

Продовження таблиці 4.1

1	2
4. Контрольоване середовище	латекс, ПВХ-Е
5. Середовище, °С	40÷60
6. Робочий тиск, МПА	≤ 0,9
7. Температура навколишнього середовища, °С	від +5 до +50
8. Вихідний сигнал, цифровий	ЕОМ
9. Живлення	220 В, 50 Гц
10. Потужність, що споживається, В·А	900
11. Довжина лінії зв'язку між вимірювальним перетворювачем активної потужності і ЕОМ, м	не більше 100 (по трасі кабелю)

Під час перевірки розробленого ВК обов'язково передбачено проводити наступні операції: зовнішній огляд, перевірку функціонування програми перевірки, визначення варіації, визначення систематичної складової похибки, визначення випадкової складової похибки, визначення похибки вимірювального каналу. Для здійснення перевірки розроблена схема експериментальної установки, яка зображена на рис.4.8.

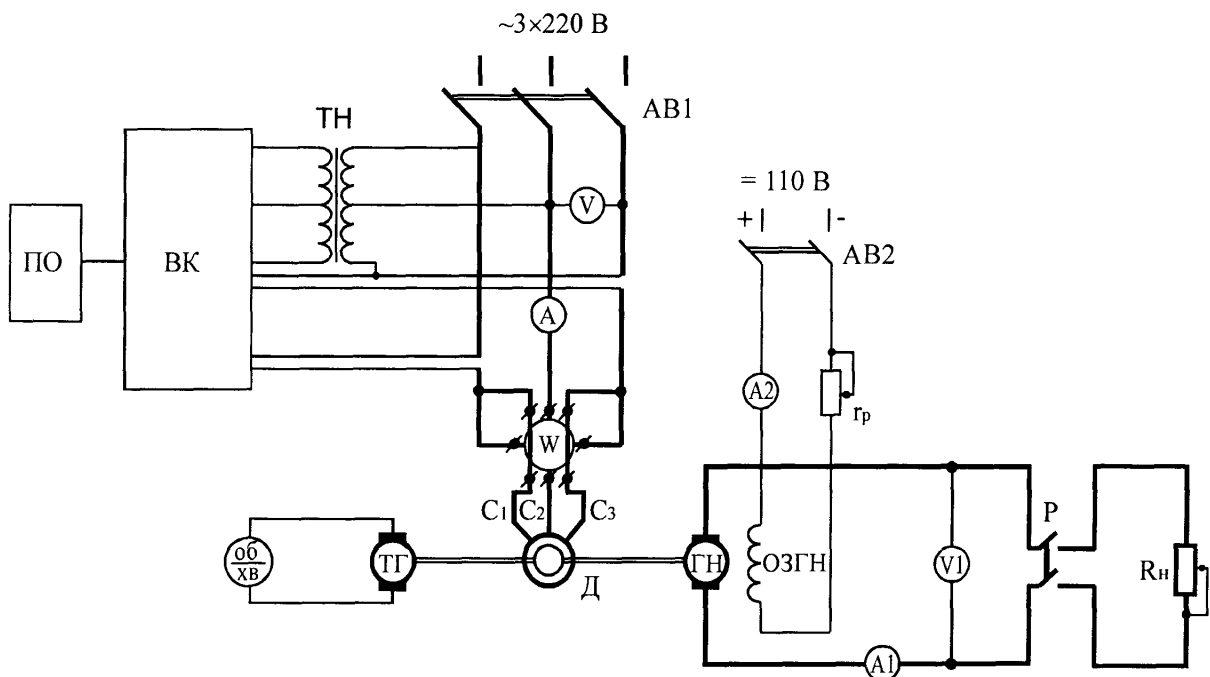


Рис. 4.8. Експериментальна установка для дослідження ВК пристрою контролю показника якості К:

ТН – вимірювальний трансформатор напруги;
 ПО – пульт оператора.

Експериментальна установка, за допомогою якої створюються тестові сигнали, містить асинхронний двигун з короткозамкненим ротором Д, на валі якого знаходиться генератор навантаження ГН. Обвитка збудження генератора ОЗГН під'єднується до джерела постійного струму 110В через автомат АВ2. Статор двигуна під'єднується до мережі ~ 220 В змінного струму за допомогою автомата АВ1. Для вимірювання потужності, яка підводиться до статора двигуна, напруги і струму служать відповідно: ватметр W, вольтметр V, амперметр А, а вимірювання швидкості обертання двигуна проводиться за допомогою тахогенератора ТГ і тахометра.

Порядок виконання роботи на установці наведено в додатку С1.

Проводяться такі види повірок ВК: первинна – після випуску з виробництва або ремонту, періодична – один раз на рік, згідно з рекомендованою періодичністю повірки для первинного перетворювача активної потужності трьохфазного струму, АЦП і процесорів. Під час проведення повірки повинні бути використані взірцеві засоби повірки, перелік яких наведено в додатку С2 з дотриманням належних правил вимог безпеки, наведених у додатку С3.

Повірка проводиться з дотриманням наступних умов:

- контрольоване середовище – латекс ПВХ-Е;
- температура повітря 20 ± 5 °С;
- відносна вологість повітря (30–80) %;
- атмосферний тиск (84–106) кПА (690–795 мм рт.ст.);
- напруга живлення $(220 \pm 4,4)$ В, частота змінного струму (30 ± 1) Гц;
- ЕОМ, що входить до складу пристрою контролю, забезпечена автономним стабілізованим джерелом живлення.

Порядок підготовки до повірки розглянуто в додатку С4.

Оскільки комплектну повірку ВК з технічних причин здійснити неможливо (мішалка, редуктор, електродвигун є елементами реактора ПВХ-Е), то передбачено проведення поелементної повірки з врахуванням того, що електродвигун мішалки пройшов стендові випробування.

Для поелементної повірки ВК необхідно додатково встановити амперметр A і вольтметр V змінного струму, а також ватметр W . Додаткових джерел живлення не потрібно.

При перевірці ВК за методом порівняння величина потужності одночасно вимірюється двома пристроями – тим, що повіряється, і за допомогою взірцевих ватметра, вольтметра і амперметра. Дійсне значення потужності на валі визначається на основі показів зразкових приладів W, A, V .

Далі, задаючись необхідними вимогами до роботи двигуна D , визначають відповідне значення потужності на валі.

Результати експериментів та розрахунків зводяться в таблицю.

За результатами повірки визначається абсолютна похибка, поправка, відносна похибка, приведена похибка і клас точності пристрою, а саме:

- різниця між вимірним значенням P_v^* і її дійсним значенням P_v , яке знайдене за показами взірцевих приладів, є абсолютною похибкою вимірювання:

$$\Delta = P_v^* - P_v,$$

- абсолютна похибка, яка взята зі зворотнім зв'язком, є поправкою:

$$\sigma = -\Delta = P_v - P_v^*,$$

- про точність вимірювань судять за відносною похибкою, яка може бути виражена у відносних одиницях або у відсотках:

$$\delta_{\text{відн}} = (P_v^* - P_v) \cdot 100\%.$$

Основна похибка для приладу, оскільки він має односторонню шкалу, виражається у відсотках від кінцевої робочої частини шкали.

Оскільки в приладах існує тертя в підшипниках, зношування кернів, підп'ятників і т.п., то спостерігається варіація показів, тобто різниця між окремими повторними показами приладу, які відповідають тому ж самому дійсному значенню контрольованої величини при незмінних зовнішніх умовах. Варіація нормується ДСТУ і для розробленого пристрою не повинна перевищувати абсолютного значення допустимої основної похибки.

Абсолютне значення варіації дорівнює $V = P_{\text{впр}} - P_{\text{двр}}$, приведені значення варіації – $V' = (V/P_{\text{пик}}) \cdot 100$, де $P_{\text{пик}}$ – верхня границя вимірювального пристрою.

Градування вимірального приладу здійснено шляхом нанесення відміток на шкалу приладу (або визначення значень контрольованої величини, які відповідають попередньо нанесеним умовним відміткам). Для градування прилад забезпечений тимчасовою шкалою з рівномірними поділками. Виконуючи градування, регулюють потужність таким чином, щоб стрілка ввірцевого приладу зупинялась на поділках, що відповідають таким значенням контрольованої величини, які повинні бути відміченими на постійній шкалі приладу, що градується. Потім ведеться відлік показів приладу, що градується, в поділках його тимчасової шкали.

Після закінчення експерименту за отриманими даними побудована крива градування (рис.4.9). Для цього на осі абсцис відкладали відхилення приладу, що градується в поділках рівномірної шкали, а на осі ординат – значення вимірюваної величини за показами ввірцевого пристрою, які відповідають цим відхиленням. За даними графіка наносять шкалу приладу, який градується.

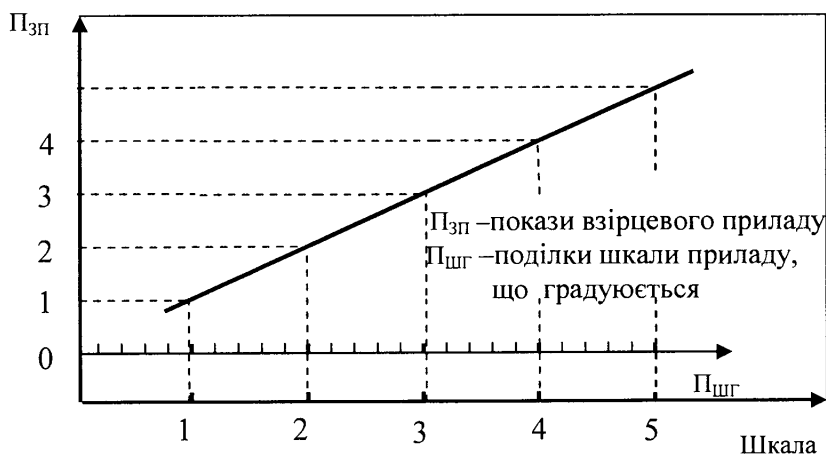


Рис.4.9. Крива градування шкали приладу контролю показника К

Результати перевірки записуються в протоколі перевірки, де вказується: тип, клас, номер зразкових приладів; схема перевірки; вихідні дані для розрахунку втрат потужності в двигуні; розрахункові дані, які зведені в таблицю; крива градування; таблиця значень результатів перевірки; заключення про пристрій, який перевіряється.

4.4 Проведення повірки каналу контролю показника якості К

Порядок перевірки комплектності і стану технічної документації, а також проведення візуального контролю при проведенні повірки ВК наведені в додатку С5.

Випробування ВК слід починати з перевірки наладки нульового діапазону. Установку нуля робочих і взірцевих засобів вимірювань, які входять до схеми повірки (див. рис.4.3) перевіряють коригуванням нуля відповідно до методичних вказівок та інструкцій стосовно експлуатації вимірювальних перетворювачів і засобів повірки, що використовуються.

Похибка установки нульового значення вихідного сигналу при нульовому вхідному сигналі не повинна перевищувати границю допустимої похибки лінії зв'язку ВК, що формується.

Опір ізоляції лінії зв'язку перевіряється мегометром. Вимірювання виконують між кожною жилою кабелю і землею, а також між усіма жилами кабелю. Лінія зв'язку повинна бути вимкненою з обох боків.

Електрична ізоляція лінії зв'язку повинна витримувати протягом однієї хвилини випробувальну напругу, яка встановлена в нормативно-технічній документації, при температурі повітря $(25 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 30–80%.

Опір ізоляції лінії зв'язку повинен бути не нижчим від установлених норм. Результати вимірювання опору ізоляції записуються в протокол повірки ВК, куди також заносять результати повірки якості виконання заземлюючих пристроїв.

Після цього проводять перевірку працездатності ВК. Працездатність ВК при функціонуючому процесі виробництва ПВХ перевіряють виводом миттєвого значення контрольованої величини на пульт оператора або на додатковий показуючий пристрій. Наявність сигналу в межах його робочого інтервалу свідчить про нормальне функціонування ВК. Працездатність ВК при зупиненому технологічному процесі виробництва ПВХ перевіряється подачею

від імітатора на вхід ВК до лінії зв'язку, яка від'єднана від первинного перетворювача активної потужності електродвигуна, фіксованого значення контрольованої величини. Якщо значення сигналу на виході ВК відповідає сигналу на його вході, то функціонування ВК вважається нормальним.

Правильність функціонування програми повірки ВК перевіряється шляхом випробування її на ВК з відомими метрологічними характеристиками. Метрологічні характеристики ВК у реальних умовах виробництва ПВХ-Е визначаються шляхом проведення експериментальних досліджень. Оскільки комплектну повірку ВК з технічних причин здійснити неможливо через те, що давач вмонтований у реактор полімеризації ПВХ, тому передбачена поелементна повірка. При цьому враховується, що один з елементів ВК – давач разом з перетворювачами струму і напруги попередньо пройшли стендову повірку. Похибка ВК під час поелементної повірки визначається за допомогою експериментального розрахункового методу з урахуванням наявності варіації за формулою:

$$\tilde{\Delta} \leq \tilde{\Delta}_{\text{с.е.}} + \Delta_{\text{с.д.}} + K \sqrt{|\sigma(\dot{\Delta}_e)|^2 + |\sigma(\dot{\Delta}_d)|^2}, \quad (4.6)$$

де $\tilde{\Delta}_{\text{с.е.}}$, $\tilde{\Delta}_{\text{с.д.}}$ – оцінки систематичних складових абсолютних похибок відповідно елемента ВК і давача; $\tilde{\sigma}(\dot{\Delta}_e)$, $\tilde{\sigma}(\dot{\Delta}_d)$ – оцінка випадкових складових абсолютних похибок відповідно елемента ВК і давача; K – коефіцієнт, який залежить від вигляду закону розподілу випадкової складової похибки і прийнятої довірчої ймовірності p . Якщо закон розподілу випадкової складової похибки є одномодальним і належить до широкої групи законів (рівномірний, трапецеїдальний, трикутний, нормальний, експоненціальний), то для довірчої ймовірності $p=0,95$ з похибкою не більше $\pm 0,5\sigma(\Delta)$ коефіцієнт $K=1,65$. Тоді довірчі межі випадкової складової похибки елемента ВК становлять:

$$K=\pm 1,65\sigma(\Delta). \quad (4.7)$$

Значення випадкової складової абсолютної похибки елемента ВК і давача визначають за формулою:

$$\tilde{\sigma}_j(\dot{\Delta}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{Mji} - \bar{\Delta}_{Mj})^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_{\sigma ji} - \bar{\Delta}_{\sigma j})^2}{2n - 1}}, \quad (4.8)$$

де $\bar{\Delta}_{Mj}, \bar{\Delta}_{\sigma j}$ – середні значення абсолютних похибок у кожній j -й точці діапазону вимірювань при повільному зменшенні вимірювальної величини до значень X :

$$\bar{\Delta}_{Mj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{Mji}, \quad (4.9)$$

$$\bar{\Delta}_{\sigma j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{\sigma ji}, \quad (4.10)$$

n – кількість експериментів; $\Delta_{Mji}, \Delta_{\sigma ji}$ – i -й відлік абсолютної похибки в j -й повіреній точці діапазону вимірювання при підході до неї з боку відповідно менших або більших значень вхідного сигналу, яка визначається за допомогою формул (4.4) або (4.5).

Оцінка абсолютної похибки $\tilde{\Delta}$ елемента ВК і давача під час повірки полягає у визначенні інтервалу для всього діапазону вимірювань, в якому з прийнятою довірчою ймовірністю $p=0,95$ знаходиться абсолютна похибка при наявності варіації:

$$\tilde{\Delta}_c - K \sqrt{|\tilde{\sigma}(\dot{\Delta})|^2 + \frac{1}{12} \tilde{b}^2} \leq \tilde{\Delta}_c + K \sqrt{|\tilde{\sigma}(\dot{\Delta})|^2 + \frac{1}{12} \tilde{b}^2}, \quad (4.11)$$

$$\tilde{b} = \tilde{b}_e, \text{ або } \tilde{b} = \tilde{b}_d,$$

де \tilde{b}_e, \tilde{b}_d – оцінки варіації відповідного елемента ВК і давача.

Для спрощення форми представлення оцінки абсолютної похибки елемента ВК рекомендується [71] подавати не діапазон її зміни, а максимальну межу, за яку вона не виходить з прийнятою довірчою ймовірністю. Тоді абсолютну похибку елемента ВК можна оцінити за формулою при наявності варіації:

$$\tilde{\Delta} \leq \tilde{\Delta}_e + K \sqrt{|\tilde{\sigma}(\dot{\Delta})|^2 + \frac{1}{12} \tilde{b}^2}, \quad (4.12)$$

$$\tilde{\Delta} \leq \tilde{\Delta}_c + 1,65 \sqrt{|\tilde{\sigma}(\dot{\Delta})|^2 + \frac{1}{12} \tilde{b}^2}. \quad (4.13)$$

Оцінка приведеної похибки ВК при поелементній повірці, яка передбачена для розробленого каналу, визначається за формулою:

$$\tilde{\gamma} = \pm \sqrt{\tilde{\gamma}_e^2 + \tilde{\gamma}_d^2}, \quad (4.14)$$

де $\tilde{\gamma}_e$ і $\tilde{\gamma}_d$, – відповідно оцінки приведеної похибки елемента ВК і давача, які отримані експериментально при проведенні поелементної повірки.

За результатами експериментального визначення метрологічних характеристик ВК повинно бути приймається рішення про придатність або непридатність його до використання.

ВК визнається придатним для використання, якщо виконується одна з умов:

- при наявності свідоцтва про метрологічну атестацію:

$$\tilde{\Delta} \leq \Delta_{\text{доп.м.а.}}, \quad (4.15)$$

$$\text{або } \tilde{\gamma} \leq \gamma_{\text{доп.м.а.}}; \quad (4.16)$$

- при відсутності свідоцтва про метрологічну атестацію:

$$\tilde{\Delta} \leq \Delta_{\text{доп.тр}}, \quad (4.17)$$

$$\text{або } \tilde{\gamma} \leq \gamma_{\text{доп.тр}}, \quad (4.18)$$

де $\Delta_{\text{доп.м.а.}}$, $\gamma_{\text{доп.м.а.}}$ – межі допустимих, відповідно абсолютної і приведеної похибок ВК, які зафіксовані в свідоцтві про метрологічну атестацію; $\Delta_{\text{доп.тр.}}$, $\gamma_{\text{доп.тр.}}$ – межі допустимих, відповідно абсолютної і приведеної похибок ВК, що зафіксовані в технічному завданні на створення ВК показника K і ϵ нормами точності контрольованого значення приладу (норма точності вимірювального параметра встановлюється технологічним регламентом).

Для підвищення вірогідності експериментальних даних вимірювання повторюють три рази і як остаточний результат приймають варіант з максимальними метрологічними характеристиками.

Позитивні результати відомчої повірки ВК завершують видачею свідоцтва встановленої форми і оформляють протоколом (Додаток В2). В експлуатаційній карті робиться запис про придатність ВК контролю комплексного показника К на використання з вказуванням дати. Вимірювальний канал контролю показника К, який пройшов первинну повірку, знаходиться на технічному обліку у відділі головного метролога заводу, і за ним встановлено технологічний нагляд.

За час усього періоду повірок в спеціальному журналі фіксуються метрологічні відмови, виходи з ладу окремих вимірювальних засобів, модулів, мікросхем та інших елементів ВК, а також час виявлення дефекту і його усунення. Після повірки елемента ВК контролю здійснюється його прив'язка до реактора полімеризації ПВХ.

4.5 Порівняння запропонованого методу контролю показника якості К з відомими і прив'язка пристрою його контролю до реактора полімеризації ПВХ

Запропонований метод контролю комплексного показника якості К порівняно з існуючими методами, які використовуються в умовах виробництва ПВХ [98,99,100], має наступні переваги:

- забезпечує неперервний контроль якості латексу ПВХ під час його виробництва, що зводить до мінімуму можливість отримати латекс з незапланованим показником якості К, і зменшує збитки підприємства за рахунок покращення якості латексу;
- сигнал з виходу пристрою контролю показника якості К може бути використаний для корекції завдання регулятора температури, що забезпечить автоматичне керування якістю латексу ПВХ;
- сприяє стабілізації технологічного процесу виробництва ПВХ;
- зменшує простої обладнання внаслідок своєчасного виявлення порушень технологічного регламенту;

- дозволяє швидко коригувати режим роботи установки при зміні зовнішніх умов, що підвищує надійність керування процесом полімеризації ПВХ;

- сприяє глибокому аналізу технологічного процесу виробництва ПВХ і прискоренню розв'язку важливих задач оптимального керування реактором полімеризації ПВХ.

Пристрій контролю комплексного показника якості K реалізований на базі вимірювального перетворювача активної потужності P (виготовляється серійно Вітебським заводом ВЗЕП), АЦП і персонального комп'ютера. Вимірювальний перетворювач активної потужності розміщується безпосередньо в шафі з пусковою електроапаратурою, де встановлені вимірювальні трансформатори струму МТТ-5, 10/5А і напруги УТН-1, 380/100В. Монтаж цих елементів ВК здійснюється відповідно до рекомендацій, які викладені в технічній документації підприємства-виробника перетворювача Е 849/7-М1.

Під'єднання вимірювального перетворювача потужності до ЕОМ проводиться трьохжильним кабелем довжиною приблизно 100м, прокладеним в кабельному каналі між розподільчим щитом низької напруги і приміщенням оператора, де встановлена ЕОМ. Апаратура, яка розміщена в приміщенні оператора, обов'язково заземлюється.

Комплект пристроїв оператора виконує обчислювальні функції та функції аварійного повідомлення. Сигнали тривоги можуть вмикати дисплей аварійного попередження, принтер, а також програми керування послідовністю стадій технологічного процесу. Пульти оператора містять панелі керування оперативних повідомлень, трендів, загального вигляду, налаштування.

4.6 Визначення статистичних характеристик і результуючої відносної похибки пристрою контролю показника якості K

Пристрій контролю комплексного показника K (ПККП) є такою вимірювальною системою, яка підлягає індивідуальному градуюванню. Градуювання ПККП здійснюється споживачем з використанням реальної

речовини, врахуваючи специфіку задачі контролю. У процесі експерименту проводили послідовні вимірювання проб латексу. Результати вимірювань на ПККП можна представити у вигляді послідовних відліків, які розділені рівними проміжками часу Δt .

Математичною моделлю цієї послідовності є випадковий процес $K(t)$ з дискретизацією часу. Процес $K(t)$ можна розкласти на дві складові:

$$K(t) = m_k(t) + y(t),$$

де $m_k(t)$ – математичне сподівання процесу $K(t)$, тобто детермінована функція, що містить систематичну похибку вимірювань; $y(t)$ – стаціонарний ергодичний центрований процес, який відповідає випадковій похибці вимірювання.

Стаціонарність $y(t)$ сприймається у широкому розумінні, тобто вважається, що виконуються такі умови:

- математичне сподівання процесу $y(t)$ постійне і не залежить від часу t :

$$M[y(t)] = m_y = \text{const};$$

- автокореляційна функція процесу $y(t)$:

$$R_{yy}(t_1, t_2) = M[(y(t) - m_y)[y(t_2) - m_y]]$$

залежить лише від різниці аргументів

$$R_{yy}(t_1, t_2) = R_{yy}(t_2 - t_1) = R(\tau).$$

Для $y(t)$ також передбачається виконання умови ергодичності за математичним сподіванням і кореляційною функцією, яке полягає в тому, що середні значення величин $y(t)$ і $y(t) \cdot y(t + \tau)$, які взяті з однієї реалізації, співпадають з середніми значеннями величини, які взяті по множині реалізацій.

Для дослідження метрологічних характеристик провелися експерименти на реакторі полімеризації ЗАТ “Лукор” з використанням розробленого пристрою ПККП.

Встановлено, що метрологічні характеристики ПККП визначаються, головним чином, системою електроприводу мішалки, тому для вимірювання напруги і струму навантаження електродвигуна мішалки використали високоточні вимірювальні трансформатори напруги УТН-1 (кл. 0, 2) і МТТ-1 (кл. 0, 2)

Пристрій ПККП під час проведення експерименту працював неперервно.

При цьому постійними підтримувалися такі параметри:

<i>Потоки реагентів</i>	<i>Найменування параметру та одиниця вимірювання</i>	<i>Номінальне значення</i>
Подача хлористого вінілу в контур перед реактором	температура, °С	≤ 30
	тиск, мПа	0,981
Подача емульсійної води помпою в колектор перед реактором	температура, °С	≤ 40
	тиск, мПа	0,981
Полімеризація хлористого вінілу в реакторі	витрати, м ³ /год	≤ 0,5
	температура, °С	40 ± 0,5
	тиск, мПа	≤ 0,882
Пряма охолоджена вода перед помпою	температура, °С	≤ 10
	тиск, мПа	≥ 0,196
Зворотня охолоджена вода після помпи	температура, °С	≤ 20
Швидкість стрічки реєструючого пристрою	мм/год	1800

Програма експерименту приведена в табл.4.2

Таблиця 4.2.

Програма експерименту

Номер досліду	Тривалість циклу Δt, год.	Тривалість реєстрації, с	Масштаб реєстрації, мм/с
1	4	600	0,5
2	4	600	1,0
3	4	600	0,5
4	4	300	1,0
5	4	600	0,5
6	4	300	1,0
7	4	600	0,5
8	4	300	1,0
9	4	600	0,5
10	4	300	1,0
11	4	600	0,5
12	4	300	1,0

Перед початком кожного експерименту здійснювали автоматичну установку нуля ПККП з похибкою не більше 1% від шкали.

Для кожної реалізації $K(t)$, яка була отримана в результаті експериментів, визначалися оцінки математичного очікування m_k , середньоквадратичне відхилення оцінки m_k , оцінка дисперсії D_k і середньоквадратичне відхилення оцінки дисперсії D_k .

Визначався також інтервал кореляції і перевірявся розподіл $K(t)$ на нормальність. Отримані дані приведені в табл.4.3.

Результати обробки експериментальних даних підтверджують наявність випадкової складової похибки. Ця похибка в окремих вимірюваннях приймає випадкові, задалегідь невідомі значення. Для неї можна визначити лише числові характеристики закону розподілу, як це зроблено в роботі.

Таблиця 4.3

Результати обробки даних експериментів

№ досліджу	Характеристика експерименту		Оцінка МС, m_k^* , мм	СКВ оцінки m_k^* , мм	Оцінка дисперсії D_k^* , мм ²	СКВ оцінки дисперсії D_k^* , мм ²	Інтервал кореляції, г	Розподіл $K_\phi(t)$
	кількість вимірювань	тривалість вимірювань, год						
1	240	1,32	63,15	0,38	0,70	0,28	47	норм.
2	220	0,66	82,32	0,24	0,95	0,14	50	норм
3	250	1,32	65,42	0,33	0,90	0,26	48	норм.
4	230	0,66	80,71	0,14	0,32	0,13	49	норм
5	210	1,32	61,30	0,17	0,54	0,12	47	норм.
6	240	0,66	77,37	0,16	0,29	0,10	48	норм
7	220	1,32	64,20	0,37	0,69	0,27	50	норм.
8	220	0,66	81,32	0,23	0,34	0,13	49	норм
9	250	1,32	66,14	0,31	0,90	0,26	48	норм.
10	240	0,66	79,35	0,12	0,31	0,12	47	норм
11	230	1,32	62,41	0,18	0,54	0,10	50	норм.
12	240	0,66	76,40	0,16	0,28	0,09	48	норм

Результуюча похибка ПСКП є деякою випадковою величиною δ , що складається із систематичної δ_c і випадкової δ_v складових:

$$\delta = \delta_c + \delta_v.$$

Для їх визначення були проведені експерименти і статистична обробка їх результатів (табл.4.3). Крім того, систему контролю умовно розділили на дві частини: незмінну і змінну. До першої частини відносяться редуктор мішалки і

електродвигун. До другої – засоби вимірювальної техніки: вимірювальні трансформатори струму і напруги, вимірювальний перетворювач активної потужності і обчислювальний пристрій. Для кожної частини можна окремо визначити середньоквадратичні похибки.

Для першої частини похибка дорівнює:

$$\delta_n = \sqrt{\delta_p^2 + \delta_{дв}^2} = 14,19\%,$$

де δ_p – середньоквадратична похибка калібрування редуктора; $\delta_{дв}$ – середньоквадратична похибка калібрування електродвигуна КР 132.2/4, $\delta_{дв} \approx 13\%$; δ_n – середньоквадратична похибка частини системи контролю, яка не може змінюватися.

Бачимо, що найбільшу питому вагу в загальній відносній похибці методу має електродвигун мішалки. Якщо не компенсувати втрати потужності в електродвигуні мішалки, то відносна похибка методу контролю може бути не меншою від 14,19% (вона буде більша від основної допустимої похибки $\pm 10\%$).

З метою забезпечення заданої точності контролю та мінімізації вартості системи в ній застосовані засоби вимірювальної техніки, які виготовляються промисловістю: вимірювальні трансформатори струму та напруги класу точності по струму і напрузі 1,0 і перетворювач активної потужності Е-849/7-М1 з класом точності 1,0 з аналоговим виходом 0-10В, АЦП та мікропроцесорний пристрій, в якості якого використано ПЕОМ класу АТ 386.

Розроблена програма обчислювача здійснює розрахунок втрат потужності в кабелі і електродвигуні мішалки реактора полімеризації вінілхлориду, реалізує запропонований діапазон при вимірюванні комплексного показника К, компенсує похибку вимірювання активної потужності від втрат потужності на неробочий хід, здійснює представлення результатів обчислення на табло обчислювача та передачу їх до ЕОМ. Це дало можливість компенсувати похибки вимірювання, які викликані втратами потужності, що піддається вимірюванню. Неврахованими залишаються лише втрати у сталі двигуна, від гістерезису і вихорових струмів, втрати в обвитці ротора, пульсаційні та поверхневі втрати, які виникають у зубцях статора і ротора при обертанні

ротора, а також втрати, викликані вищими гармоніками намагнічуючих сил під час зміни навантаження. Однак, частка цих втрат не перевищує 3% від величини активної потужності, споживаної електродвигуном.

Для розрахунку загальної відносної похибки методу визначення комплексного показника K застосовано модель середньої квадратичної похибки показника K у формі:

$$\delta_K = \left[\delta_p^2 + \delta_{\text{дв.к}}^2 + \delta_{\text{тс}}^2 + \delta_{\text{тн}}^2 + \delta_{\text{пп}}^2 + \delta_{\text{оп}}^2 \right]^{0,5} = 6,68\% , \quad (4.19)$$

де $\delta_{\text{дв.к}}$ – середня квадратична похибка калібрування електродвигуна з урахуванням компенсації похибок від втрат потужності в обмотках двигуна і похибка холостого ходу; $\delta_{\text{тс}}$ – середня квадратична похибка вимірювання активного струму електродвигуна мішалки; $\delta_{\text{тн}}$ – середня квадратична похибка вимірювання напруги живлення електродвигуна; $\delta_{\text{пп}}$ – середня квадратична похибка вимірювання активної потужності; $\delta_{\text{оп}}$ – середня квадратична похибка визначення показника K за допомогою обчислювального пристрою.

При зміні показника K у допустимих межах має місце гранична приведена похибка, обчислена за формулою (4.19), яка змінюється в діапазоні:

$$\delta_{K_{\text{max}}} \div \delta_{K_{\text{min}}} = 10,32 \div 6,68.$$

Для розробленого пристрою існує можливість зменшення похибки шляхом використання більш точних трансформаторів струму і напруги, а також двигуна і редуктора з більш високим ККД. Аналіз показує, що похибка δ_K може бути зменшена до 6,53%.

Розроблений пристрій ПККП прийнятий до впровадження на реакторі полімеризації ПВХ ЗАТ “Лукор”.

4.7 Висновки з розділу 4

1. Розроблена структурна схема повірки вимірювального каналу пристрою контролю комплексного показника якості K , яка дозволяє повірити вимірювальний канал комплектно у вигляді неперервного вимірювального ланцюга від давачів до термінального пристрою.

2. Для здійснення повірки вимірювального каналу пристрою контролю показника K розроблена схема експериментальної установки, її методичне та технічне забезпечення, що дало змогу здійснити поелементну повірку вимірювального каналу і визначити абсолютну похибку, поправку, відносну похибку, варіацію, а також здійснити градування вимірювального приладу.
3. Запропоновано порядок проведення повірки вимірювального каналу пристрою контролю показника K , який складається з перевірки комплектності і стану технічної документації, візуального контролю, випробувань вимірювального каналу, що дало можливість створити методику повірки і, користуючись результатами експериментального визначення контрольних характеристик вимірювального каналу, приймати вірне рішення про придатність його до використання.
4. Здійснено порівняння запропонованого методу контролю комплексного показника якості K з відомими методами, що дає змогу встановити такі переваги нового методу: неперервність контролю якості латексу, можливість прогнозування показника K і корекції температури в реакторі ПВХ, стабілізацію технологічного процесу, зменшення простоїв обладнання, прискорення коригування режимів роботи реактора полімеризації ПВХ.
5. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень визначені статистичні характеристики похибки пристрою контролю показника K , що дало змогу визначити його результуючу відносну похибку, яка складає 6,68%, що задовільняє вимоги технологічного регламенту.

ЗАГАЛЬНА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-технічну задачу розробки системи неперервного контролю комплексного показника якості полівінілхлориду К, за допомогою якого контролюється ступінь полімеризації емульсійного полівінілхлориду ПВХ-Е. Вирішення цієї задачі має важливе народногосподарське значення у нафтохімічній галузі, оскільки дозволяє підвищити якість процесу отримання ПВХ.

Виконані в дисертаційній роботі дослідження дають змогу зробити наступні висновки:

1. На основі проведеного аналізу сучасного стану проблеми контролю якості полівінілхлоридних смол встановлено, що відомі методи і засоби контролю K_{ϕ} не дозволяють отримати неперервну і вірогідну інформацію про якість процесу полімеризації вінілхлориду, а запропонований комплексний показник якості полівінілхлориду К можна визначити непрямим методом за потужністю на валі мішалки реактора полімеризації. Однак, для цього необхідно провести ряд теоретико-експериментальних досліджень, які сформульовані у вигляді задач дисертаційної роботи, що потребують вирішення.
2. Розроблена узагальнена модель об'єкта контролю константи K_{ϕ} з використанням комплексного аналітико-статистичного підходу та врахуванням особливостей процесу полімеризації ПВХ-Е, яка дозволяє визначити клас задачі контролю як визначення подій в умовах невизначеності; введений комплексний показник якості полівінілхлориду К.
3. За результатами експериментальних досліджень визначена періодичність контролю технологічних параметрів процесу полімеризації, яка становить $T \leq (1.05 - 1.75)$ год. при заданій похибці апроксимації $\xi = 2.5\%$ і $T \leq 0.636$ год. для К. При $\xi = 1.5$ періодичність контролю К становитиме $T \leq 0.18$ год., що побічно вказує на відсутність взаємозв'язку технологічних параметрів з К.

Хоч такий зв'язок і проявляється після 16-38год. роботи реактора полімеризації, як показали результати аналітико-статистичного аналізу, однак він не може бути використаний для контролю K .

4. На основі результатів експериментальних досліджень інформаційних властивостей активної потужності, що споживається електродвигуном приводу мішалки, встановлена її лінійна залежність від показника K з коефіцієнтом кореляції $R_K = 0.953$ для заданого рівня значущості $q = 0.05$, адекватність якої перевірена за критерієм Фішера. За визначеними допусками для K , вихід за межі яких сигналізує про порушення якості процесу полімеризації ПВХ, визначені межі допусків для потужності на валі електродвигуна мішалки та розроблено алгоритм їх реалізації.
5. На основі встановленого взаємозв'язку $K = f(P)$ розроблено метод контролю показника K та його технічну реалізацію – пристрій контролю K , дослідження яких в реальних умовах експлуатації дозволили визначити статичні похибки пристрою: його чутливість до контрольованого параметру (0.416 В), абсолютну похибку чутливості (0.038 В), відносну похибку чутливості (0.64), а також вплив похибки нуля і чутливості на функцію перетворення пристрою. Визначена середньоквадратична результуюча похибка пристрою контролю, яка становить 6,68%, а визначені вірогідність та ефективність контролю показника K за допомогою розробленого методу відповідно становлять $\beta = 0.988$ і $E_K = 0.89$.
6. Для перевірки вимірювального каналу пристрою контролю K розроблена схема експериментальної установки, її методичне та технічне забезпечення, що дозволило розробити порядок проведення перевірки вимірювального каналу пристрою контролю K , здійснити його поелементну перевірку і визначити абсолютну похибку, поправку, відносну похибку, варіацію та здійснити градуювання приладу.
7. Проведено порівняння розробленого методу контролю K з відомими, в результаті чого виявлені наступні основні переваги: можливість

прогнозування K і регулювання температури в реакторі ПВХ, прискорення коригування режимів роботи реактора полімеризації ПВХ.

Проведена промислова апробація розробленої системи контролю якості полівінілхлориду в умовах ЗАТ “Лукор”, результати якої підтвердили її ефективність.

Розроблену систему контролю якості полівінілхлориду можна рекомендувати для неперервного контролю властивостей пластизолей в процесі їх виготовлення, що значно розширює можливості практичного застосування результатів роботи.

Список використаних джерел

1. Лифсон М.И., Туров Ю.А., Каменская Н.М. Состояние и перспектива мирового производства поливинилхлорида (конъюнктурный обзор). – АООТ “НИИГипрохим – Санкт-Петербург”. – СПб., 1997. – 37 с.
2. Положение с поливинилхлоридом. – БИКИ. – №58, 1996. – 13 с.
3. Абдурашитов Я.М. Развитие производства винилхлорида в Стерлитамакском ПО “Каустик”. – Химическая промышленность. – №5, 1996. – 326 с.
4. Kaiser, Helmut. Ein Markt in rasantem Wandel, Chemische Industrie, №3, 1996. - p.22-26.
5. Heinirichsen, Teodor Karl. Ein Kontinent vor dem Wirtschaftswunder, Chemische Industrie, №7-8, 1996. – S.12.-16.
6. Постійний технологічний регламент виробництва емульсійного полівінілхлориду цеху з виробництва полівінілхлоридної смоли. – №В-59-97. – ВАТ “Оріана”, Калуш, 1997. – 279 с.
7. Туров Ю.Я. Лифсон М.И. Состояние и тенденции производства карбида кальция и ацетилена в России и СНГ. – АО “НИИГипрохим – Санкт-Петербург”. – СПб., 1996. – С.44-48.
8. Белов П.С. Основы технологии нефтехимического синтеза.- М.: Химии, 1982. – 288 с.
9. Кафаров В.В., Перов В.Л., Мешалкин В.П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. – М.: Химия, 1974. – 344 с.
10. Сиськов В.И. Экономико-статистическое исследование качества продукции. – М.: Статистика, 1971. – 305 с.
11. Исакович Р.Я. Технологические измерения и приборы. – М.: Недра, 1979. – 344 с.
12. Плотномер ПАЖ – 301. Техническое описание и инструкции по эксплуатации. – ОКБА НПО “Химавтоматика”, 1982. – 24 с.
13. Технологический регламент винилхлорида № 594-77, Калушского ПО «Хлорвинил» от 03.09.1977г. – 770с.

14. Колесник К.И. Материалы из поливинилхлорида для народного хозяйства Украины //Хімічна промисловість України. - №6. – 1998. – С.64-67.
15. Полимерные материалы на основе поливинилхлорида. – Черкассы. – 1989.– С.13-18.
16. Шеваленко Н.В., Зеленский В.И., Колесник К.И. Композиционные материалы на основе поливинилхлорида //Хімічна промисловість України. - №4. – 2000. – С.84-88.
17. Wrede F., Polyvinylchlorid //Kunststoffe, № 10, 1995. – P.1515-1518.
18. Ливерсач Р. ПВХ вновь завоевывает утраченные позиции жесткой упаковки //Modern Plastic International. - №10. – 1997. – P.4-11.
19. Технология пластических масс. – Под ред. академика Коршака В.В.// Москва.- Химия.- 1985. – 558 с.
20. ГОСТ 14040-82. Поливинилхлорид, сополимеры винилхлорида. Метод определения числа вязкости и значения К. – М.: Изд. стандартов, 1982. – 5с.
21. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
22. Засименко В.М.. Основи теорії планування експерименту. – Львів: видавництво ДУ «Львівська політехніка». – 2000.– 204 с.
23. Лещій Р.М. Основні фізичні закономірності зв'язку потужності, що витрачається на змішування, з гідродинамічними параметрами рідини в реакторі полімеризації емульсійного полівінілхлориду (ПВХ-Е) // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – 1997. Вип.34 (6). – С. 290 – 293.
24. Лещій Р.М. Інтелектуальна система контролю та управління виробництвом вінілхлориду (ВХ) //Тези 3-ї Української конференції з автоматичного управління “Автоматика – 96”. – м. Севастополь. - 1996. – С.75.
25. Теорія електропривода: Підручник / За ред. М.Г.Поповича. – К.: Вища школа, 1993. – 494 с.

26. Касаткин А.С., Электротехника. Учебник для вузов. М.: Энергия, 1973. – 1993. – 494с.
27. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях. – Харьков: «Консум». – 2002. - 255с.
28. Ровінський В.А. Вдосконалення ватметрографічних методів діагностування штангових глибинно-насосних установок для видобутку нафти та розробка технічних засобів для їх реалізації. Дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук. – Івано-Франківськ. – 2003. – 180 с.
29. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы: Пер. с англ. – М.: 1988. – 583с.
30. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Сов. радио, 1979. – 368с.
31. Граф Р. Электронные схемы: 1300 примеров: пер. с англ. – М.: Мир. – 1989. – 688с.
32. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – 2-е изд. – М.: Высш. шк. 1991. – 622с.
33. Energy Metering IC with On Chip Fault Refection ADE 7751 //Analog de vices //www.analog.com.
34. Tree Phase Energy Metering IC with Pulse Output ADE 7752 //Analog de vices //www.analog.com.
35. Заміховський Л.М., Гринів П.П., Панчук В.Г. Сучасний стан методів технічних засобів контролю моменту на валу занурювальних електродвигунів /Івано-Франківський інститут нафти і газу. Івано-Франківськ. – 1993. – 17с. Доп. в ДНТБ України 16.11.1993. №2274 – Ук. 93.
36. Семенцов Г.Н. Классификация методов автоматического контроля момента на валу производственных механизмов // Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении. – Львов: Вища школа. – 1976. – Вып. 21. – С.100-104.
37. А.С. 465558 МКИ G 01 L. Устройство для измерения крутящего момента погруженного электродвигателя / А.Г.Бестелесный, А.А.Семенцова, В.М. Дитчук, Г.Н.Семенцов (СССР). – Оpubл. 1978, бюл. №12. – 4с.

38. Лещій Р.М. Контроль моменту на валі електродвигуна мішалки непрямим методом // Вісник ДУ “Львівська політехніка” Серія “Електроенергетичні та електромеханічні системи”. – Львів: Львівська політехніка. – 1999. – № 372. – С. 97 – 100.
39. Семенцов Г.Н. Автоматический контроль момента на валу электродвигателя главного движения металлорежущего станка. // РМАТС. Автоматизация производственных процессов. Львів. Вища школа. Вып. 19. – 1980. – С.112 – 115.
40. Глыбин И.Б. Автоматические плотномеры и концентратомеры в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность. №12, 1975. – С.12-15.
41. Плотномеры. Обзоры мирового технологического уровня датчиков состава и свойств жидких сред. – Тбилиси: СКБА НПО “Аналитприбор”, 1971. – 68с.
42. Оруджев В.Л., Архаров М.Т. Комплекс приборов контроля свойств бурового раствора, бурового шлама, прогнозирования флюидопроявлений и технологических параметров бурения. – М.: ВНИИ ОЕНГ, 1973. – 70 с.
43. Преобразователи плотности гидростатические ГАЖ. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Харьков: ОКБА НПО “Химавтоматика”, 1979. – 46 с.
44. Кулаков М.В., Жуков Ю.П. Измерители концентрации дисперсных систем. – Приборы и системы управления. – №8, 1975. – С.14-20.
45. Кондрашкова Г.А. Технологические измерения и приборы в целлюлозно-бумажной промышленности: Учебник для вузов. – М.: Лесн. пром-ть, 1981. – 376 с.
46. Измерения в промышленности. Справочное издание в 3-х книгах. Способы измерения и литература: Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Металлургия, 1990. – 320с.
47. Фарзани Н.Г. Технологические измерения и приборы. – М.: Высшая школа, 1989. – 342 с.

48. Кобяков А.И., Арпишкин И.И. Измерение вязкости жидкостей комбинированным методом. / В кн. Проблемы нефтяного комплекса России. – Уфа, 1998. – С. 165-168.
49. Лукас В.А. Теория автоматического управления. – М.: Недра, 1990. – 416с.
50. Жлуктенко В.І., Наконечний С.І., Савіна С.С. Теорія ймовірностей і математична статистика: Навч.-метод.посібник. У 2-х частина. – К.: КНЕУ, 2000, - 633 с.
51. Боднарь А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии. – К.: Вища школа, 1976. – 184 с.
52. Боженко Л.І. Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація. – Львів: Афіша, 2004.- 322 с.
53. Сю Ф., Мейер А. Современная теория управления и ее применение. – М.: Машиностроение, 1972. – 121 с.
54. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы. – М.: Энергия, 1974. – 319 с.
55. Шенброт И.М., Гинзбург М.Я. Расчет точности систем централизованного контроля. – М.: Энергия, 1970. – 480 с.
56. Мирзаджанзаде А.Х., Степанова Г.С. Математическая теория эксперимента в добыче нефти и газа. – М.: Недра, 1977. – 228 с.
57. Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Арутюнов С.Ю. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы измельчения сыпучих материалов. – М.: Наука, 1985. – 440 с.
58. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. – М.: Наука, 1977. – 335 с.
59. Рудавський Ю.К., Костробій П.П., Лозинський О.Ю., Уханська Д.В. Елементи теорії випадкових процесів: Навч.посібник – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка»,- 2004. - 240 с.
60. Кучернюк В.А., Щербина В.Е. Принципы стохастического измерения сбора и передачи информации на объектах нефтедобычи. – М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1975. – 55 с.

61. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 957 с.
62. ГОСТ 15894-70. Статистическое регулирование технологических процессов. М.: Изд. стандартов. – 1972. – 12с.
63. Беляков В.Л., Абдулаев А.А., Алексеев А.Ю. Об использовании микро-процессорной техники для целей аналитического контроля на автоматизированных узлах учета нефти // Проблемы повышения качества нефти, газа и нефтепродуктов: Тез. докл. Республиканской науч.-техн. конф. – Уфа, 1986. – С.25-28.
64. Когуч Я.Р., Лещій Р.М., Чигур І.І., Шавранський М.В. Класифікація алгоритмів визначення зміни властивостей випадкових величин //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – 1997. Вип.34 (6). – С. 68 – 79.
65. Лещій Р.М. Математичне моделювання і контроль якості полімеризації емульсійного полівінілхлориду (ПВХ-Е) в реальному часі // Матеріали 3 міжнародної науково-практичної конференції “Динаміка наукових досліджень – 2004”, Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2004. – С.38-40.
66. Танатар А.И. Элементы промышленной автоматики и их динамические свойства. – К.: Техника, 1975. – 232 с.
67. Расчет исполнительных, корректирующих и преобразовательных элементов автоматических систем / Под ред. Чемакова Н.М. – К.: Техника, 1976. – 220 с.
68. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / под ред. А.А.Федорова и Г.В.Сербиновского. – М.: Энергия, 1973. – 519 с.
69. Семенцов Г.Н. Автоматизація процесу буріння свердловин: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ, 1998. – 300 с.
70. Бендат Д., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. – М.: Мир, 1974. – 464 с.
71. Свешников А.А. Основы теории ошибок. – Ленинград: Изд. Ленингр. ун-та, 1972. – 121 с.

72. Лукас В.А. Оптимальное управление многомерными технологическими объектами: Учебное пособие. – Свердловск, 1984. – 76 с.
73. Лещій Р.М. Автоматизований контроль якості полівінілхлориду (ПВХ) в умовах Калуського ВАТ “Оріана” //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика і електрифікація об’єктів паливно-енергетичного комплексу. – Івано-Франківськ, 1998. – Вип. 35 (том 6) – С.81-86.
74. Лещій Р.М. Метод неперервного контролю ступеня полімеризації емульсійного полівінілхлориду //Методи та прилади контролю якості. – 1999. – № 4. – С.70 – 71.
75. Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических систем. – М.: Энергия, 1966. – 690 с.
76. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. – М.: Энергия, 1968. – 248 с.
77. Лещій Р.М. Аналіз методів автоматичного контролю якості нафтопродуктів та високомолекулярних хлорвміщуючих вуглеводнів //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об’єктів паливно-енергетичного комплексу. – Івано-Франківськ. – 1996. Вип.33. – С. 80 – 87.
78. Лещій Р.М. Визначення статичних характеристик і результуючої відносної похибки пристрою контролю константи Фікентчера K в умовах виробництва полівінілхлоридних смол // Тези науково-технічної конференції професійно-викладацького складу університету. – Івано-Франківськ:Факел. – 2002. – С.99-100.
79. Лещій Р.М. Контроль показників якості емульсійного полівінілхлориду //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – № 3. – С. 41 – 44.

80. Лещій Р.М. Метрологічні характеристики каналу контролю константи Фікентчера К // Матеріали 3 міжнародної науково-практичної конференції “Динаміка наукових досліджень – 2003”, Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2003. – С.14-17.
81. Краус М., Вошни Э. Информационные измерительные системы в нефтяной промышленности.– М.: Недра, 1981. – 315с.
82. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. Пер. с франц. – М.: Мир, 1983. – Т.1. – 311 с; Т.2 – 256 с.
83. Лещій Р.М. Автоматизований контроль інтегрального показника якості полівінілхлориду в реакторі полімеризації // Матеріали 11-ої міжнародної конференції по автоматичному управлінню “Автоматика-2004”, Київ. Том 2. – 2004. – С.39.
84. Лещій Р.М. Пристрій для контролю ступеня полімеризації полівінілхлориду в режимі on-line // Матеріали 7-ї міжнародної науково-практичної конференції “Наука і освіта, 2004”. – Дніпропетровськ – Технічні науки. Том 64. – 2004. – С.55-57.
85. Волгин В.В., Каримов Р.Н. Оценка корреляционных функций в промышленных системах управления. – М.: Энергия, 1979. – 80 с.
86. Петров В.В. Цеков А.С. Информационная теория синтеза оптимальных систем контроля и регулирования. – М.: Энергия, 1975. – 230 с.
87. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. – М.: Наука, 1967. – 368 с.
88. Чигур І.І., Лещій Р.М., Кикляк В.М. Аналіз методів контролю моменту на валі механізмів з електричним приводом // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об’єктів паливно-енергетичного комплексу. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – 1999. Вип.36 (8). – С. 177 – 186.
89. Лещій Р.М. Розробка структури інтелектуальної системи контролю якісних параметрів ВХ //Тези науково-технічної конференції професійно-викладацького складу університету. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – 1997. – С.163.

90. Лещий Р.М. Анализ методов контроля показателей качества нефтепродуктов // Материалы международной научно-технической конференции «Проблемы нефтегазового комплекса России», посвященной 50-летию УГНТУ. – Уфа: УГНТУ. – 1998. – С. 189-192.
91. Балакирев В.С., Володин В.М., Цирлин А.М. Оптимальное управление процессами химической технологии (экспериментальные задачи в АСУ). – М.: Химия, 1978. – 372с.
92. Пугачев В.С., Казаков И.Е., Евланов В.Г. Основы статистической теории автоматических систем. – М.: Машиностроение, 1974. – 400 с.
93. Лещий Р.М. Інформаційна модель контролю якості продукту в реакторі полімеризації // Тези доповідей учасників міжнародної науково-практичної конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології». – Чернівці: ЧФЮІ. – 2004. – С.176-177.
94. Тер-Хачатуров А.А. Измерительно-вычислительные системы в нефтяной промышленности. – М.: Недра, 1981. – 315 с.
95. Онищенко А.М. Повышение точности средств измерений параметров качества веществ //Измерительная техника. – 1987. – №4. – С.20-26.
96. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А. Измерительно-вычислительные системы количественного учета нефтепродуктов. – М.: Недра, 1984. – 120 с.
97. ГОСТ 8.009 – 84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М.: Изд. стандартов. 1976. – 12с.
98. Аверкієва В.В., Лещий Р.М., Дранчук М.М. Фільтрація вимірювання сигналів від завод при неперервному контролі константи Фікентчера K_f у виробництві полівінілхлориду емульсійного (ПВХ-Е). // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Сер.: Техн. кібернет. та електриф. об'єктів паливно-енергет. комплексу. – Івано-Франківськ. – 1999. – Вип. 36(6). – С.120-126.
99. Бабчук С.М., Лещий Р.М. Інформаційно-енергетична модель електродвигуна //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – Івано-Франківськ: ФАКЕЛ. – 1999. Вип.36 (6). – С. 62 – 50.

100. Лещій Р.М., Кикляк В.М. Метод неперервного контролю якості латексу у виробництві полівінілхлориду емульсійного //Збірник наукових праць. Матеріали 6-ї міжнародної науково-практичної конференції “Нафта і газ України”. – 2000. – Івано-Франківськ: Факел. – 2000. – С. 284 – 285.
101. Лещій Р.М. Взаємозв’язки потужності, що витрачається на змішування з фізичними властивостями рідини //Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – 1999. – С.43 – 44.
102. Аверкієва В.В., Лещій Р.М. Джерела нечіткої інформації про об’єкти контролю і керування //Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – 1998. – С.56 – 60.
103. Лещій Р.М. Метрологічна модель каналу контролю константи Фікентчера К//Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2004.- №1(7). – с.62-66.
104. Плахтина О.Г. та ін. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: Навч.посібник.- Львів: видавництво НУ «Львівська політехніка», 2002.- 228 с.

ДОДАТКИ

Додаток А1

Результати експерименту на установці виробництва ПВХ-Е

№	Латекс		Емульсійна вода					Обезсолена вода			
	t, год	K _{розр}	Вміст ініціатора, %	СО, %	М	Р	pH _{ем.во} ди	O ₂ , %	Твердість об.вод и	Хлориди, мг/л	pH _{об.вод} и
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	60,400	0,080	1,900	8,000	1,600	9,700	0,064	0,010	0,230	8,850
1	4	62,900	0,080	1,800	7,500	1,700	9,700	0,048	0,009	0,230	8,900
2	8	60,400	0,080	1,800	7,900	1,500	9,550	0,080	0,009	0,230	8,500
3	12	65,700	0,055	2,800	8,300	2,000	9,500	0,080	0,009	0,220	8,520
4	16	61,000	0,055	2,800	9,000	2,700	9,500	0,080	0,010	0,213	8,550
5	20	65,700	0,055	2,800	8,300	2,000	9,600	0,080	0,010	0,213	8,550
6	24	67,300	0,080	1,800	8,200	1,800	9,700	0,056	0,010	0,213	8,200
7	28	65,100	0,080	1,900	6,700	1,900	9,500	0,072	0,012	0,213	7,450
8	32	64,600	0,080	1,800	8,200	1,800	9,400	0,072	0,012	0,230	8,200
9	36	68,400	0,055	2,700	7,000	1,700	9,300	0,080	0,010	0,213	8,650
10	40	65,100	0,055	2,700	7,000	1,700	9,300	0,022	0,010	0,213	7,900
11	44	66,100	0,060	2,700	7,000	1,700	9,300	0,064	0,009	0,230	7,950
12	48	69,000	0,065	2,100	6,900	1,600	9,250	0,072	0,009	0,213	7,650
13	52	62,300	0,065	2,200	9,600	1,700	9,300	0,064	0,010	0,230	8,250
14	56	69,000	0,065	2,800	7,500	2,500	9,500	0,072	0,012	0,230	8,000
15	60	66,500	0,065	2,700	6,900	2,000	9,450	0,072	0,012	0,230	8,050
16	64	66,700	0,055	2,100	5,600	1,900	9,200	0,080	0,012	0,230	8,000
17	68	66,700	0,650	2,100	5,500	1,900	9,300	0,088	0,012	0,230	7,600
18	72	69,500	0,055	2,600	6,200	7,500	9,500	0,088	0,012	0,230	7,500
19	76	68,900	0,065	2,100	5,700	2,600	9,350	0,072	0,012	0,230	7,600
20	80	66,500	0,065	2,100	5,700	1,800	9,250	0,080	0,009	0,230	8,000
21	84	69,500	0,055	2,500	6,800	1,800	9,400	0,080	0,009	0,230	8,150
22	88	67,100	0,055	2,500	9,600	2,500	9,400	0,088	0,009	0,230	7,950
23	92	67,100	0,055	2,500	9,000	2,200	9,400	0,080	0,009	0,230	7,800
24	96	67,300	0,065	2,500	5,800	1,600	9,200	0,088	0,009	0,230	7,600
25	100	69,000	0,055	2,900	6,900	2,200	9,400	0,064	0,009	0,230	7,600
26	104	66,500	0,065	2,000	5,500	1,500	9,500	0,088	0,008	0,230	6,900
27	108	69,000	0,065	2,000	6,800	2,100	9,350	0,088	0,008	0,230	6,950
28	112	67,800	0,065	1,800	9,000	2,700	9,000	0,072	0,009	0,230	6,020
29	116	66,800	0,055	2,500	3,800	1,000	9,000	0,072	0,009	0,230	6,570
30	120	70,400	0,055	2,600	9,200	1,000	9,400	0,080	0,008	0,230	6,800
31	124	70,400	0,055	2,500	9,200	1,800	9,000	0,096	0,007	0,230	7,550
32	128	70,000	0,070	1,700	8,300	1,600	9,000	0,080	0,012	0,230	7,500
33	132	64,000	0,075	1,500	7,500	1,000	9,200	0,080	0,008	0,230	6,850
34	136	65,700	0,075	1,700	6,600	1,600	9,400	0,080	0,008	0,230	6,950

Продовження додатку А1

35	140	68,400	0,075	1,700	5,000	0,200	9,100	0,072	0,008	0,230	6,950
36	144	71,800	0,055	2,400	6,600	1,200	9,500	0,072	0,012	0,230	6,750
37	148	72,300	0,080	1,700	3,000	0,000	9,050	0,080	0,008	0,230	6,500
38	152	70,900	0,080	1,600	4,500	0,000	9,000	0,064	0,008	0,230	5,850
39	156	61,600	0,055	2,400	7,200	0,200	9,250	0,072	0,012	0,230	6,500
40	160	69,900	0,080	1,600	6,800	1,500	9,000	0,064	0,009	0,230	6,350
41	164	66,500	0,080	1,800	9,400	2,000	9,000	0,080	0,009	0,230	6,900
42	168	69,500	0,080	1,800	9,400	1,200	9,100	0,080	0,008	0,230	7,000
43	172	73,200	0,080	1,800	11,700	3,000	9,700	0,096	0,009	0,213	7,500
44	176	65,700	0,080	1,900	12,100	2,800	10,000	0,080	0,009	0,213	7,950
45	180	66,500	0,080	1,900	9,000	1,800	9,800	0,096	0,008	0,230	7,900
46	184	73,200	0,080	1,900	11,500	2,000	9,700	0,080	0,008	0,230	7,750
47	188	67,800	0,080	2,100	11,800	2,000	9,000	0,080	0,008	0,230	7,800
48	192	66,500	0,080	2,000	10,000	2,700	9,500	0,088	0,008	0,230	8,050
49	196	65,700	0,080	2,000	8,700	2,500	9,550	0,080	0,008	0,230	8,250
50	200	68,400	0,080	1,960	9,900	3,200	9,650	0,080	0,008	0,230	7,400
51	204	66,500	0,080	2,000	9,000	3,000	9,500	0,080	0,008	0,230	7,200
52	208	63,500	0,080	1,900	12,500	4,500	9,500	0,088	0,008	0,230	6,450
53	212	65,100	0,080	1,900	12,000	4,000	9,600	0,088	0,008	0,230	7,500
54	216	66,800	0,080	1,700	8,500	4,000	10,000	0,096	0,010	0,230	7,300
55	220	72,300	0,080	1,770	11,500	3,000	10,000	0,096	0,010	0,230	7,200
56	224	67,600	0,060	2,100	6,700	2,000	10,000	0,078	0,009	0,230	8,850
57	230	66,500	0,080	2,000	10,000	2,700	9,500	0,088	0,008	0,213	8,050
58	234	65,700	0,080	2,000	8,700	2,900	9,550	0,080	0,008	0,230	8,250
59	238	68,400	0,080	1,960	9,900	3,200	9,650	0,080	0,008	0,230	8,250
60	242	66,500	0,060	2,200	9,500	1,800	9,100	0,080	0,008	0,230	7,400
61	246	63,500	0,080	1,900	12,500	4,500	9,500	0,088	0,008	0,230	6,750
62	250	65,100	0,080	1,850	12,000	4,000	9,600	0,072	0,012	0,230	7,150
63	254	66,800	0,080	1,700	8,000	4,000	10,000	0,096	0,010	0,230	7,300
64	260	72,300	0,080	1,770	11,000	3,000	10,000	0,096	0,010	0,230	7,200
65	264	64,600	0,080	2,100	6,700	2,000	10,000	0,072	0,009	0,213	8,850
66	266	67,800	0,080	1,700	8,500	4,000	10,000	0,072	0,009	0,213	7,400
67	270	73,200	0,080	1,700	7,800	2,300	9,500	0,088	0,009	0,213	7,350
68	274	69,000	0,080	1,720	9,700	3,900	9,500	0,088	0,009	0,213	7,300
69	278	67,300	0,080	1,700	12,500	5,700	9,800	0,080	0,010	0,230	6,500
70	282	68,900	0,080	1,700	9,800	4,200	9,600	0,080	0,010	0,213	6,700
71	286	64,600	0,080	1,700	12,500	4,500	9,650	0,080	0,009	0,230	7,350
72	300	67,300	0,080	1,800	10,000	2,700	9,700	0,080	0,012	0,230	7,000
73	304	67,800	0,080	1,700	9,800	2,800	9,850	0,070	0,012	0,230	6,900
74	308	62,900	0,080	1,700	9,500	3,500	10,000	0,064	0,012	0,230	7,000
75	312	66,100	0,080	1,800	9,000	4,000	10,000	0,088	0,009	0,230	6,950
76	316	61,000	0,080	1,700	9,700	1,000	9,500	0,072	0,012	0,230	6,900

Продовження додатку А1

77	320	67,300	0,080	1,700	8,800	2,500	10,000	0,072	0,012	0,230	6,700
78	324	67,300	0,080	1,700	8,000	1,800	9,650	0,072	0,012	0,230	6,600
79	328	62,300	0,080	1,800	6,000	0,800	9,500	0,064	0,012	0,230	6,500
80	332	64,400	0,080	1,800	7,200	1,500	9,500	0,032	0,010	0,230	7,800
81	336	69,500	0,080	1,700	9,200	2,800	9,950	0,072	0,009	0,230	7,550
82	340	67,800	0,080	1,800	10,800	1,600	9,500	0,080	0,009	0,230	8,200
83	344	66,800	0,080	1,800	11,800	4,800	9,800	0,072	0,009	0,230	8,600
84	348	63,500	0,080	1,800	9,400	3,000	9,500	0,080	0,009	0,230	8,250
85	352	70,900	0,080	1,680	6,500	2,000	9,750	0,080	0,010	0,240	8,200

Додаток А2

Гістограми розподілу фізичних параметрів вхідних потоків сировини.

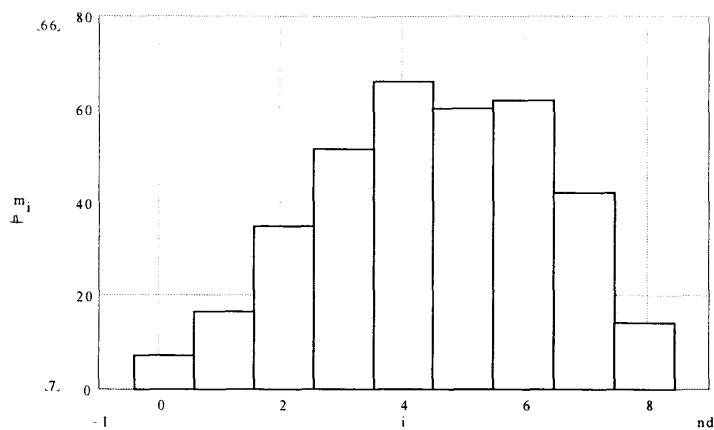


Рис.А2.1 – Гістограма розподілу емпіричних частот для рН обезсоленої
ВОДИ

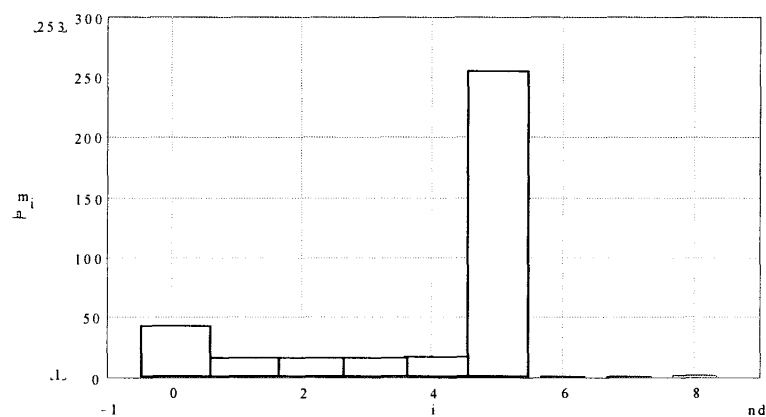


Рис.А2.2 – Гістограма розподілу емпіричних частот для хлоридів

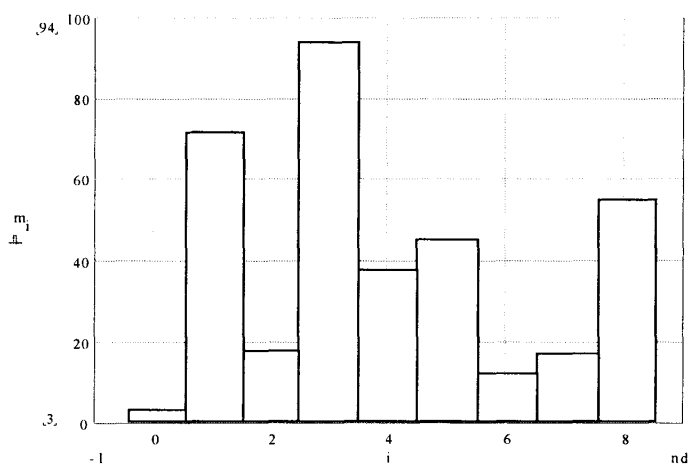


Рис.А2.3 – Гістограма розподілу емпіричних частот для твердості води

Продовження додатку А2

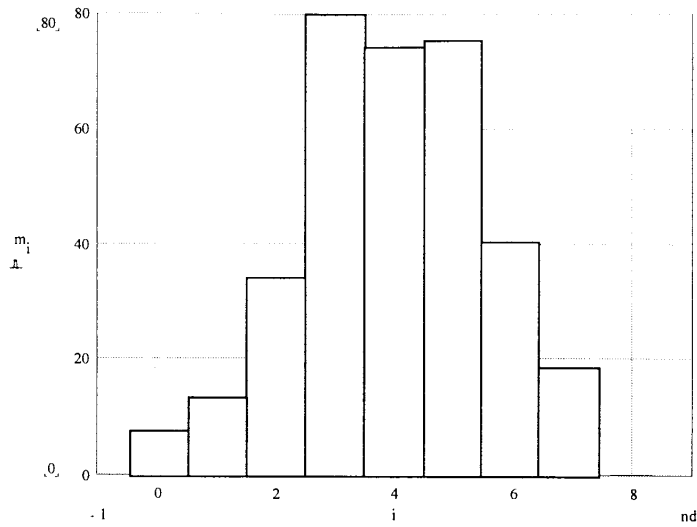


Рис.А2.4– Гістограма розподілу емпіричних частот для кисню

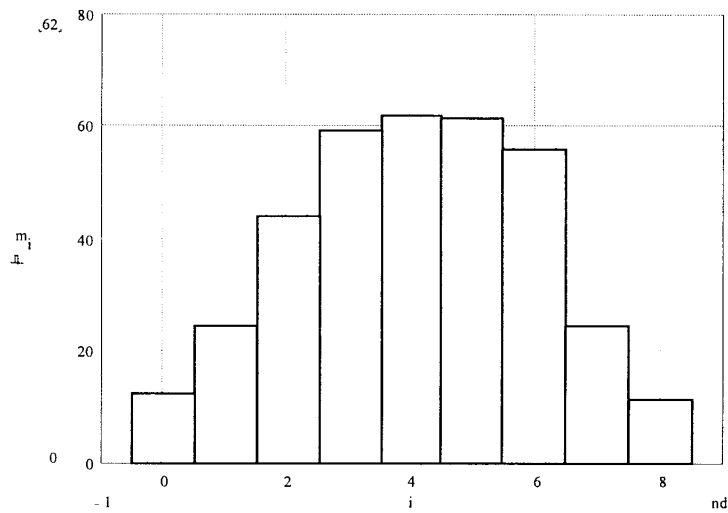
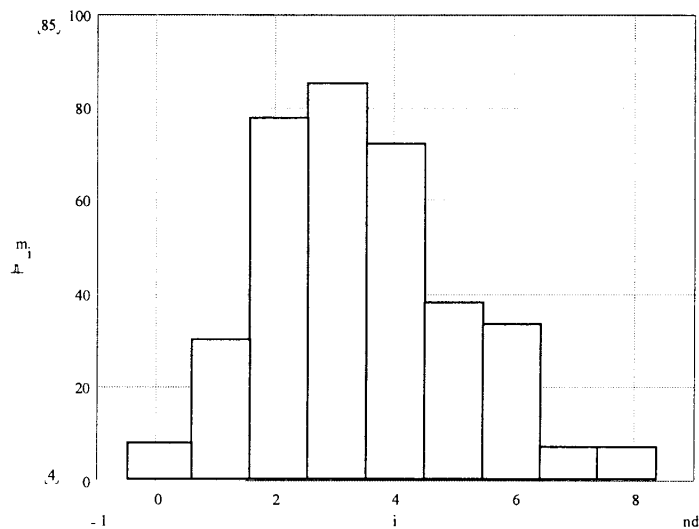
Рис.А2.5– Гістограма розподілу емпіричних частот для рН емульсійної
ВОДИ

Рис.А2.6 – Гістограма розподілу емпіричних частот для потужності

Продовження додатку А2

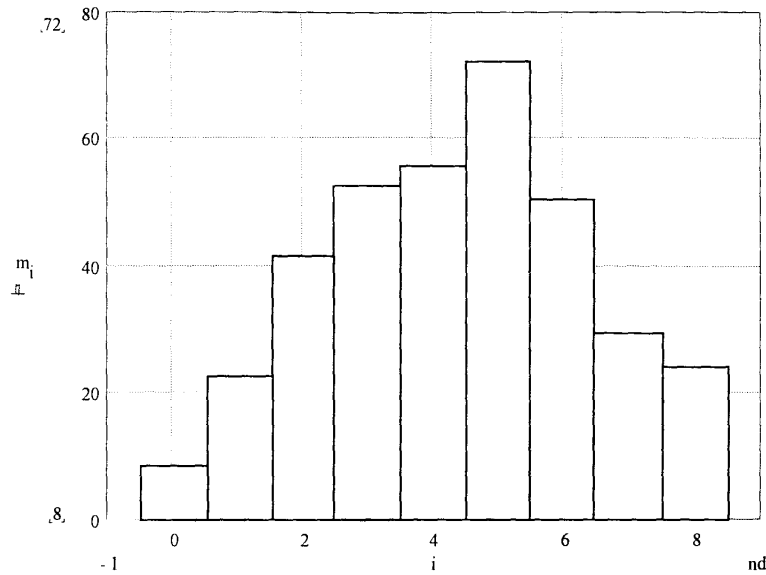


Рис.А2.7 – Гістограма розподілу емпіричних частот для моменту

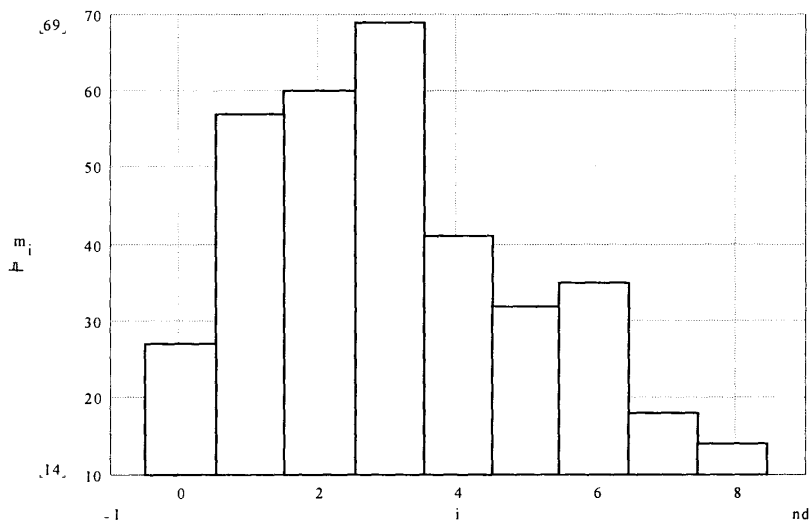


Рис.А2.8– Гістограма розподілу емпіричних частот для концентрації

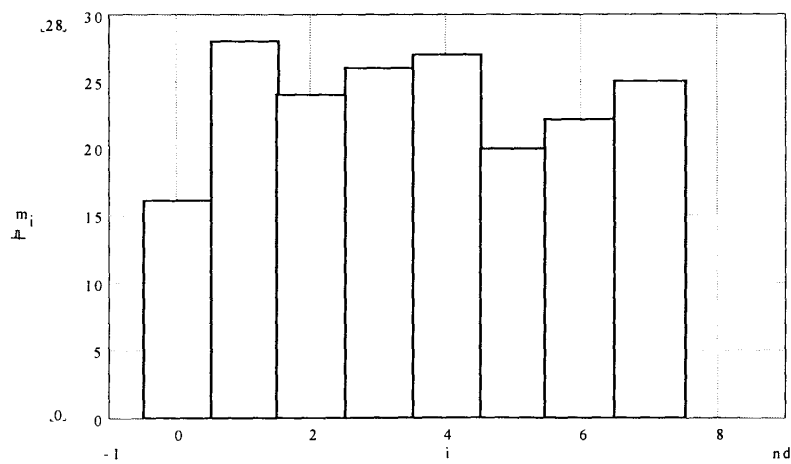


Рис.А2.9 – Гістограма розподілу емпіричних частот для вмісту ініціатора

Додаток А3

Графіки імовірності розподілу досліджуваних параметрів

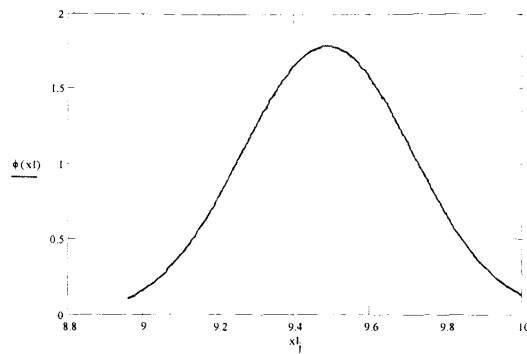


Рис.А3.1 – Графік нормального розподілу для pH_c

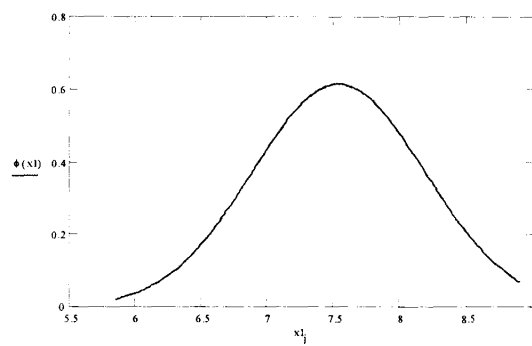


Рис.А3.2 – Графік нормального розподілу для pH_b

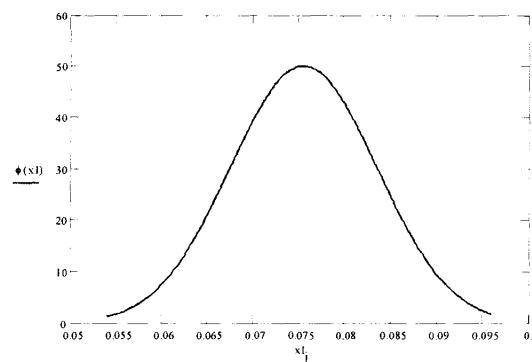


Рис.А3.3 – Графік нормального розподілу для O_2

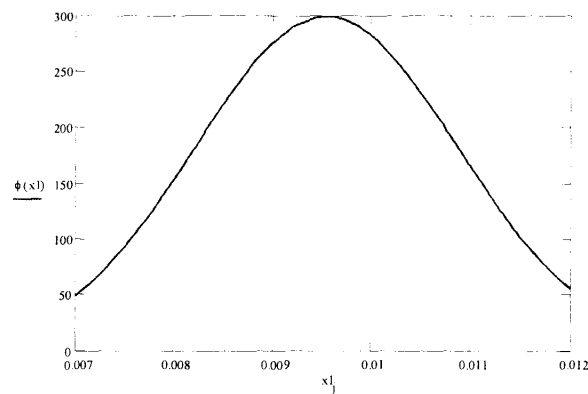


Рис.А3.4 – Графік нормального розподілу для T_b

Додаток А4

Технічна характеристика вимірювального перетворювача активної потужності трьохфазного струму Е84917-М1.

Вхідний сигнал I_n , А	5
Вхідний сигнал, $U_{лн}$, В	100
Вихідний сигнал на навантаженні (2-3) кП, мА	0÷5
Частота струму, Гц	45÷65
$\cos \varphi_n$	1,0
Габаритні розміри	140×125×80
Маса, кг	0,7

Додаток А5

Вибірка значень активної потужності електродвигуна мішалки

Дані експерименту: (0 колонка t, 1 колонка – P)

0	$3.845 \cdot 10^3$
1.5	$3.72 \cdot 10^3$
3	$3.782 \cdot 10^3$
4.5	$3.706 \cdot 10^3$
6	$3.807 \cdot 10^3$
7.5	$3.728 \cdot 10^3$
9	$3.752 \cdot 10^3$
10.5	$3.683 \cdot 10^3$
12	$3.689 \cdot 10^3$
13.5	$3.658 \cdot 10^3$
15	$3.72 \cdot 10^3$
16.5	$3.752 \cdot 10^3$
18	$3.814 \cdot 10^3$
19.5	$3.72 \cdot 10^3$
21	$3.658 \cdot 10^3$
22.5	$3.689 \cdot 10^3$
24	$3.658 \cdot 10^3$
25.5	$3.729 \cdot 10^3$
27	$3.684 \cdot 10^3$
28.5	$3.72 \cdot 10^3$
30	$3.782 \cdot 10^3$
31.5	$3.685 \cdot 10^3$
33	$3.746 \cdot 10^3$
34.5	$3.648 \cdot 10^3$
36	$3.752 \cdot 10^3$
37.5	$3.706 \cdot 10^3$
39	$3.752 \cdot 10^3$
40.5	$3.689 \cdot 10^3$
42	$3.658 \cdot 10^3$
43.5	$3.658 \cdot 10^3$
45	$3.72 \cdot 10^3$
46.5	$3.72 \cdot 10^3$
48	$3.683 \cdot 10^3$
49.5	$3.814 \cdot 10^3$
51	$3.873 \cdot 10^3$
52.5	$3.689 \cdot 10^3$
54	$3.72 \cdot 10^3$
55.5	$3.814 \cdot 10^3$
57	$3.685 \cdot 10^3$
58.5	$3.752 \cdot 10^3$
60	$3.8 \cdot 10^3$
61.5	$3.689 \cdot 10^3$
63	$3.72 \cdot 10^3$
64.5	$3.752 \cdot 10^3$
66	$3.72 \cdot 10^3$
67.5	$3.689 \cdot 10^3$
69	$3.682 \cdot 10^3$
70.5	$3.658 \cdot 10^3$
72	$3.705 \cdot 10^3$
73.5	$3.752 \cdot 10^3$
75	$3.746 \cdot 10^3$
76.5	$3.752 \cdot 10^3$
78	$3.683 \cdot 10^3$
79.5	$3.72 \cdot 10^3$
81	$3.752 \cdot 10^3$
82.5	$3.658 \cdot 10^3$
84	$3.689 \cdot 10^3$
85.5	$3.782 \cdot 10^3$
87	$3.752 \cdot 10^3$
88.5	$3.782 \cdot 10^3$
90	$3.728 \cdot 10^3$
91.5	$3.782 \cdot 10^3$
93	$3.72 \cdot 10^3$
94.5	$3.683 \cdot 10^3$
96	$3.689 \cdot 10^3$
97.5	$3.752 \cdot 10^3$
99	$3.72 \cdot 10^3$
100.5	$3.752 \cdot 10^3$
102	$3.74 \cdot 10^3$
103.5	$3.72 \cdot 10^3$
105	$3.752 \cdot 10^3$
106.5	$3.74 \cdot 10^3$
108	$3.729 \cdot 10^3$
109.5	$3.683 \cdot 10^3$
111	$3.72 \cdot 10^3$
112.5	$3.689 \cdot 10^3$
114	$3.72 \cdot 10^3$
115.5	$3.73 \cdot 10^3$
117	$3.689 \cdot 10^3$
118.5	$3.752 \cdot 10^3$
120	$3.752 \cdot 10^3$
121.5	$3.705 \cdot 10^3$
123	$3.814 \cdot 10^3$
124.5	$3.684 \cdot 10^3$
126	$3.782 \cdot 10^3$
127.5	$3.689 \cdot 10^3$
129	$3.732 \cdot 10^3$
130.5	$3.658 \cdot 10^3$
132	$3.752 \cdot 10^3$
133.5	$3.704 \cdot 10^3$

Продовження додатку А5

135	$3.782 \cdot 10^3$
136.5	$3.752 \cdot 10^3$
138	$3.74 \cdot 10^3$
139.5	$3.782 \cdot 10^3$
141	$3.72 \cdot 10^3$
142.5	$3.782 \cdot 10^3$
144	$3.689 \cdot 10^3$
145.5	$3.738 \cdot 10^3$
147	$3.814 \cdot 10^3$
148.5	$3.782 \cdot 10^3$
150	$3.825 \cdot 10^3$
151.5	$3.845 \cdot 10^3$
153	$3.814 \cdot 10^3$
154.5	$3.8 \cdot 10^3$
156	$3.782 \cdot 10^3$
157.5	$3.826 \cdot 10^3$
159	$3.782 \cdot 10^3$
160.5	$3.752 \cdot 10^3$
162	$3.782 \cdot 10^3$
163.5	$3.782 \cdot 10^3$
165	$3.745 \cdot 10^3$
166.5	$3.72 \cdot 10^3$
168	$3.782 \cdot 10^3$
169.5	$3.814 \cdot 10^3$
171	$3.738 \cdot 10^3$
172.5	$3.752 \cdot 10^3$
174	$3.806 \cdot 10^3$
175.5	$3.746 \cdot 10^3$
177	$3.706 \cdot 10^3$
178.5	$3.782 \cdot 10^3$

data =

180	$3.689 \cdot 10^3$
181.5	$3.689 \cdot 10^3$
183	$3.72 \cdot 10^3$
184.5	$3.74 \cdot 10^3$
186	$3.72 \cdot 10^3$
187.5	$3.705 \cdot 10^3$
189	$3.752 \cdot 10^3$
190.5	$3.804 \cdot 10^3$
192	$3.782 \cdot 10^3$
193.5	$3.72 \cdot 10^3$
195	$3.752 \cdot 10^3$
196.5	$3.752 \cdot 10^3$
198	$3.714 \cdot 10^3$
199.5	$3.72 \cdot 10^3$
201	$3.72 \cdot 10^3$
202.5	$3.689 \cdot 10^3$
204	$3.703 \cdot 10^3$
205.5	$3.743 \cdot 10^3$
207	$3.752 \cdot 10^3$
208.5	$3.782 \cdot 10^3$
210	$3.782 \cdot 10^3$
211.5	$3.742 \cdot 10^3$
213	$3.752 \cdot 10^3$
214.5	$3.782 \cdot 10^3$
216	$3.689 \cdot 10^3$
217.5	$3.744 \cdot 10^3$
219	$3.814 \cdot 10^3$
220.5	$3.782 \cdot 10^3$
222	$3.751 \cdot 10^3$
223.5	$3.689 \cdot 10^3$

data =

Додаток А6

Графіки автокореляційних функцій контрольованих параметрів процесу полімеризації вінілхлориду

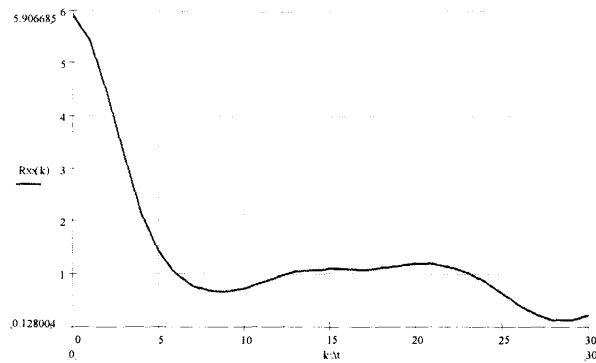


Рис.А6.1 – Графік оцінки автокореляційної функції $R_{Cl}(k\Delta t)$

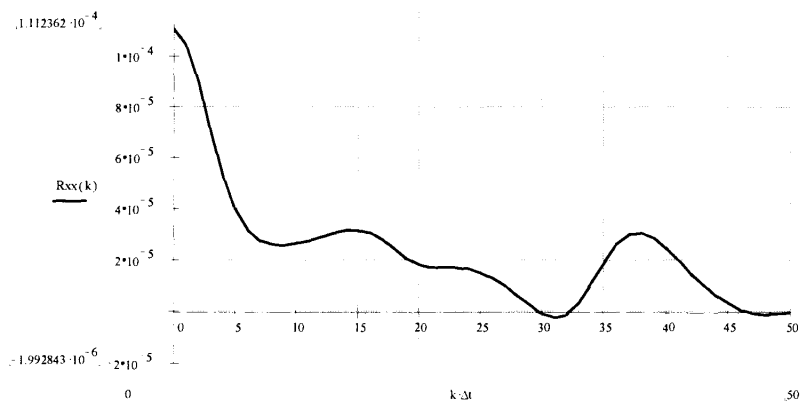


Рис.А6.2 – Графік оцінки автокореляційної функції $R_{O_2}(k\Delta t)$

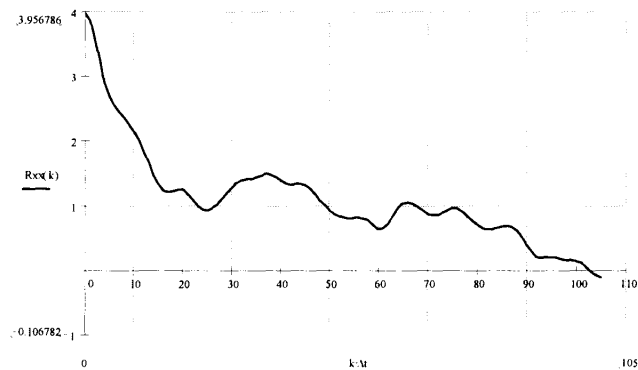


Рис.А6.3 – Графік оцінки автокореляційної функції $R_M(k\Delta t)$

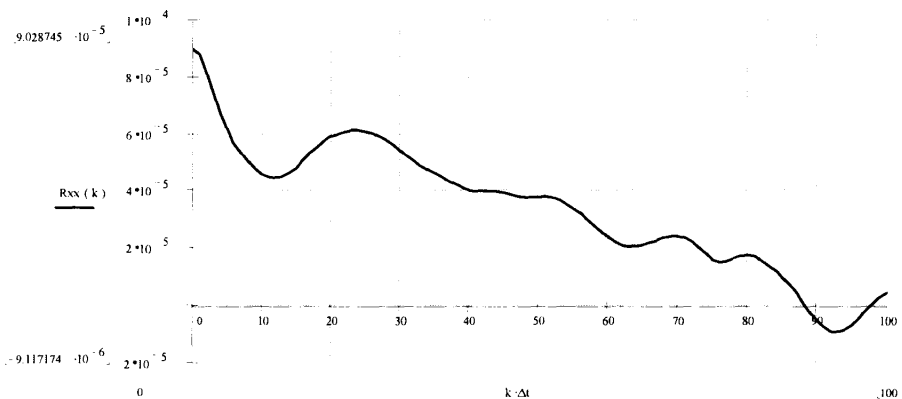
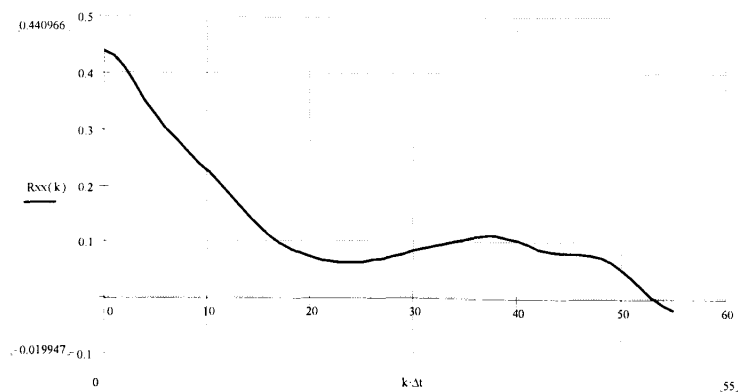
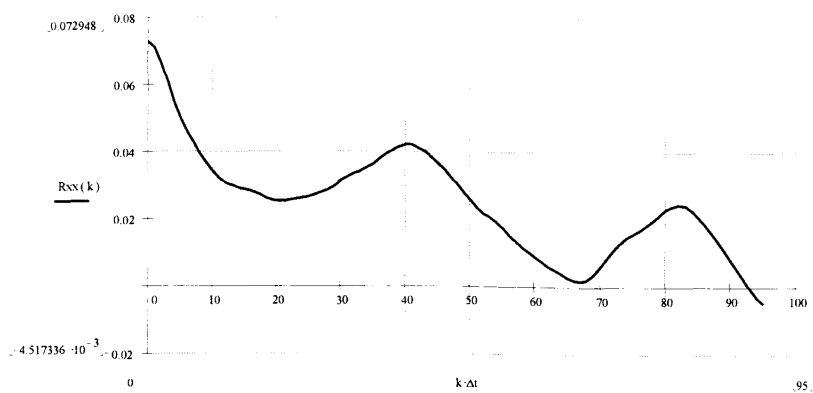
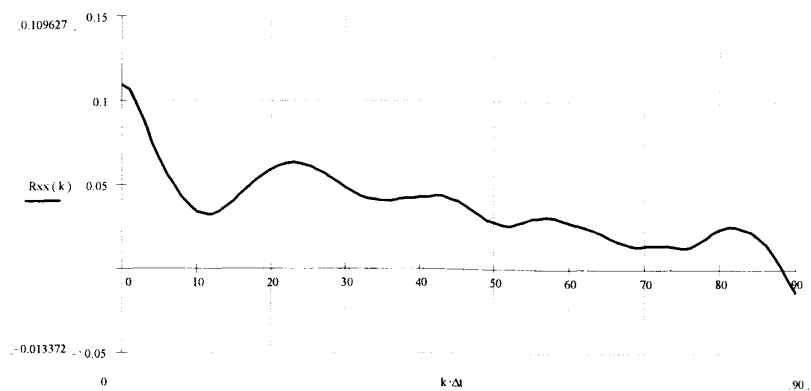
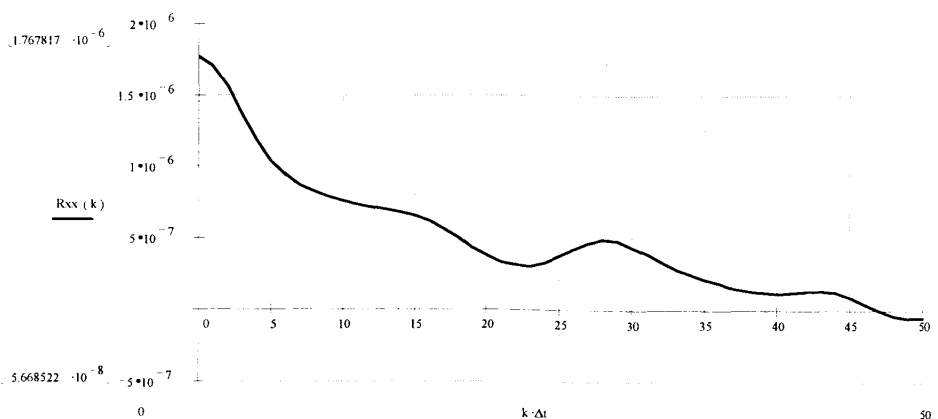


Рис.А6.4 – Графік оцінки автокореляційної функції $R_{In}(k\Delta t)$

Рис.А6.5 – Графік оцінки автокореляційної функції $R_{pHb}(k\Delta t)$ Рис.А6.6 – Графік оцінки автокореляційної функції $R_{pHc}(k\Delta t)$ Рис.А6.7 – Графік оцінки автокореляційної функції $R_{co}(k\Delta t)$ Рис.А6.8 – Графік оцінки автокореляційної функції $R_{TB}(k\Delta t)$

Додаток А7

Графіки нормованих автокореляційних функцій контрольованих параметрів

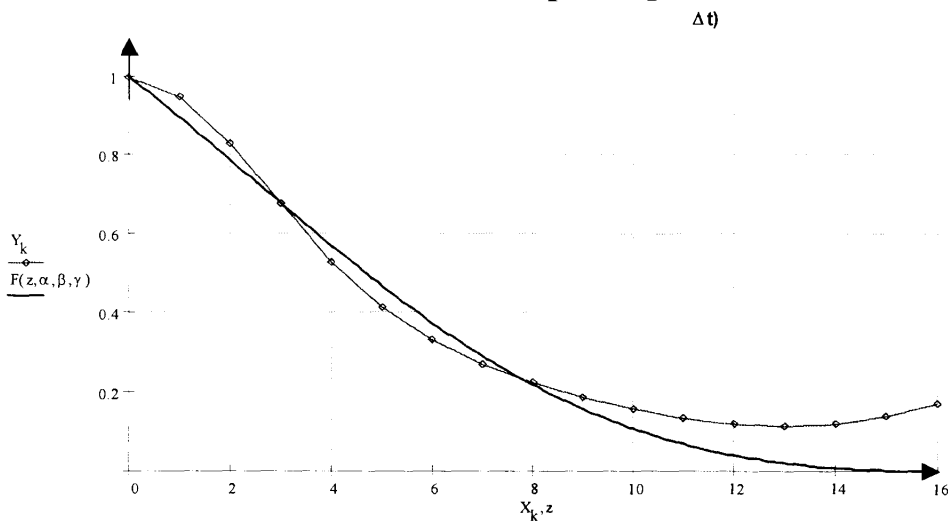


Рис.1 – Графіки нормованої автокореляційної функції $R_{pHв}(k\Delta t)$

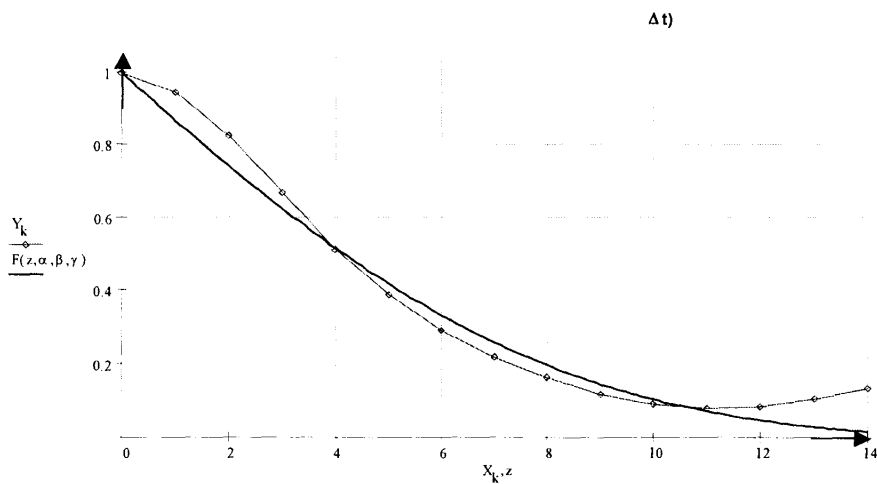


Рис.2 – Графіки нормованої автокореляційної функції $R_{со}(k\Delta t)$

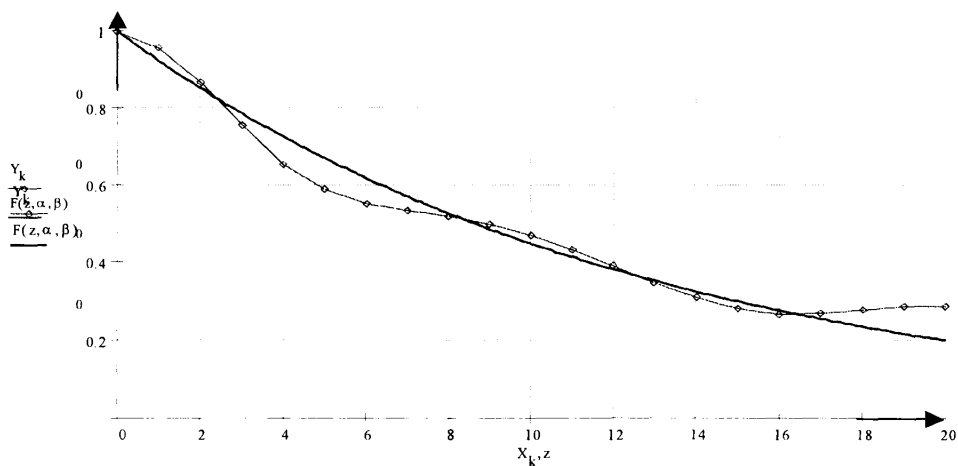
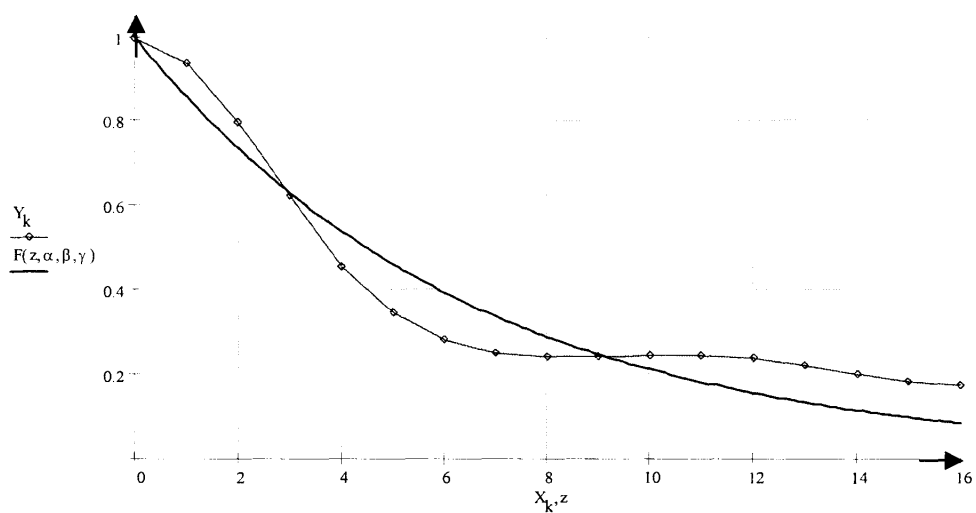
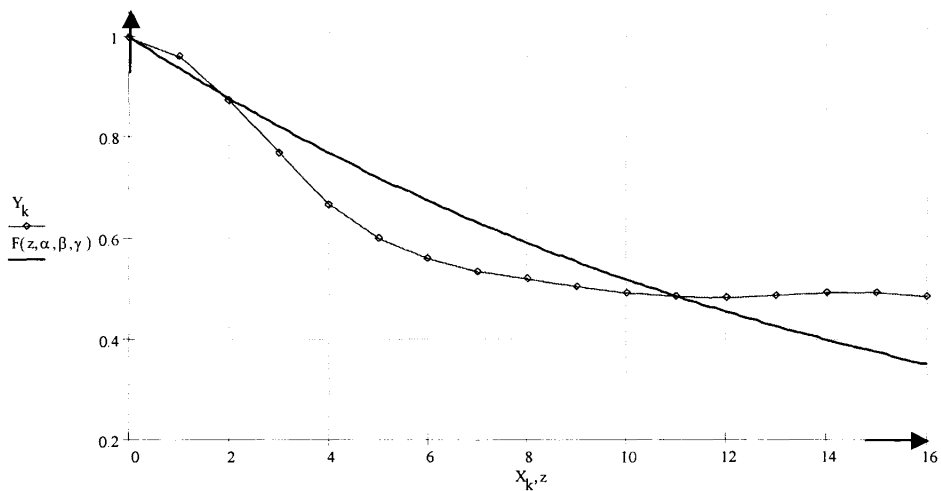
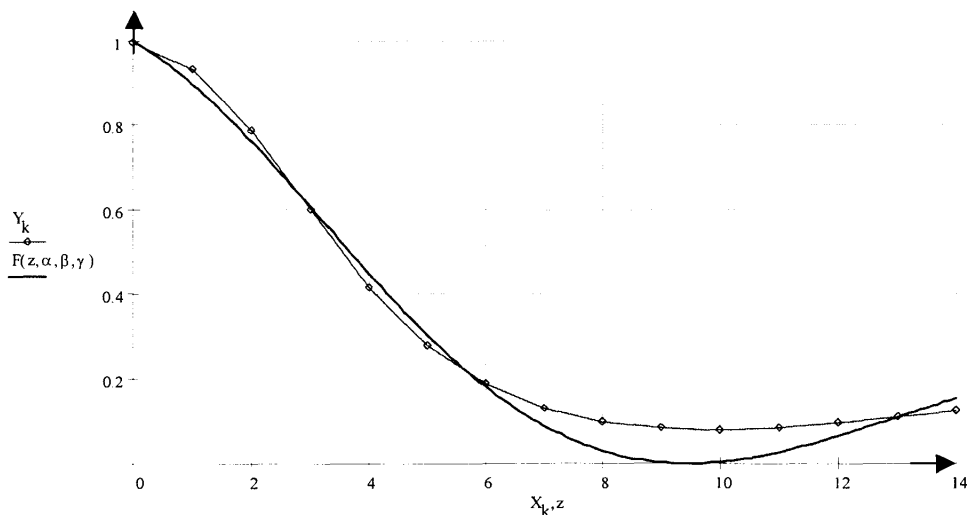
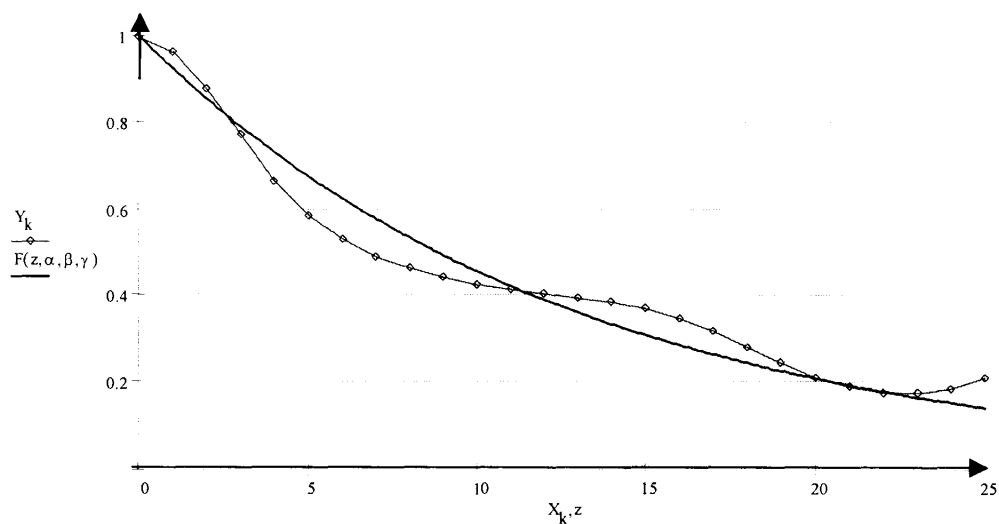
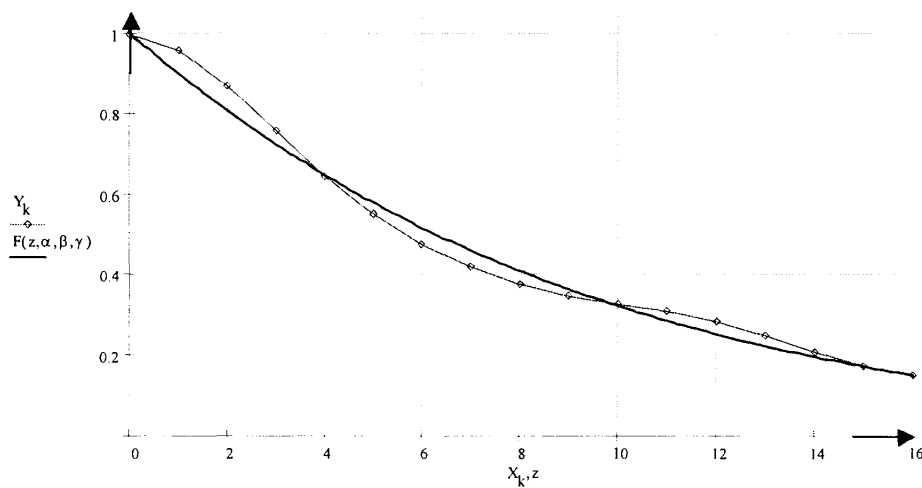
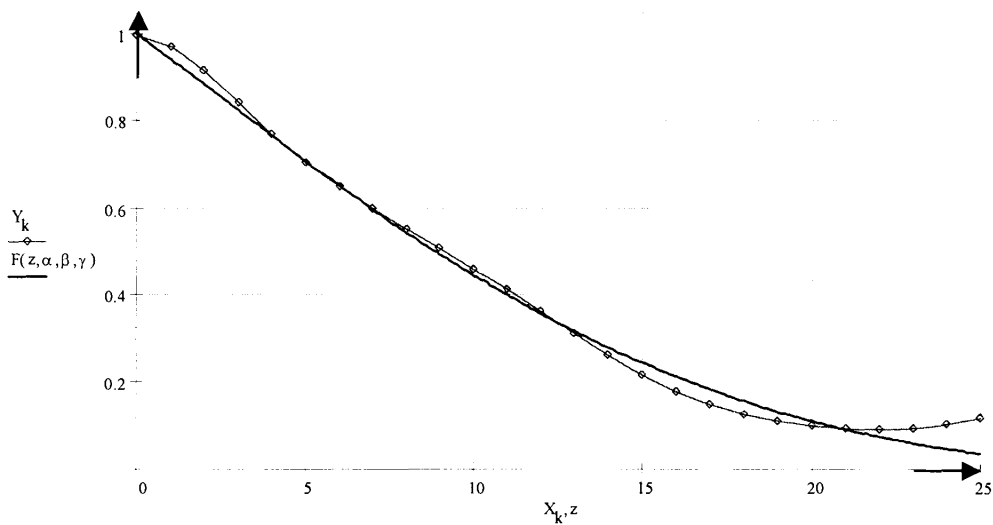


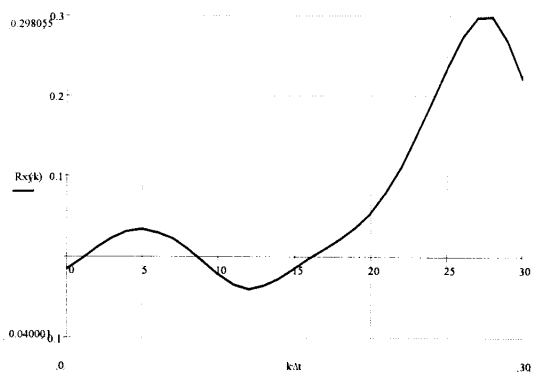
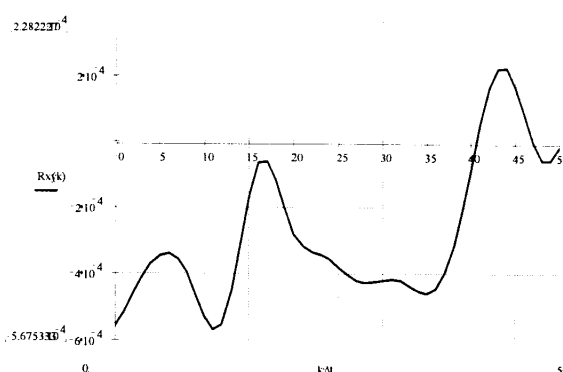
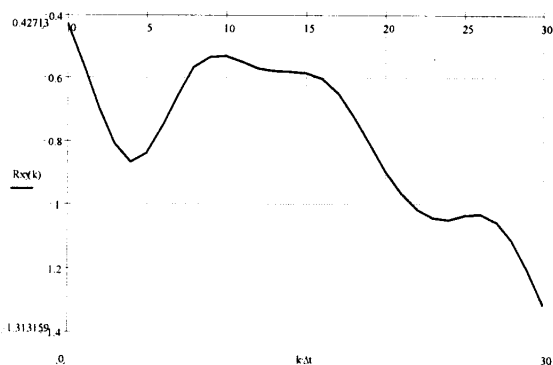
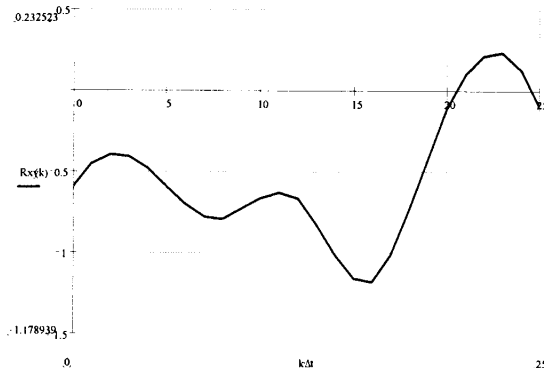
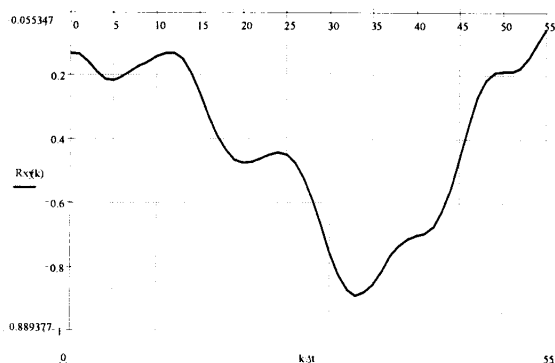
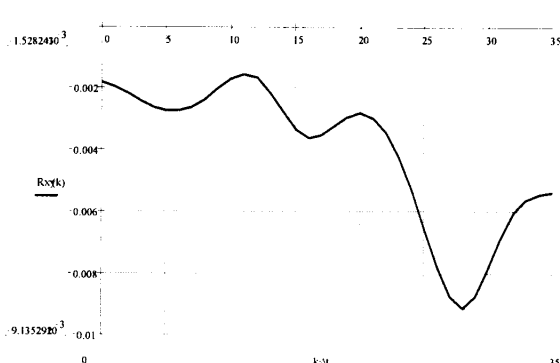
Рис.3 – Графіки нормованої автокореляційної функції $R_M(k\Delta t)$

$\Delta t)$ Рис.4 – Графіки нормованої автокореляційної функції $R_p(k\Delta t)$ $\Delta t)$ Рис.5 – Графіки нормованої автокореляційної функції $R_{pHe}(k\Delta t)$ $\Delta t)$ Рис.6 – Графіки нормованої автокореляційної функції $R_{O_2}(k\Delta t)$

$\Delta t)$ Рис.7 – Графіки нормованої автокореляційної функції $R_{TB}(k\Delta t)$ $\Delta t)$ Рис.8 – Графіки нормованої автокореляційної функції $R_{cl}(k\Delta t)$ $\Delta t)$ Рис.9 – Графіки нормованої автокореляційної функції $R_{pHb}(k\Delta t)$

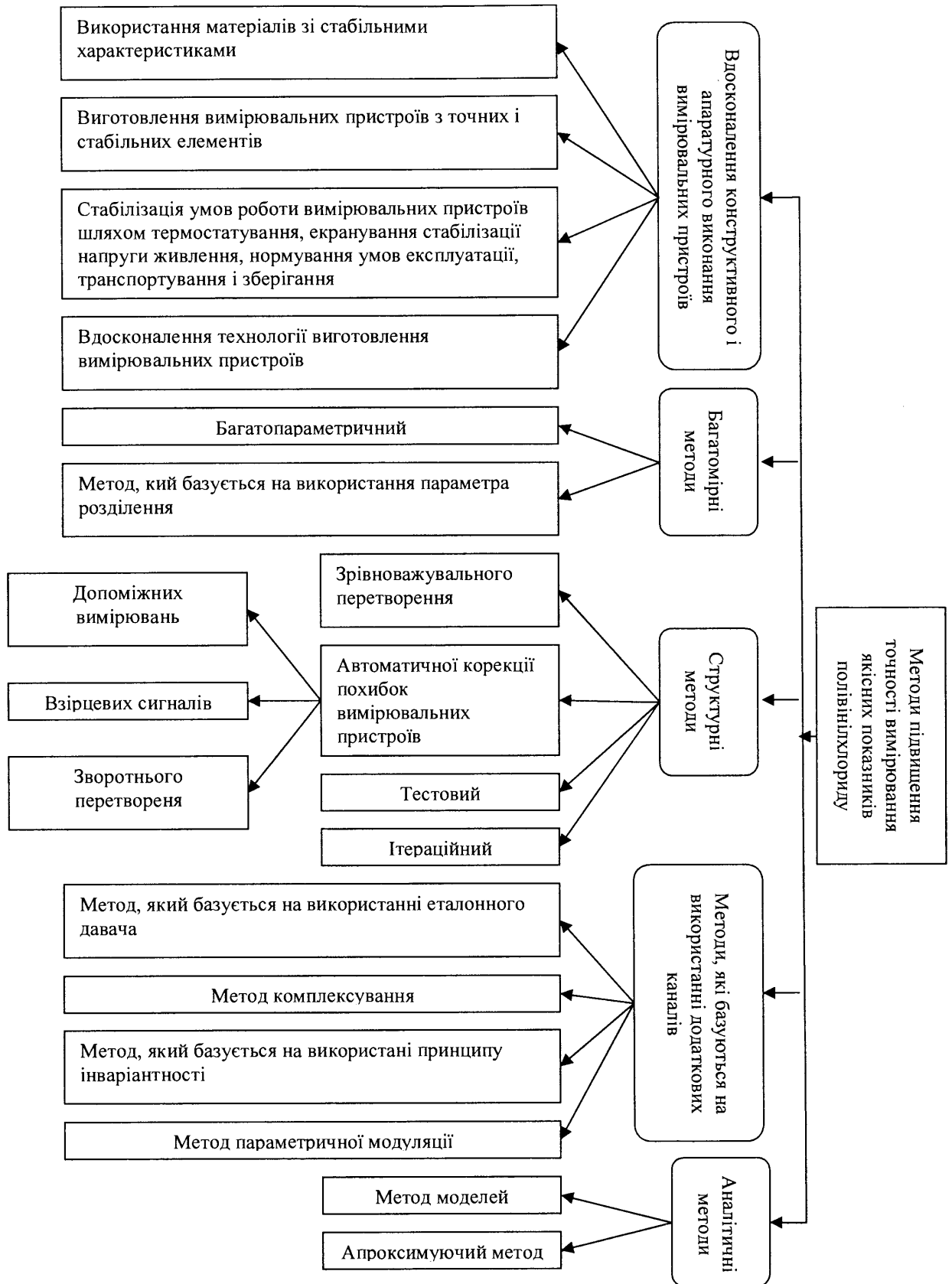
Додаток А8

Графіки взаємо-кореляційних функцій параметрів процесу виробництва ПВХ-Е

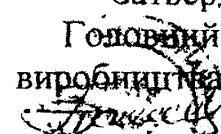
Рис.А8.1-Графік взаємно-кореляційної функції $R_{KCO}(k\Delta t)$ Рис.А8.2-Графік взаємно-кореляційної функції $R_{KTB}(k\Delta t)$ Рис.А8.3- Графік взаємно-кореляційної функції $R_{KM}(k\Delta t)$ Рис.А8.4 - Графік взаємно-кореляційної функції $R_{KCI}(k\Delta t)$ Рис. 5 - Графік взаємно-кореляційної функції $R_{KP}(k\Delta t)$ Рис. 6 - Графік взаємно-кореляційної функції $R_{KIH}(k\Delta t)$

Додаток А9

Класифікація методів підвищення точності вимірювання якісних показників полівінілхлориду



Додаток В1

“Затверджую”
 Головний інженер
 виробництва хлорвінілу

 Скакун П.Т.
 “27” 10 1999 р.

АКТ
 про випробування пристрою
 неперервного контролю константи Фікентчера К
 в процесі виробництва латексу ПВХ-Е

Дата випробувань 14.09.99-17 09.99

Пристрій призначений для неперервного контролю константи Фікентчера К в процесі виробництва латексу ПВХ-Е

Під час випробування шляхом перевірки визначена приведена похибка вимірювального пристрою.

Умови перевірки: $U_n = 380$ В, $f = 50$ Гц, $t = 20^{\circ}$ С, відносна вологість повітря 70 %.

Результати випробувань

№п/п	Назва контрольованого параметру	Приведена похибка, %
1	Константа Фікентчера К	1,5

Висновок

За результатами випробувань (протокол №1 від 17.09.1999 р.) пристрій неперервного контролю константи Фікентчера К в процесі виробництва латексу ПВХ-Е придатний до експлуатації.

Чергову перевірку провести не пізніше 15.09.2000 р.

Начальник централізованої
 служби КВП і А
 виробництва хлорвінілу



к.т.н. Поважняк О.І.

Відповідальний виконавець



аспірант Лещій Р.М.

Додаток В2

“Затверджую”
Головний інженер
виробництва хлорвінілу
Скакун П.Т.
14.09.1999 р.

ПРОТОКОЛ №1
випробувань пристрою неперервного контролю
константи Фікентчера К

Дата виготовлення: 10.06.1999 р.

Діапазон та одиниця вимірювання: $58 \div 80$

Тип шкали: лінійна

Обсяг вибірки: 25

Межа допустимого значення приведеної основної похибки, %: 1,5

Загальні відомості про вимірювальний пристрій

Для неперервного контролю константи Фікентчера К у процесі виробництва ПВХ-Е використовується перетворювач вимірювальний активної та реактивної потужності трьохфазного струму типу Е 849/7 – М1 (Вхід: $I_n = 5,0$ А, $U_{\text{лн}} = 100$ В, $f = (45 \div 65)$ Гц, $\cos \varphi_n = 1,0$, $\sin \varphi_n = 1,0$; вихід: $(0 \div 5)$ мА, $R_{\text{нав}} = (2 \div 3)$ кОм). Всередині корпусу перетворювача встановлені коректуючі та компенсуючі елементи.

Під'єднання перетворювача здійснюється за допомогою 4-хжильного кабелю до трансформаторів струму МТТ-5 (кл. 02) і 3-хжильного кабелю до трансформатора напруги УТН-1 (кл. 02). Реєструючий прилад під'єднується двожилиним кабелем.

Взірцеві засоби повірки

Випробування проведене на реакторі ПВХ-Е. До виходу вимірювального пристрою був під'єднаний автоматичний реєструючий міліамперметр типу ЮУ-2 (кл. 05). Взірцеві значення константи K визначали методом аналізу проб згідно з ГОСТ

Умови, при яких проведена повірка: $U_n = 380$ В; $f = 50$ Гц; $t = 20^{\circ}\text{C}$; відносна вологість повітря 70 %.

Результати випробувань

<i>№ п/п</i>	<i>Взірцеві значення, K</i>	<i>Покази пристрою, що повіряється, K</i>	<i>Абсолютна похибка, K</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	58,5	58,1	0,4
2	59,8	59,6	0,2
3	60,4	60,3	0,1
4	61,6	61,8	0,2
5	62,3	62,7	0,4
6	62,9	63,5	0,4
7	64,6	64,8	0,2
8	65,7	65,6	0,1
9	66,8	66,6	0,2
10	67,3	67,6	0,3
11	61,8	67,9	0,1
12	68,4	68,8	0,4
13	69,0	69,3	0,3
14	69,9	69,8	0,1
15	69,9	69,8	0,1
16	70,4	70,6	0,2
17	70,9	70,8	0,1
18	71,3	71,4	0,1
19	71,7	71,6	0,1
20	72,8	72,9	0,1
21	73,7	73,5	0,2
22	74,1	74,7	0,6
23	75,5	75,8	0,3
24	76,8	76,9	0,1
25	77,8	78,1	0,2

Продовження додатку В2

Максимальна приведена похибка

$$\frac{0,6}{77,8} \cdot 100\% = 0,777\%$$

Опір електричної ізоляції жил кабелю:

Від ТС: 1 – 1,85 МОм, 2 – 2,36 МОм, 3 – 2,4 МОм, 4 – 2,2 МОм.


Від ТН: 1 – 2,6 МОм, 2 – 2,35 МОм, 3 – 2,45 МОм.

До вимірювального приладу: 1 – 2,55 МОм, 2 – 2,6 МОм.

Похибка вимірювання пристрою контролю константи Фікентчера К не перевищує 1,5 %. Пристрій придатний для експлуатації.

Дата
17.09.1999

Вимірювання провели:

Нач. дільниці
служби КВП і А
виробництва хлорвінілу  **Ю.І.Поважняк**

Старший майстер
служби КВП і А
виробництва хлорвінілу  **Б.М. Сімків**

Контролер з КВП і А  **М.В. Климишин**

Аспірант  **Р.М.Лещій**

Начальник служби КВП і А
виробництва хлорвінілу



к.т.н. **О.І.Поважняк**

Додаток В3

Визначення структури і параметрів фільтра Калмана для фільтрації сигналу активної потужності електродвигуна мішалки.

В якості міри близькості оцінки $P(t)$ до дійсного сигналу використовуємо середньозважене значення квадратів відхилень $\varepsilon_i = x_i - \hat{x}_i$, тобто скалярну величину

$$Q_n = M \left[\sum_{i=1}^n q_i (p_i(t) - \hat{p}_i(t))^2 \right] \rightarrow \min_{\hat{p}(t)}.$$

Для цього представимо функцію передачі формуючого фільтру у вигляді скалярного диференційного рівняння у просторі станів

$$\dot{p}(t) = ap(t) + bz(\psi),$$

$$\dot{p}(t) = ap(t) + bz(t),$$

де $a = A = -\alpha_p$, $b = B = (2D_p \alpha_p)^{1/2}$ при $S_{z0} = 1$, $b = B = 1$ при $S_{z0} = 2D_p \alpha_p$.

Очевидно, що в даному випадку матриця спостережень C і матриці інтенсивностей білого шуму S_{z0} і S_{e0} також вироджуються в скаляри і мають вигляд: $C = 1$; $S_{z0} = S'_{z0}$; $S_{e0} = S'_{e0}$.

Згідно формули для матричного коефіцієнта K_ϕ фільтра Калмана [72]

$$K_\phi = HC^T S_{e0}^{-1}, \quad (B3.1)$$

де H – симетрична додаткова матриця розміром $p \times m$, що визначається як рішення нелінійного матричного алгебраїчного рівняння

$$AH + HA^T + BS_{z0}BT - HC^T S_{z0}^{-1}CH = 0,$$

де A – постійна матриця розміру $p \times m$, що визначає однорідну частину рівняння,

B – постійна матриця розміру $p \times m$, що визначає неоднорідну частину рівняння, тобто вплив вхідного сигналу на систему;

m – кількість вхідних змінних,

p – кількість контрольованих вихідних змінних.

Коефіцієнт фільтра дорівнює $K_\phi = k / S_{e0}$.

Продовження додатку В3

Множник k визначається як результат розв'язку рівняння

$$k_2 - 2a S_{e0}k - b^2 S_{z0} S_{e0} = 0, \quad (B3.2)$$

яке є частковою формою матричного рівняння

Додатковий корінь рівняння (2) дорівнює

$k = a S_{e0} + (a^2 S_{e0}^2 + b^2 S_{e0} S_{z0})^{1/2}$, а коефіцієнт фільтра, що йому відповідає, з врахуванням прийнятих позначень дорівнює

$$k_\phi = a + \left(a^2 + \frac{b^2 S_{z0}}{S_{e0}} \right)^{1/2} = \left(-\alpha_p^2 + \frac{2D_p \alpha_p}{S_{e0}} \right)^{1/2} - \alpha_p.$$

При цьому дисперсія похибки фільтрації

$$D_e = M \left[(\widehat{P}(t) - P(t))^2 \right] = \left(\alpha_p^2 S_{e0}^2 + 2D_p \alpha_p S_{e0} \right)^{1/2} - \alpha_p S_{e0}.$$

З урахуванням цього функція передачі фільтра для каналу вимірювання активної потужності електродвигуна повинна мати вигляд

$$W_\phi(p) = \frac{\widehat{P}(p)}{P_c(p)} = \frac{k_\phi}{(p_\phi \alpha_p + k_\phi)} = \frac{K^*}{T^* p + 1}. \quad (B3.3)$$

Видно, що (3) відповідає функції передачі інерційної ланки першого

порядку із сталою часу $T^* = \frac{1}{\alpha_p + k_\phi} = \left(\frac{S_{e0}}{\alpha_p^2 + 2D_p \alpha_p} \right)^{1/2}$

і передавальним коефіцієнтом

$$K^* = \frac{k_\phi}{\alpha_p + k_\phi} = 1 - \alpha_p \left(\alpha_p^2 + \frac{2D_p \alpha_p}{S_{e0}} \right)^{-1/2}.$$

Це означає, що для отримання більш точних оцінок поточних значень контрольованої величини $\widehat{P}_c(t)$ необхідно послідовно з давачами активної потужності електродвигунів встановити фільтри з функціями передачі (3). Сталі часу T^* і коефіцієнти передачі K^* можна визначити на підставі статистичних характеристик контрольованого сигналу $P_c(t)$, α_x , D_x , S_{e0} , які визначаються за методикою викладеною в [86.87].

Додаток С1

Порядок роботи на експериментальній установці по дослідженню вимірювального каналу пристрою контролю K_ϕ .

1. Зібрати схему (рис.4.6) випробувань;
2. Ввімкнути автомат АВ2, перевірити наявність струму в обмотці збудження генератора ОЗГН за амперметром А2, при цьому резистор r_p повинен бути введений;
3. Ввімкнути рубильник Р при умові, що резистор R_n повністю введений;
4. Ввімкнути автомат АВ1 і дати двигуну необхідне навантаження за допомогою генератора навантаження ГН, змінюючи опір резистора R_n ;
5. Дослідити навантаження двигуна в тривалому режимі роботи, записати покази амперметра А, вольтметра V і ватметра W;
6. Вимірювання проводити в шести точках діапазону вимірювання: (10, 20, 40, 60, 80, 100) % шкали;
7. Об'єм вибірки в кожній точці діапазону вимірювань при поверці рекомендується приймати рівним 40, що відповідає довірливій імовірності $p = 0,95$;
8. За даними дослідів будується графік залежності вихідного сигналу ВК від потужності на валі електродвигуна.

Для визначення потужності необхідно обчислити змінні втрати P_m , додаткові втрати P_d і втрати холостого ходу P_{xx} . Для визначення P_{xx} потрібно зняти навантаження R_n і вимкнути рубильник Р. Резистори R_n і r_p повинні бути введені повністю. За ватметром W визначається потужність холостого ходу $P_{xx} = 0,2$ Квт.

$$\text{Тоді потужність на валі } P_m = P_1 - \Delta P,$$

де P_1 – елекромагнітна потужність (потужність, що підводиться до статора), $\Delta P = P_m + P_{xx} + P_{\text{дод}}$, $P_{\text{дод}} = 0,005P_1$, $P_m = I^2 R_y$, $R_y = 0,5 (1 - \eta_n) \cdot (U_n / I_n)$,
 $\eta = P_v / P_1$ – ккд двигуна.

Додаток С2

Перелік взірцевих засобів для повірки вимірювального каналу пристрою контролю K_{ϕ} .

1. Амперметр Д 5054/5 за ГОСТ 8711-88 (границя вимірювання 0-5 А, клас точності 0,1);
2. Вольтметр Д 566/109 за ГОСТ 8711-88 (границя вимірювання 380 В, клас точності 0,2);
3. Ватметр АСТД за ГОСТ 8711-88 (границя вимірювання 0-5А, 150 В, клас точності 0,5, № 136716);
4. Вимірювальний трансформатор напруги УТН-1, 380/100 В, клас точності 0,1;
5. Вимірювальний транзистор струму МТТ-1, 10/5 А, клас точності 0,1;
6. Термометр ртутний за ГОСТ 215-73 (границя вимірювань (0-50) °С;
7. Барометр-анероїд метрологічний ВАММ-1;
8. Психрометр аспіраційний;
9. Мегаомметр М 4100/3 за ГОСТ 22261-82 (напруга 500 В, клас точності 1).

Взірцеві засоби вимірювань повірені в органах державної метрологічної служби і мають діючі свідоцтва про повірку.

Додаток С3

Вимоги безпеки, які повинні бути дотримані при проведенні перевірки каналу контролю

Процес проведення перевірки відноситься до нормальних умов праці.

1. Всі роботи з монтажу і демонтажу повинні виконуватись при вимкненій напрузі живлення;

2. Електричний опір ізоляції між електричними ланцюгами перетворювача активної потужності і його корпусом, а також між силовим ланцюгом блоку обчислювальних операцій і його корпусом при температурі повітря $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ і відносній вологості повітря 80 % повинна бути не менше 20 МОм;

3. Електрична ізоляція між силовим ланцюгом і корпусом блоку обчислювальних операцій повинна витримувати протягом 1 хвилини при температурі повітря $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ і відносній вологості повітря не більше 80 % випробувальну напругу 1500 В змінного струму частотою 50 Гц;

4. При випробуванні вимірювального каналу необхідно дотримуватись “Правил техніки експлуатації і правил техніки безпеки” (ПТЕ і ПТБ) при роботі на установках напругою до 1000 В;

5. Перед вмиканням установки для перевірки проводиться перевірка надійності заземлення та справності лінії зв'язку.

Додаток С4

Порядок підготовки до перевірки вимірювального каналу при контролі K_{ϕ}

Перед початком проведення перевірки слід виконати підготовчі роботи:

- підготувати комплект документації на метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальної системи (технічне завдання, технічний і робочий проекти на комплект технічних засобів, акти стендових перевірок окремих засобів вимірювання ВК).
- підготувати взірцеві засоби вимірювання і допоміжні засоби, які потрібні для перевірки ВК.
- встановити контрольно-вимірювальні прилади, які дозволяють в процесі перевірки контролювати зміну температури навколишнього середовища, напруги живлення, відносної вологості повітря, атмосферного тиску.
- зібрати схему перевірки ВК, яка зображена на рис.4.3.
- попередньо витримати всі пристрої, що входять до складу схеми перевірки у ввімкненому стані протягом часу самопрогрівання робочих, зразкових і допоміжних засобів, який вказаний в документації на окремі засоби вимірювань – не менше 2 годин.
- вивчити інструкцію з користування програмою переповірки.
- згідно з інструкціями з експлуатації, підготувати до роботи АЦП, процесор, пристрої реєстрації результатів перевірки.
- завантажити програму перевірки в оперативну пам'ять керуючої ЕОМ.
- ввести в оперативну пам'ять ЕОМ такі дані:
 - ініціали і прізвища користувача;
 - календарну дату перевірки;
 - вид метрологічного обслуговування (Н – наладка, В – випробування, ПП – первинна перевірка, ПРП – періодична перевірка, ПЗП – позачергова перевірка, ІП – інспекційна перевірка, ЕП – експертна перевірка, МА – метрологічна атестація);
 - найменування підприємства – цех по виробництву ПВХ;

- вид автоматизованої системи керування – АСКТП;
- повну назву вимірюваної величини – константа K_f ;
- діапазон вимірювання ВК: $50 \div 80$;
- діапазон зміни вхідного сигналу АЦП: $0 - 5$ мА;
- тип шкали Л – лінійна;
- межа допустимої похибки ВК: $\pm 5\%$;
- напрям зміни вхідного сигналу: ПХ – прямий хід, ЗХ – зворотній хід;
- кількість точок по діапазону вимірювання, що повіряються: (10, 20, 40, 60, 80 і 100)% шкали;
- об'єм вибірки – 40;
- загальні відомості про елементи вимірювального каналу (найменування, тип, заводські номери, клас точності, номери свідоцтв і дат повірки робочих засобів вимірювання і зразкових приладів, що використовуються при проведенні повірки);
- значення опору електричної ізоляції лінії зв'язку;
- умови проведення повірки.

Додаток С5

Перевірка комплектності і стану технічної документації при проведенні повірки ВК

При перевірці комплектності і стану технічної документації:

- перевіряють повноту комплекту нормативно-технічної документації, яка була створена при введенні в експлуатацію ВК;
- контролюють наявність підписів, що підтверджують здійснення метрологічної експертизи технічної документації;
- перевіряють відповідність метрологічних вимог, встановлених у технічному завданні на створення ВК, метрологічним характеристикам, які представлені в технічній документації на комплекс технічних засобів ВК;
- контролюють наявність в експлуатаційній документації окремих методик, або інструкцій по методах і засобах повірки ВК, що містять нестандартизовані засоби вимірювань;
- перевіряють робочий журнал дослідної експлуатації і технічний формуляр на систему, яка повіряється.

Візуальний контроль ВК при проведенні його повірки.

Під час візуального контролю повинна бути встановлена відповідність ВК, який повіряється, наступним вимогам:

- комплектність і маркування повинні відповідати вимогам креслень і технічних умов;
- монтаж елементів ВК повинен бути якісним;
- ВК повинен бути укомплектованим у відповідності з проектом на інформаційно-вимірювальну систему;
- електричний монтаж ВК повинен бути правильним: прокладка кабелю, січення жил кабелю та їх приєднання;

Продовження додатку С5


- заземлення кабелю і робочих засобів вимірювання повинно бути виконано у суворій відповідності з проектною документацією і мати надійні контактні з'єднання;
- засоби вимірювань ВК не повинні мати механічних пошкоджень і дефектів, що можуть вплинути на їх роботоздатність;
- засоби вимірювань ВК повинні мати пломби і маркування (тип, клас точності, порядковий номер за системою нумерації підприємства-виробника, рік виготовлення, границі вимірювань інформативного параметру);
- лінія зв'язку не повинна мати обривів;

Якщо виявляється якесь пошкодження, дефект, або невідповідність проекту, то повірку ВК не виконують до їх усунення;

Додаток С6

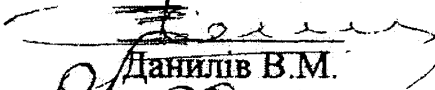
ПОГОДЖЕНО

Проректор з наукової
роботи ІФДТУНГУ


проф., д.т.н. Кондрат Р.М.
"28" 8 2000 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор виробництва
хлорвінілу


Данилів В.М.
"09" 8 2000 р.

АКТ ТВ-1/1

**впровадження результатів дисертаційної
роботи Р.М.Лещій "Розробка методу
контролю константи Фікентчера в умовах
виробництва полівінілхлориду емульсійного ПВХ-Е"**

Замовник – завод хлорвінілу ВАТ "Оріана"

Даним актом підтверджується, що результати роботи "Розробка методу контролю константи Фікентчера в умовах виробництва полівінілхлориду емульсійного ПВХ-Е" впроваджені на заводі згідно творчого договору ТВ-1 на передачу науково-технічної продукції з 25.03.1999 р. до 31.08.1999 р.

1. *Вид впроваджених результатів:* метод неперервного контролю константи Фікентчера в процесі полімеризації ПВХ-Е, рекомендації стосовно його використання на реакторі полімеризації і результати досліджень.

2. *Форма впровадження:* передані структурна схема пристрою контролю та рекомендації щодо визначення константи Фікентчера на підставі інформації про зміни потужності на валі мішалки реактора полімеризації.

3. *Новизна результатів науково-дослідної роботи:* вперше встановлено стійкі кореляційні зв'язки константи Фікентчера з потужністю і моментом на валі мішалки реактора полімеризації, що дозволило використати потужність і момент на валі мішалки як інформативні параметри про константу Фікентчера. Вперше розроблена адекватна інформаційна модель

контролю константи Фікентцера, що дало можливість оператору приймати ефективні рішення стосовно контролю якості латеку в процесі його полімеризації. Вперше розроблено метод контролю константи Фікентцера в реакторі полімеризації хлористого вінілу на основі інформації про потік електричної енергії, що поступає від трансформатора до електродвигуна мішалки. Даний метод, на відміну від існуючих методів, забезпечує неперервний контроль якості латеку і повніше використання потужності електродвигуна мішалки.

4. Дослідно-промислова перевірка методу проведена на діючому реакторі полімеризації ПВХ-В на заводі хлорвінілу ВАТ "Оріана".

5. Очікуваний економічний ефект від впровадження методу контролю константи Фікентцера склав: 25 тис. грн. на рік.

6. Соціально-та економічний ефект: автоматизується процес контролю константи Фікентцера; зменшується обсяг ручних робіт при аналізі проб; зменшуються врати електроенергії; зменшується негативний вплив шкідливих речовин на організм людини-оператора.

Від ВНДІТЗІНУ

Керівник роботи:

проф. д.т.н. С.П.Семенцов

Виконавці:

Р.М.Лещій

Л.Ю.Луців

Від виробництва хлорвінілу
ВАТ "Оріана"

Головний інженер

Заступник директора

з виробництва

В.В.Пилишко

Головний приладист

О.Л.Поважняк

Додаток С7

Затверджую
 Директор Калуського
 хіміко-технологічного технікуму
 Л.О.Луців
 "06" жовтня 1999р.

А К Т

впровадження Калуським хіміко-технологічним технікумом методу неперервного контролю константи Фікентчера К в процесі виробництва латексу ПВХ-Е

Ми, ті, що нижче підписалися, представники Калуського хіміко-технологічного технікуму:

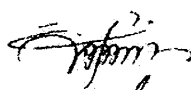
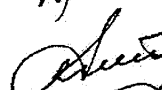
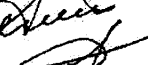
Лещій Р.М. – зав. електромеханічним відділенням, зав. лабораторією автоматизованого електроприводу,

Хемій Ю.П. – викладач спецдисциплін електромеханічного циклу, зав. лабораторією метрології і КВПіА,

Луців Л.О. – викладач спецдисциплін електромеханічного циклу, зав. лабораторії автоматизації технологічних процесів

склали даний акт про те, що Калуським хіміко-технологічним технікумом впроваджено у навчальний процес метод неперервного контролю константи Фікентчера в процесі виробництва латексу ПВХ-Е для курсового і дипломного проектування, які розробляються студентами спеціальності 5.092503 «Монтаж, обслуговування засобів і систем автоматизації технологічного виробництва» за замовленням ВАТ «Оріана».

Розроблені матеріали передані для практичного використання на виробництві хлорвінілу.

 **Р.М. Лещій**
 **Ю.П. Хемій**
 **Л.О. Луців**